



Niniejsza rozprawa powstała w wyniku projektu pn. „Doktorat Wdrożeniowy”- V edycja,
finansowanego ze środków budżetu Państwa.

Numer umowy: DWD/5/0590/2021



**Politechnika
Śląska**

**Dyscyplina Naukowa
Inżynieria Lądowa, Geodezja i
Transport**

ROZPRAWA DOKTORSKA

Badania zachowań pieszych i kierowców w otoczeniu przejeżdżających dla pieszych w aspekcie bezpieczeństwa w transporcie drogowym

Research of the behavior of pedestrians and drivers around pedestrian
crossings in the context of road transport safety

mgr inż. Dawid Simiński

Promotor:

dr hab. inż. Rafał Burdzik, prof. PŚ

Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej

Promotor pomocniczy:

dr inż. Mikołaj Kruszewski

Instytut Transportu Samochodowego w Warszawie

Opiekun pomocniczy ze strony Przedsiębiorstwa:

dr inż. Bogusław Nowak

DR-TECH Sp. z o.o.

Spis treści

Streszczenie.....	5
Abstract.....	7
Wstęp	9
Rozdział 1 Bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego.....	11
1.1 Sytuacja niechronionych uczestników ruchu drogowego w aspekcie socjologiczno-prawnym.....	11
1.2 Polska na tle innych krajów w Unii Europejskiej w aspekcie bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego.....	16
1.3 Koszty związane z wypadkami i kolizjami drogowymi w aspekcie bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego.....	20
1.4 „Wizja zero” w aspekcie bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego	22
Rozdział 2 Aktualny stan wiedzy w zakresie bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego	24
2.1 Zagrożenia i ryzyka.....	24
2.2 Organizacja ruchu i separacja potoków i strumieni ruchu	26
2.3 Zachowania pieszych i kierowców	27
2.4 Dystraktory uwagi.....	30
2.5 Determinanty bezpieczeństwa.....	32
2.6 Luka badawczo-naukowa.....	38
Rozdział 3 Aktualny stan techniki w zakresie bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu	40
3.1 Organizacja ruchu oraz oznakowanie w otoczeniu przejść dla pieszych.....	40
3.2 Rodzaje przejść dla pieszych	40
3.3 Systemy bezpieczeństwa i oświetlenia przejść dla pieszych	42
3.4 Innowacyjne systemy przejść dla pieszych.....	44
3.5 Luka w stanie techniki	49
Rozdział 4 Cel, teza i zakres rozprawy doktorskiej	50
Rozdział 5 Metody badań	53
5.1 Badania obserwacyjne.....	54
5.2 Badania statystyczne	61
5.3 Wywiady bezpośrednie	64
5.4 Badania symulatorowe	67
5.5 Terenowe badania scenariuszowe	80
5.6 Metoda badań eksperckich.....	85
Rozdział 6 Analiza wyników badań.....	91
6.1 Badania obserwacyjne.....	91
6.1.1 Badania obserwacyjne zachowań pieszych.....	91

6.1.2 Badania pomiarów prędkości kierowców zbliżających się do przejść dla pieszych..	95
6.1.3 Badania zjawiska „fala uprzejmości”	99
6.2 Badania statystyczne	103
6.3 Wywiady bezpośrednie - badanie dotyczące wpływu urządzeń elektronicznych na występowanie wypadków w ruchu drogowym	113
6.3.1 Wyniki badania	117
6.4 Badania z wykorzystaniem pełnowymiarowego symulatora samochodu osobowego	128
6.5 Wyniki terenowych badań z wykorzystaniem eyetrackingu w rzeczywistych warunkach ruchowych – badania in-situ	145
6.6 Zbiorcza analiza wyników	177
6.6. 1 Czynniki ryzyka według zachowań deklaracyjnych - zestawienie zbiorcze wyników badań ankietowych oraz wywiadów	177
6.6.2 Czynniki ryzyka na podstawie analiz statystycznych przyczyn wypadków na przejściach dla pieszych.....	178
6.6.3 Czynniki ryzyka według zachowań rzeczywistych.....	180
6.6.4 Czynniki ryzyka wynikające z postrzegania sceny ruchu	183
6.6.5 Czynniki ryzyka związane z czasem reakcji i prędkością.....	184
Rozdział 7 Modele i metody oceny bezpieczeństwa przejść dla pieszych oraz rekomendacje	187
7.1 Bezpośrednie otoczenie przejścia dla pieszych.....	187
7.2 Determinanty bezpieczeństwa i wzorce zachowań na przejściach dla pieszych.....	188
7.2.1 Techniczne determinanty bezpieczeństwa	188
7.2.2 Wzorce zachowań pieszych	189
7.2.3 Wzorce zachowań kierowców.....	191
7.3 Modele oceny bezpieczeństwa na przejściach dla pieszych	193
7.3.1 Model oceny bezpieczeństwa technicznego.....	193
7.3.2 Model oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań pieszych	198
7.3.3 Model oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań kierowców	201
7.3. 4 Kompleksowy model oceny bezpieczeństwa przejść dla pieszych.....	205
7.4 Metody oceny bezpieczeństwa na przejściach dla pieszych – walidacja modeli.....	206
7.4.1 Metoda oceny bezpieczeństwa technicznego	207
7.4.2 Metoda oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań pieszych	210
7.4.3 Metoda oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań kierowców	213
Rozdział 8 Opracowanie prototypu adaptacyjnego systemu wsparcia bezpieczeństwa ruchu na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej	217
8.1 Prototyp adaptacyjnego systemu wsparcia bezpieczeństwa ruchu na przejściach dla pieszych.....	217
8.2 Walidacja systemu	225
8.3 Analiza kosztowa i niezawodnościowa.....	232

Podsumowanie i wnioski	235
Bibliografia	238
Spis tabel	246
Spis rysunków	248
Spis wykresów	252

Streszczenie

Tematem dysertacji jest badanie zachowań pieszych i kierowców w otoczeniu przejść dla pieszych w aspekcie bezpieczeństwa w transporcie drogowym, z naciskiem na przejścia dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej, będących w grupie największego ryzyka związanego z możliwością występowania wypadków drogowych.

W niniejszej pracy poruszono tematykę związaną ze stanem bezpieczeństwa w ruchu drogowym w Polsce, obecnie oraz z perspektywy czasu. Przedstawiono pojęcia związane z bezpieczeństwem, jak również zagadnienia związane z kosztami występowania wypadków drogowych, cele oraz kierunki obrane przez Państwo Polskie w odniesieniu do bezpieczeństwa w szczególności niechronionych uczestników ruchu drogowego. W pracy zawarto informacje dotyczące statystyk Państwa Polskiego w stosunku do innych państw Unii Europejskiej pod względem bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Poruszono tematykę związaną z zagrożeniami oraz ryzykami dotyczącymi bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Przeprowadzono serię badań mających na celu poznanie oraz ocenę zachowań zarówno kierowców jak i niechronionych uczestników ruchu drogowego takich jak piesi czy rowerzyści. W efekcie realizacji tych badań powstał innowacyjny adaptacyjny system wspierający bezpieczeństwo zarówno pieszych jak i kierowców pojazdów. System ten przeznaczony jest do stosowania na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej.

Przeprowadzone badania obejmowały wszechstronne analizy aktualnych zachowań kierowców oraz niechronionych uczestników ruchu drogowego, w formie obszernych badań obserwacyjnych, następnie badań eyetrackingowych mających na celu analizy postrzegania. Dodatkowo analizowano wpływ zmęczenia na zachowania kierowców zbliżających się do przejść dla pieszych. Ponadto przeprowadzono badania z wykorzystaniem elementów odbłaskowych i ich wpływu na zachowania kierowców w stosunku do niechronionych uczestników ruchu drogowego.

Kolejny etap badań obejmował pogłębione i kompleksowe opracowania w zakresie analizy statystyk wypadków z bazy Ewidencji Wypadków i Kolizji, wraz z analizą badań przeprowadzonych przez zarząd Miasta Stołecznego Warszawa. Przeprowadzono również badania bezpośrednie kwestionariuszowe na grupie 555 osób oraz następnie na grupie 336 badanych, w których udział wzięli policjanci wydziału ruchu drogowego, kierowcy zawodowi, biegli sądowi, pracownicy uczelni wyższych, pracownicy Instytutu Transportu Samochodowego oraz inni uczestnicy. Badania te

dotyczyły wpływu używania urządzeń elektronicznych oraz zmiany przepisów dotyczących pieszych (1 czerwca 2021 r., zmiana pierwszeństwa pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej), jak również świadomości społecznej w kontekście bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Wykonano również badania z wykorzystaniem symulatora jazdy o 6 stopniach swobody, będącego jednym z najbardziej zaawansowanych urządzeń tego typu w Polsce. Badania symulatorowe odbywały się w ramach prac zrealizowanych w Instytucie Transportu Samochodowego w Warszawie.

Jednym z kluczowych etapów były badania terenowe z wykorzystaniem okularów eyetrackingowych. Zakres badań obejmował eksperymenty prowadzone z udziałem kierowców i pieszych zbliżających się i przechodzących przez przejścia dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej w normalnym ruchu drogowym. Na podstawie wykonanych badań i analiz wytypowano najistotniejsze determinanty bezpieczeństwa przejść dla pieszych. W tym celu przeprowadzono obliczenia istotności poszczególnych determinant z wykorzystaniem metody wielokryterialnej AHP. W rezultacie opracowano metodę oceny bezpieczeństwa przejść dla pieszych, która została poddana walidacji.

Całość badań realizowana była w ramach projektu „doktorat wdrożeniowy nr DWD/5/0590/2021 finansowanego przez Ministerstwo Edukacji we współpracy z przedsiębiorstwem DR-TECH Sp. z o.o. oraz Politechniką Śląską. Dodatkowo część prac realizowano przy współpracy z Instytutem Transportu Samochodowego w Warszawie.

Efektem prac wdrożeniowych było stworzenie prototypu systemu wspierającego bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego, poprzedzonych szeregiem prób, badań, testów, analiz, mających na celu określenie zasadności wykorzystania poszczególnych elementów technicznych oraz założeń teoretycznych, wykorzystanych do stworzenia przedmiotowego systemu.

Abstract

The subject of this dissertation is an examination of the behavior of pedestrians and drivers in the vicinity of crosswalks from the perspective of road traffic safety, with a focus on crosswalks without traffic lights, which are among the highest-risk locations for traffic accidents.

This thesis addresses issues related to road safety in Poland, both currently and from a historical perspective. It presents concepts related to safety, as well as issues concerning the costs of traffic accidents, and the goals and directions adopted by the Polish government regarding safety, particularly for vulnerable road users. The paper includes information on Poland's statistics compared to other European Union countries in terms of road safety. It addresses issues related to threats and risks concerning road safety. A series of studies was conducted to understand and evaluate the behavior of both drivers and vulnerable road users, such as pedestrians and cyclists. As a result of these studies, an innovative adaptive system was developed to enhance the safety of both pedestrians and vehicle drivers. This system is designed for use at pedestrian crossings without traffic lights.

The conducted research included comprehensive analyses of the current behaviors of drivers and vulnerable road users, in the form of extensive observational studies, followed by eye-tracking studies aimed at analyzing perception. Additionally, the impact of fatigue on the behavior of drivers approaching pedestrian crossings was analyzed. Furthermore, studies were carried out using reflective elements and examining their impact on drivers' behavior toward vulnerable road users. The next stage of the research included in-depth and comprehensive studies in the field of accident statistics analysis based on data from the Accident and Collision Register, together with an analysis of studies conducted by the authorities of the Capital City of Warsaw. Direct questionnaire-based surveys were also conducted on a group of 555 individuals and subsequently on a group of 336 respondents, involving traffic police officers, professional drivers, court experts, university employees, employees of the Motor Transport Institute, and other participants. These studies concerned the impact of the use of electronic devices and changes in regulations concerning pedestrians (June 1, 2021 - change in pedestrian right-of-way at unsignalized pedestrian crossings), as well as public awareness in the context of road safety. Research was also conducted using a driving simulator with 6 degrees of freedom, which is one of the most advanced devices of this type in Poland. The simulator studies were carried out as part of research conducted at the Motor Transport Institute in Warsaw.

One of the key stages was field research using eye-tracking glasses. The scope of the study included experiments conducted with the participation of drivers and pedestrians

approaching and crossing unsignalized pedestrian crossings in normal road traffic. Based on the conducted research and analyses, the most important determinants of pedestrian crossing safety were identified. For this purpose, calculations of the significance of individual determinants were carried out using the AHP multicriteria method. As a result, a method for assessing pedestrian crossing safety was developed and validated. The entire research was carried out as part of the “implementation doctorate no. DWD/5/0590/2021 funded by the Ministry of Education in cooperation with DR-TECH Sp. z o.o. and the Silesian University of Technology. Additionally, part of the work was carried out in cooperation with the Motor Transport Institute in Warsaw. The result of the implementation work was the creation of a prototype system supporting the safety of unprotected road users, preceded by a series of trials, studies, tests, and analyses aimed at determining the validity of using individual technical elements and theoretical assumptions used to create the system in question.

Wstęp

Zapewnienie bezpieczeństwa ruchu drogowego, w szczególności w aspekcie bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego, takich jak piesi jest jednym z kluczowych wyzwań współczesnej polityki transportowej i urbanistycznej. Na szczególną uwagę zasługuje przestrzeń przejść dla pieszych, w szczególności bez sygnalizacji świetlnej.

Przejścia dla pieszych są szczególnym miejscem dynamicznej interakcji pomiędzy uczestnikami ruchu drogowego o skrajnie różnych poziomach ochrony, dynamice poruszania oraz możliwościach percepcyjnych. Mimo wieloletnich starań różnych jednostek obszary te wciąż cechują się podwyższonym ryzykiem zdarzeń drogowych, zwłaszcza z udziałem pieszych. Kluczowe dla aktualności tematu są dynamicznie postępujące zmiany społeczne i technologiczne, takie jak wzrost natężenia ruchu, starzenie się społeczeństwa, rozwój mikro-mobilności oraz przede wszystkim zmieniające się wzorce zachowań uczestników ruchu drogowego.

Dotychczasowe badania nad bezpieczeństwem przejść dla pieszych koncentrowały się w większości na analizie infrastruktury drogowej, bądź zachowań kierowców w kontekście przestrzegania przepisów ruchu drogowego. Relatywnie rzadziej podejmuje się zagadnienia traktujące pieszych jako aktywnych uczestników ruchu drogowego, których percepcja otoczenia oraz sposoby reagowania, mają istotny wpływ na interakcję z innymi użytkownikami ruchu drogowego. W literaturze zauważyć można lukę badawczą dotyczącą współistnienia pieszych oraz kierowców, uwzględniającego oczekiwania, interpretację sygnałów niewerbalnych oraz subiektywne poczucie bezpieczeństwa w przestrzeni przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej.

We wstępie omówiono uwarunkowania społeczne, prawne oraz ekonomiczne w odniesieniu do bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego. Przedstawiono koszty społeczne oraz ekonomiczne, jak również założenia „wizji zero”. Dokonano przeglądu aktualnego stanu wiedzy w zakresie bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego, analizując główne zagrożenia i czynniki ryzyka, organizację ruchu drogowego, zachowania pieszych i kierowców, wpływ dystraktorów uwagi oraz determinanty bezpieczeństwa. Zidentyfikowano luki badawcze, będące uzasadnieniem podjętych badań. W dalszej części przedstawiono aktualny stan techniki dotyczący rozwiązań stosowanych w otoczeniu przejść dla pieszych, obejmujący organizację ruchu, oznakowanie, systemy oświetlenia i bezpieczeństwa, jak również

innowacyjne rozwiązania wspomagające ochronę niechronionych uczestników ruchu drogowego. Kolejne rozdziały zawierają określenie celu, tezy oraz zakresu rozprawy ze szczegółowym opisem zastosowanej metodyki badawczej. W ramach badań prowadzono obserwacje zachowań uczestników ruchu drogowego, analizy statystyczne, wywiady bezpośrednie, badania z wykorzystaniem pełnowymiarowego symulatora jazdy, jak również terenowe badania eyetrackingowe i eksperckie. Kolejne etapy pracy odnoszą się do analizy uzyskanych wyników. Na podstawie wyników badań zidentyfikowano najważniejsze czynniki ryzyka wpływające na bezpieczeństwo przejść dla pieszych. W oparciu o przeprowadzone analizy opracowano metody oceny bezpieczeństwa przejść dla pieszych w kontekście determinant bezpieczeństwa technicznego, jak również behawioralnym opracowanym na podstawie określonych wzorców zachowań pieszych i kierowców. Ostatnia część rozprawy dotyczy opracowania adaptacyjnego systemu zwiększającego bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego, będącym wdrożeniowym elementem rozprawy doktorskiej. Na końcu rozprawy umieszczono wnioski podsumowujące wyniki badań, wskazujące kluczowe determinanty bezpieczeństwa technicznego oraz behawioralnego oraz kierunki dalszego rozwoju metod i systemów poprawy bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego.

Rozdział 1 Bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego

1.1 Sytuacja niechronionych uczestników ruchu drogowego w aspekcie socjologiczno-prawnym

Kluczowy wpływ na bezpieczeństwo w miastach, powiatach czy aglomeracjach ma zapewnienie odpowiednich warunków dla najbardziej newralgicznej grupy uczestników ruchu drogowego jakimi są piesi. Osoby poruszające się pieszo bądź rowerem zgłaszają bardzo liczne uwagi oraz obawy dotyczące bezpieczeństwa w odniesieniu do poruszania się w pobliżu miejsc gdzie krzyżują się drogi różnego typu transportu. Dane te są efektem wywiadów bezpośrednich podczas prowadzenia badań własnych w przedmiotowej pracy. Poprawa bezpieczeństwa uwolni potencjał ruchu wszystkich gałęzi transportu wliczając w to również transport publiczny. Polityka bezpieczeństwa musi być bardzo elastyczna w swoim podejściu i otwarta na różne potrzeby oraz możliwości poszczególnych uczestników ruchu drogowego. Biorąc pod uwagę czynnik ludzki i związane z nim błędy, które bardzo często mogą powodować ogromne straty w zdrowiu i życiu ludzkim, jak również te materialne mogące powodować chaos i opóźnienia w funkcjonowaniu gospodarki.

Jak wynika z badania przeprowadzonego w ramach realizowanej dysertacji, dotyczącego świadomości kierowców i pieszych w Polsce, znaczny procent osób zarówno kierowców jak i pieszych nie jest świadomy tego jakie mogą być potencjalne skutki dla życia i zdrowia podczas incydentu, do którego może dojść pomiędzy pieszym, a pojazdem dla zadanej prędkości. Brak podstawowej wiedzy w tym zakresie może prowadzić do powstawania niebezpiecznych zachowań, w szczególności w okolicy lub na przejściach dla pieszych, ale również w miejscach gdzie przejście przez jezdnię jest niedozwolone.

Poniżej przedstawiono podstawowe pojęcia dotyczące tematyki związanej z funkcjonowaniem w przestrzeni bezpieczeństwa w transporcie drogowym:

- wypadek drogowy, oznacza zdarzenie drogowe w wyniku którego osoba lub osoby odniosły obrażenia lub poniosły śmierć na miejscu [46],
- kolizja drogowa, to zdarzenie drogowe, w którym powstały tylko i wyłącznie straty związane z aspektem materialnym, takie jak uszkodzenia infrastruktury drogowej czy też uszkodzenia pojazdów mechanicznych [46],

- śmiertelna ofiara wypadku, jest to osoba która w wyniku poniesionych obrażeń wywołanych wypadkiem drogowym poniosła śmierć na miejscu lub też w ciągu 30 dni od dnia wystąpienia wypadku drogowego, na skutek doznanych w jego wyniku obrażeń ciała [46],
- ofiara, osoba ciężko ranna, jest to osoba która w wyniku wypadku doznała szerokokorozumianego uszczerbku na zdrowiu w różnej postaci, mogło to być pozbawienie wzroku, słuchu, mowy, zdolności chodzenia, innego nieokreślonego ciężkiego kalectwa, ciężkiej choroby nieuleczalnej lub długotrwałej choroby, która ma realny wpływ na dalsze życie osoby poszkodowanej w wypadku drogowym [46],
- ofiara, osoba lekko ranna, to osoba w odniesieniu do której lekarz bądź też ratownik medyczny udzielający pierwszej pomocy po wystąpieniu wypadku drogowego stwierdził, że osoba ta doznała uszczerbku na zdrowiu lub obrażeń innych niż zostały wskazane w definicji ofiary, osoby ciężko rannej [46],
- wskaźnik demograficzny I, wskaźnik ten określa stosunek liczby wypadków na danym obszarze do liczby mieszkańców obszar ten zamieszkujących. Miarą takiego wskaźnika jest liczba wypadków na 100 tysięcy mieszkańców [46],
- wskaźnik demograficzny II, to stosunek liczby ofiar śmiertelnych wypadków drogowych na danym obszarze do liczby mieszkańców obszar ten zamieszkujących. Miarą przedstawionego wskaźnika jest liczba zabitych na 100 tysięcy mieszkańców [46],
- ciężkość wypadków, obliczany jest jako stosunek liczby ofiar śmiertelnych do liczby wypadków, w których ofiary uczestniczyły. Miarą ciężkości wypadków jest liczba zabitych na 100 wypadków [46],
- gęstość wypadków, obliczany jest jako stosunek liczby wypadków na danym obszarze do długości sieci drogowej. Miarą gęstości wypadków jest liczba wypadków na 100 kilometrów długości dróg [46].

W Polsce ze względu na sytuację dotyczącą stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego od wielu lat promuje się kolejne edycje Narodowego Programu Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego. Celem takiego przedsięwzięcia jest określenie celów i ogólnych działań w skali całego kraju.

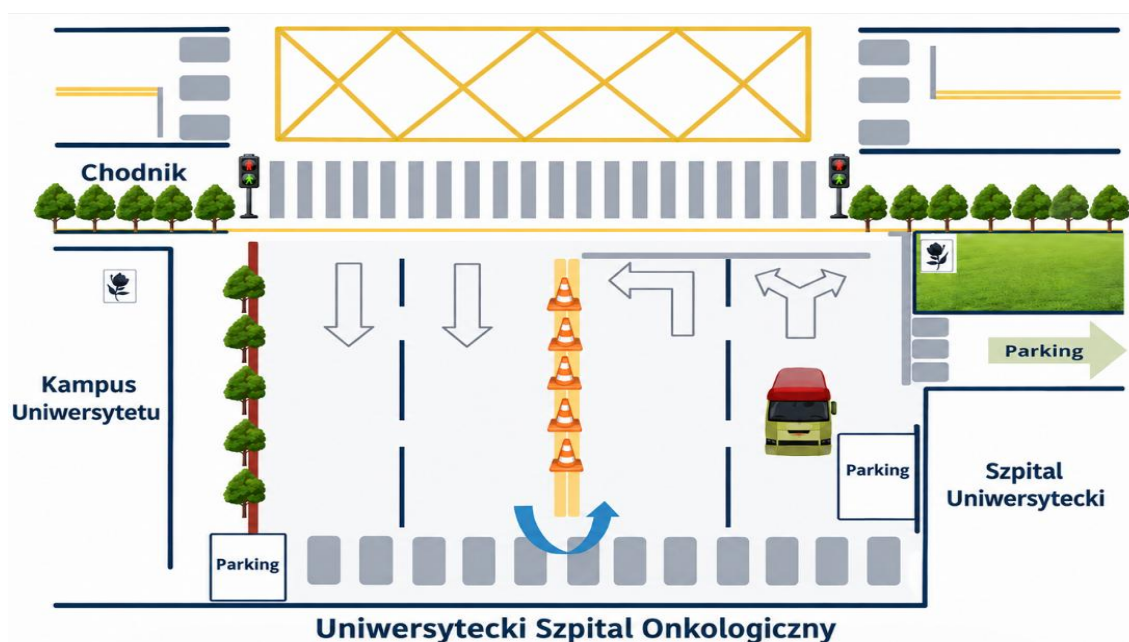
Aktualny program przewidziany na lata 2021-2030, w którym zaleca się interwencje na poziomie powiatu, gminy czy miasta wpisują się w długofalową politykę bezpieczeństwa regionu i kraju uwzględniając jej najważniejsze priorytety i kierunki

działań [36]. Co najważniejsze istotnym jest właściwa diagnoza zaistniałej sytuacji w odniesieniu do danego regionu kraju.

Dodatkowo zgodnie z nowymi bardzo istotnymi zmianami mającymi miejsce 1 czerwca 2021 roku, wprowadzono kluczowe zmiany w Prawie o Ruchu Drogowym i Kodeksie Wykroczeń. Dodano również nowe kategorie pojazdów niebędących dotychczas w żadnych usystematyzowanych rejestrach, są to hulajnogi elektryczne jak również urządzenia transportu osobistego oraz urządzenia wspomagające ruch. Zmiany te są bardzo istotne w szczególności w większych metropoliach [36]. Zasady funkcjonowania w ruchu drogowym związane z tymi pojazdami były nieuregulowane, co bardzo często stwarzało dodatkowe niebezpieczeństwo w ruchu drogowym. Dodatkowo często zdarzało się, że z tego typu pojazdów korzystało kilka osób jednocześnie, a ich obecność, wręcz porzucenie w losowych miejscach powodowało dodatkowe zagrożenie, nie tylko dla pojazdów mechanicznych, ale również dla osób poruszających się pieszo bądź rowerem w sposób właściwy.

Zmieniono podejście do przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej, podjęto decyzję o wprowadzeniu pierwszeństwa dla pieszych, nie tylko oczekujących na wejście na przejście bez sygnalizacji świetlnej, ale również dla osób zbliżających się do przedmiotowych przejść dla pieszych. Dodatkowo zakazano używania telefonów komórkowych podczas przechodzenia przez jezdnię [55].

Wprowadzenie takich zmian może mieć istotny wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Bardzo ciekawym, przedstawiającym skalę problemu związanego z urządzeniami mobilnymi, jest badanie przeprowadzone na kampusie uniwersyteckim w Tajpej w Tajwanie [17]. Badanie to ukazuje jak korzystanie z telefonów komórkowych do różnych czynności może wpływać na bezpieczeństwo w ruchu drogowym, w szczególności niechronionych uczestników ruchu drogowego, takich jak piesi czy rowerzyści. Według autorów używanie smartfonów powoduje „ślepotę atencyjną” będącą stanem, w którym użytkownik ruchu drogowego nie skupia się i nie reaguje na otaczające go bodźce mogące być zagrożeniem i prowadzić do tragicznych w skutkach wypadków [17].



Rysunek 1. Schemat przejścia wykorzystanego w badaniu uważności pieszych
 Źródło: opracowanie własne na podstawie: Chen, PL., Pai, CW. „Pedestrian smartphone overuse and inattentive blindness: an observational study in Taipei, Taiwan. BMC Public Health”, 2018 r.

Badanie polegało na prowadzeniu wywiadów wśród uczestników odnośnie ich zachowań na przejściu dla pieszych z sygnalizacją świetlną. Scenę ruchową, na której prowadzono badania przedstawiono na Rysunku 1. Badanie prowadzone było na przejściu dla pieszych sąsiadującym ze szpitalem uniwersyteckim oraz kampusem uniwersytetu. Uczestnicy badań pokonywali przedmiotowe przejście dla pieszych w obu kierunkach. Ich zachowania były rejestrowane przez twórców badania. Badana grupa uczestników nie miała świadomości, że bierze udział w eksperymencie. Dopiero po zakończeniu badania badacze pytali potencjalnych uczestników czy zechcieliby wziąć udział w badaniu i odpowiedzieć na kilka pytań. W dużej mierze były to osoby młode, ponieważ badanie odbywało się pomiędzy kampusem uniwersyteckim, a szpitalem uniwersyteckim. Osoby po pokonaniu badanego przejścia dla pieszych odpowiadały na zadane pytania (były to tylko osoby, które podczas obserwacji używały telefonów komórkowych podczas pokonywania przejścia dla pieszych) dotyczące tego czy zauważyły osobę przebraną za klauna przechodzącą obok nich, następnie czy słyszały hymn Państwa Tajwan, który odgrywany był przez osobę przebraną za klauna, jak również czy osoby te zapamiętały jaki był czas oczekiwania zanim pojawiły się na przejściu dla pieszych. Wyniki tych badań przedstawiono w formie tabeli 1.

Tabela 1. Skutki „ślepoty atencyjnej”

	UŻYWANIE SMARTFONA PODCZAS POKONYWANIA PRZEJŚCIA (%) N=1112	PROCENT OSÓB, KTÓRE NIE ZAUWAŻYŁY KLAUNA (%) N=631	PROCENT OSÓB, KTÓRE NIE USŁYSZAŁY UTWORU (%) N=766	PROCENT OSÓB, KTÓRE NIE ZAPAMIĘTAŁY CZASU OCZEKIWANIA (%) N=823
GRUPA KONTROLNA	-	2,9	4,2	6,2
SŁUCHAJĄCY MUZYKI	92,5	5,9	65,7	8,4
TRADYCYJNA ROZMOWA	9,6	8,9	16,5	9,2
PRZEGLĄDANIE SOCIAL MEDIÓW	16,8	12,1	19,8	30,1
VIDEO ROZMOWA	12,4	35,6	16,7	27,6
ROZMOWA TELEFONICZNA	40,4	16,5	16,4	10,6
PISANIE WIADOMOŚCI	43,8	25,1	12,5	26,2
PRZEGLĄDANIE INTERNETU	18,2	21,7	16,8	32,7
GRANIE NA SMARTFONIE	72,5	45,7	57,6	66,7

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Chen, PL., Pai, CW., „Pedestrian smartphone overuse and inattentive blindness: an observational study in Taipei”, Taiwan, BMC Public Health , 2018 r.

W tabeli 1, kolumny nie sumują się do 100%, ze względu na fakt iż analizuje się częstość zjawiska wewnątrz konkretnych niezależnych podgrup. Każdy wiersz to oddzielna grupa badawcza. Procenty w kolumnach wskazują, jaka część osób wewnątrz danej grupy doznała „ślepoty uwagi”, tj. przykładowo nie zauważyła klauna. Autorzy badania wskazali ogólną liczbę 1112 dla całej pierwszej kolumny i oznacza to, że zaobserwowali łącznie 1112 pieszych używających smartfony. W przypadku badania zdarzało się, że osoby mogły wykonywać więcej niż jedną czynność. Każda z kolumn zawiera inną liczbę N, ze względu na to iż badacze nie sprawdzali tych samych parametrów u każdego badanego. Przykładowo nie każdemu z uczestników załączano hymn narodowy, bądź nie przed każdą osobą przebiegała osoba przebrana za klauna. Grupa kontrolna nie została wskazana ze względu na fakt, iż osoby te nie używały rozpraszaczy w postaci telefonów komórkowych.

W grupie 1112 osób, w której osoby nie używały rozpraszaczy, tylko 2,9% osób nie widziało osoby przebranej za klauna przechodzącego obok nich, 4,2% osób nie usłyszało hymnu narodowego Tajwanu, a 6,2% nie zapamiętało jak długo oczekiwało na wejście na przejście dla pieszych z sygnalizacją świetlną. Jednak sytuacja zmienia się diametralnie jeśli przeanalizowane zostaną wyniki dla grupy osób słuchających muzyki, w tej grupie aż 92,5% osób używało telefonu podczas pokonywania przejścia dla pieszych, 5,9% nie zauważyło osoby przebranej za klauna przechodzącej obok nich, aż 65,7% osób nie usłyszało hymnu narodowego Tajwanu, a 8,4% osób nie zapamiętało jak długo oczekiwali na wejście na przejście dla pieszych. Potencjalnie najniebezpieczniejsze

w skutkach mogłyby okazać się próby wykonane przez osoby używające smartfonów w celu korzystania z gier. W tej grupie aż 72,5% osób używało urządzeń elektronicznych podczas przechodzenia przez przejście dla pieszych, ogromna grupa 45,7% osób nie zauważyła przebranej osoby, aż 57,6% osób nie usłyszało utworu muzycznego, a znów największa grupa dla poszczególnej kategorii, czyli 66,7% osób nie zapamiętało jak długo oczekiwało na wejście na przejście dla pieszych z sygnalizacją świetlną [17].

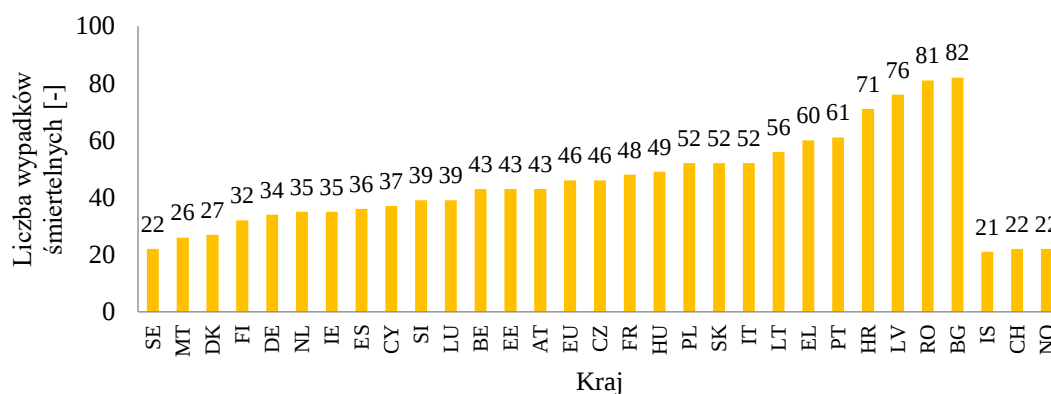
Badanie to ukazuje jak dużym zagrożeniem dla bezpieczeństwa w ruchu drogowym, mogą okazać się urządzenia elektroniczne, szczególnie w obszarze przejść dla pieszych. Wyniki jednoznacznie wskazują na ogromny brak uważności w stosunku do tego co dzieje się wokół danych osób, bardzo często tego typu zachowania kończą się tragedią, w szczególności dla niechronionych uczestników ruchu drogowego [16].

Zgodnie ze statystykami Komendy Głównej Policji Biura Ruchu Drogowego opublikowanego w 2024 roku, w samym 2023 roku wypadki z winy pieszych polegające na wejściu na jezdnię przy czerwonym świetle było to 98 incydentów, co stanowi 9,7% wszystkich wypadków [95]. Doprowadziło to do 12 wypadków śmiertelnych i 86 rannych uczestników ruchu drogowego. Bardzo często w szczególności w odniesieniu do przejść dla pieszych z sygnalizacją świetlną kierowcy nie spodziewają się pojawiających się pieszych na jezdni, kiedy uruchomione jest światło koloru zielonego zapewniające o możliwości przejazdu [44]. W sytuacji pojawienia się pieszego, kierowca może zostać tym faktem zaskoczony. Jednak każdy uczestnik ruchu drogowego powinien pamiętać o ograniczonym zaufaniu w stosunku do innych uczestników ruchu drogowego, co przyniesie wymierne korzyści dla bezpieczeństwa danej jednostki oraz wzrostu bezpieczeństwa w skali krajowej [44].

1.2 Polska na tle innych krajów w Unii Europejskiej w aspekcie bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego

W roku 2023 całkowita liczba wypadków drogowych, w których zginęli ludzie wyniosła 20 400 wypadków, co stanowi zaledwie 1% spadku w stosunku do roku poprzedzającego 2022 [101]. Dodatkowym czynnikiem mogącym mieć znaczący wpływ na statystyki jest pandemia COVID-19, ze względu na ograniczenia mobilności obywateli. Pomimo założeń Unii Europejskiej redukcji liczby wypadków śmiertelnych w ruchu drogowym o 50% do roku 2030, w stosunku do roku 2019 niestety niewiele krajów członkowskich Unii Europejskiej jest na dobrej drodze do spełnienia tych

wytucznych. Od roku 2019 liczba ofiar śmiertelnych wypadków drogowych praktycznie nie zmieniła się w Hiszpanii, Francji i we Włoszech, natomiast wzrosła w Irlandii, na Łotwie, w Holandii, Słowacji i Szwecji. Z kolei Państwa takie jak Belgia, Czechy, Dania, Węgry oraz co jest ogromnie pozytywną perspektywą Polska, jest w gronie krajów Unii Europejskiej, którym do roku 2030 może udać się osiągnąć planowany cel redukcji liczby wypadków śmiertelnych o 50%.



Wykres 1. Liczba wypadków śmiertelnych w poszczególnych krajach Unii Europejskiej w 2023 r. na milion mieszkańców

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Baza danych EU CARE; Eurostat.

Kraje pozostające w czołówce w kontekście szerokorozumianego bezpieczeństwa w transporcie drogowym, to kraje takie jak Szwecja (22 ofiary śmiertelne na milion mieszkańców), Dania (27 ofiar śmiertelnych na jeden milion mieszkańców). Kraje z najwyższym wskaźnikiem śmiertelności w roku 2023 odnotowały Bułgaria oraz Rumunia, kolejno 82 oraz 81 ofiar śmiertelnych na milion mieszkańców. Polska w tym rankingu osiągnęła wskaźnik 52 ofiar śmiertelnych na milion mieszkańców. Progres związany z polepszeniem sytuacji w odniesieniu do bezpieczeństwa w ruchu drogowym jest zauważalny, jednak wciąż istnieje ogromna potrzeba wdrażania rozwiązań infrastrukturalnych, szkoleniowych czy edukacyjnych już od najniższego szczebla edukacji, by wpłynąć na zwiększenie bezpieczeństwa w przestrzeni publicznej. Celem jest osiągnięcie optymalnego wyniku jakim byłoby zero ofiar śmiertelnych.

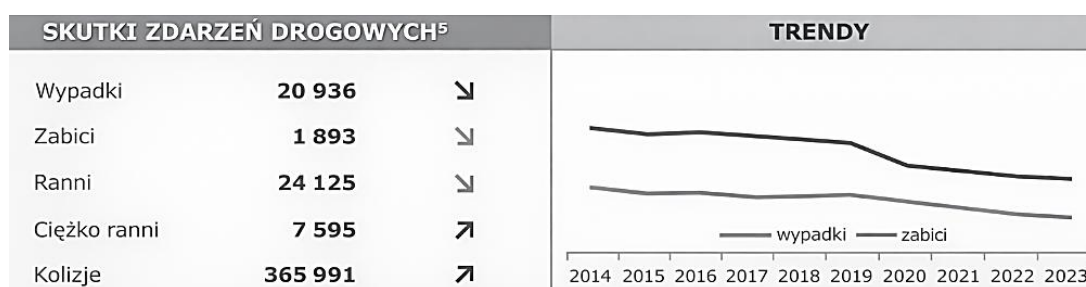
Z dostępnych danych unijnych za 2022 r. wynika, że 52% wszystkich ofiar śmiertelnych wypadków drogowych miało miejsce na drogach wiejskich, w porównaniu z 38% na obszarach miejskich i 9% na autostradach. Tendencja w liczbie rowerzystów zabitych na drogach UE budzi poważne obawy: w 2022 r. zginęło ponad 2 000 rowerzystów. Jest to jedyna grupa użytkowników dróg, w której w ciągu ostatniej dekady

nie odnotowano znaczącego spadku liczby ofiar śmiertelnych, zwłaszcza z powodu utrzymującego się braku odpowiedniej infrastruktury oraz niebezpiecznych zachowań wszystkich użytkowników dróg, takich jak przekraczanie prędkości, dekoncentracja oraz jazda pod wpływem alkoholu lub narkotyków [23].

Zgodnie z danymi bezwzględnymi mężczyźni byli przyczyną trzech z czterech ofiar śmiertelnych wypadków drogowych (77%). Osoby starsze, w wieku 65+, są bardziej zagrożone, ponieważ stanowią 29% wszystkich ofiar śmiertelnych wypadków drogowych, podczas gdy stanowią 21% populacji. Podobnie młodzi ludzie w wieku 18–24 lata odpowiadali za 12% ofiar śmiertelnych wypadków drogowych, ale stanowili 7% populacji. Kierowcy i pasażerowie samochodów stanowili 45% wszystkich ofiar śmiertelnych, piesi 18%, użytkownicy jednośladów z napędem silnikowym (motocykle i motorowery) 19%, a rowerzyści 10% [23].

Schematy te zmieniają się znacząco w zależności od wieku. Wśród osób w wieku 65+ piesi stanowią 29% ofiar śmiertelnych, a rowerzyści 17%. Na obszarach miejskich niechronieni użytkownicy dróg (piesi, rowerzyści i użytkownicy jednośladów z napędem silnikowym) stanowią prawie 70% wszystkich ofiar śmiertelnych. Zdarzenia śmiertelne z udziałem użytkowników dróg miejskich mają miejsce przeważnie w wyniku wypadków z udziałem samochodów, co podkreśla potrzebę poprawy bezpieczeństwa niechronionych użytkowników dróg.

Zgodnie z danymi pochodzącymi z Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji prowadzonego przez Komendę Główną Policji wskazano trendy dotyczące sytuacji w odniesieniu do bezpieczeństwa ruchu drogowym w Polsce.



Rysunek 2. Trendy dotyczące sytuacji bezpieczeństwa w ruchu drogowym w Polsce

Źródło: Komenda Główna Policji - Biuro Ruchu Drogowego.

Zgodnie z danymi w roku 2023 w stosunku do poprzedzającego roku 2022 odnotowano zmniejszenie ogólnej liczby wypadków w Polsce. Wpływ na taką sytuację mogą mieć zmiany wprowadzone 1 czerwca 2022 roku i dotyczą zmiany pierwszeństwa na przejściach dla pieszych. Od tego momentu to kierowcy zobligowani są do

ustępowania pierwszeństwa niechronionym uczestnikom ruchu drogowego, już tym zbliżającym się do przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej. Spadek o 1,8% liczby ofiar śmiertelnych, o 0,2% liczby rannych. Jednak przy jednoczesnym wzroście liczby ofiar ciężko rannych o 0,7% oraz wzroście liczby kolizji o 1% może mieć związek z istotnymi zmianami przyzwyczajęń użytkowników dróg, będącymi niejako wymuszonymi przez zmianę przepisów. Wszelkie zmiany są szczególnie istotne w kontekście ofiar, które w wyniku wypadku w transporcie drogowym ucierpiały w sposób jak określono „ciężki” [95]. Ma to bardzo duże znaczenie ze względu na to, iż żadna instytucja Państwowa nie prowadzi statystyk i nie udziela informacji na temat tego czy osoby, które w wyniku wypadku drogowego różnego rodzaju ucierpiały w sposób ciężki były w stanie powrócić do pełnej sprawności po wypadku. Mogło bowiem wiązać się to z tragicznymi w skutkach powikłaniami uniemożliwiającymi powrót do normalnej sprawności sprzed wypadku drogowego. Wzrost liczby wypadków ze skutkiem ciężkim może mieć też ogromny wpływ nie tylko na aspekt tragedii poszczególnych jednostek, ale również negatywne skutki dla gospodarki Państwa [95].

Zgodnie ze statystykami dotyczącymi bezpieczeństwa w szczególności niechronionych uczestników ruchu drogowego, takich jak piesi czy rowerzyści ponieważ ta grupa najbardziej narażona jest na ciężkie konsekwencje związane z wystąpieniem incydentu z pojazdem mechanicznym, w roku 2022, czyli roku w którym przepisy dotyczące pierwszeństwa pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej były już w mocy przez cały rok kalendarzowy, ogólna liczba wypadków z udziałem pieszych wyniosła 2445 incydentów, w roku następującym 2023 było to już 2677 wypadków, czyli o 232 więcej. Daje to wzrost aż o 13% [89].

Statystyki dotyczące ofiar śmiertelnych wskazują iż w stosunku do roku 2022, w roku 2023 liczba wypadków śmiertelnych z udziałem niechronionych uczestników ruchu drogowego była o 13 osób mniejsza. Jednak w odniesieniu do wprowadzonych zmian, liczba wypadków drogowych na przejściach dla pieszych w roku 2022 to 923 wypadki, a w roku 2023 aż 1008, co jest bardzo niepokojące, ponieważ to wzrost aż o 9%, czyli o 85 ofiar o „ciężkim” skutku wypadku. Tak jak wspomniano powyżej kwestia związana z ofiarami, które ucierpiały w sposób ciężki jest tematem bardzo skomplikowanym, ponieważ nie ma możliwości obecnie określenia skali problemu i jego wpływu na gospodarkę Państwa.

1.3 Koszty związane z wypadkami i kolizjami drogowymi w aspekcie bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego

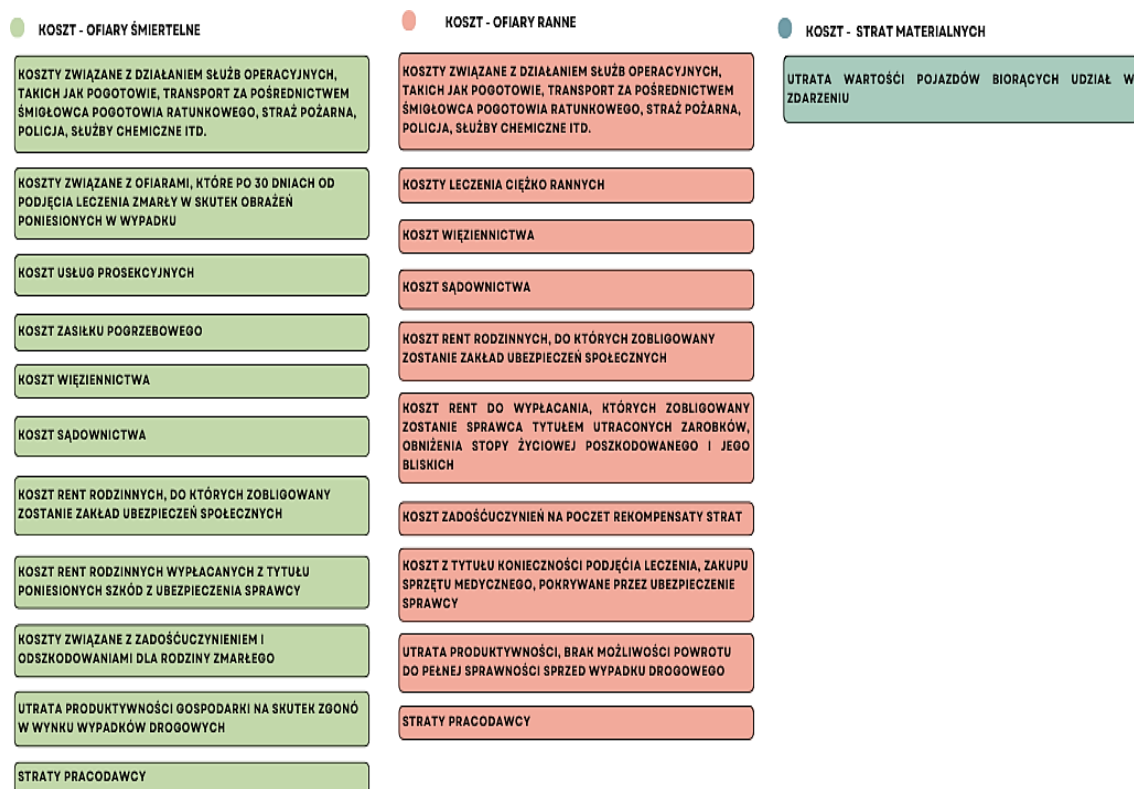
Dostępne dane dotyczące społecznych kosztów wypadków i kolizji w Polsce są zatrważające. Całkowity koszt wyniósł 52 miliardy złotych. Co oznacza, że przykładowo w roku 2022 było to aż 1,75% PKB Państwa Polskiego. Składają się na to koszty związane z wypadkami drogowymi, było to 37,9 miliarda złotych, co oznacza aż 73% kosztów całkowitych. Koszty związane z kolizjami drogowymi wyniosły 14,1 miliardów złotych, czyli 27% kosztów całkowitych [47].

Tabela 2. Koszt jednostkowy ofiar wypadków drogowych w Polsce w roku 2022 w (PLN)

Koszt jednostkowy	WARTOŚĆ W 2022 ROKU (w PLN)
ofiary śmiertelnej	2 574 642
ofiary ciężko rannej	4 203 244
ofiary lekko rannej	54 558
strat materialnych	19 004

Źródło: opracowanie własne na podstawie Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego „Wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec roku 2022, z wyodrębnieniem średnich kosztów społeczno-ekonomicznych wypadków na transeuropejskiej sieci transportowej”, Warszawa, 2023 r., str. 42-45.

Metoda Pandora odnosi się do platformy analiz danych o wypadkach drogowych, grupuje ona koszty wypadków drogowych z podziałem na wiele grup kosztów składających się na ogólny koszt związany z wypadkami drogowymi, na rysunku 3 przedstawiono szczegółowy opis poszczególnych grup w przypadku ofiar wypadków drogowych śmiertelnych, strat materialnych oraz ofiar rannych.



Rysunek 3. Grupy kosztów wypadków drogowych według metody Pandora

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Jażdżik-Osmólska A., Osmólski G., „Wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec roku 2022, z wyodrębnieniem średnich kosztów społeczno-ekonomicznych wypadków na transeuropejskiej sieci transportowej” 2023 s. 22-26.

Wypadki ciężkie wiążą się z wypłatami bardzo często dożywotnio rent dla osób poszkodowanych niebędących w stanie podjąć pracy zawodowej [38]. W odniesieniu do najbardziej newralgicznych uczestników ruchu drogowego jakim są piesi czy rowerzyści, w roku 2022 liczba wypadków z udziałem pieszych to 22,3% całej liczby wypadków, w roku 2023 było to już 23,6% wypadków. Poziom wypadków z udziałem rowerzystów utrzymuje się w latach 2022, 2023 na stałym poziomie 17,2% wypadków [95].

Mając na uwadze zmianę przepisów wprowadzonych 1.06.2021 r. w odniesieniu do województw najwyższe koszty związane z wypadkami drogowymi w Polsce w roku 2022 odnotowano w województwach łódzkim, małopolskim, mazowieckim, śląskim, wielkopolskim oraz dolnośląskim. Zgodnie ze statystykami dotyczącymi kosztów związanych z leczeniem ofiar ciężko rannych można stwierdzić, że koszt ten w roku 2022 był aż o 61% wyższy aniżeli w stosunku do ofiar śmiertelnych, analizując koszt związany z leczeniem ofiar śmiertelnych w porównaniu do ofiar lekko rannych czy strat materialnych[95]. Analizując wzrost liczby wypadków w latach 2022 i 2023, biorąc pod uwagę średni koszt jednostkowy w roku 2022 i wzrost liczby wypadków, gdzie ofiary ucierpiały w sposób ciężki, dodatkowy koszt dla budżetu państwa z tytułu kosztów

leczenia wynosi w przybliżeniu dodatkowe 360 milionów złotych. Są to kwoty bardzo duże, które powinny zostać przeznaczone na zwiększanie świadomości poprzez szkolenia, naukę oraz inwestycje w rozwiązania inteligentne nowatorskie mające wpływ na poprawę bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu, dające możliwość działania długofalowego, wieloletnich korzyści płynących z działania prewencyjnego [95].

W tabeli 3 przedstawiono analizę związaną z kategorią poszczególnych kosztów z podziałem na lata, w odniesieniu do danych z roku 2022 oraz przykładowych danych historycznych obrazujących skalę i wpływ na gospodarkę państwa.

Tabela 3. Zestawienie kosztów incydentów drogowych w Polsce w latach 2018-2022

Kategoria	2018	2021	2022
Koszty społeczne wszystkich zdarzeń drogowych	56,6 mld. zł.	39,3 mld. zł.	52 mld. zł.
Koszty wypadków drogowych	44,9 mld. zł.	35,8 mld. zł.	37,9 mld. zł.
Koszty kolizji drogowych	11,7 mld. zł.	3,5 mld. zł.	14,1 mld. zł.
Udział % kosztów wypadków w PKB	2,10%	1,40%	1,20%
Koszty zdarzeń drogowych na sieci TEN-T	1,9 mld. zł.	2,7 mld. zł.	3,9 mld. zł.
Koszt jednostkowy ofiary śmiertelnej	2,4 mln. zł.	2,6 mln. zł.	2,6 mln. zł.
Koszt jednostkowy ofiary ciężko rannej	3,3 mln. zł.	3,5 mln. zł.	4,2 mln. zł.
Koszt jednostkowy ofiary lekko rannej	48,2 tys. zł.	51,3 tys. zł.	54,6 tys. zł.
Koszt jednostkowy straty materialnej	15,4 tys. zł.	4,7 tys. zł.	19 tys. zł.
Koszt jednostkowy wypadku drogowego	1,4 mln. zł.	1,6 mln. zł.	1,8 mln. zł.
Koszt jednostkowy kolizji drogowej	26,7 tys. zł.	8,2 tys. zł.	38,8 tys. zł.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego „Wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec roku 2022, z wyodrębnieniem średnich kosztów społeczno-ekonomicznych wypadków na transeuropejskiej sieci transportowej”, Warszawa, 2023 r., str. 4-10.

1.4 „Wizja zero” w aspekcie bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego

Wizja zero to systemowa, kompleksowa, interdyscyplinarna metodyka planowania i wdrażania działań BRD. Obecny stan bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce, a dodatkowo wieloletnie członkostwo w Unii Europejskiej obliguje do działania na rzecz poprawy bezpieczeństwa w ruchu drogowym i powinny być one traktowane jako

działania priorytetowe [22]. Mając na względzie doświadczenia krajów o wysokim poziomie BRD, polską dalekosiężną i etycznie uprawnioną wizją bezpieczeństwa ruchu drogowego jest: dążenie do całkowitego wyeliminowania ofiar śmiertelnych. Tak sformułowana wizja oznacza, że:

- działania chroniące życie i zdrowie uczestników ruchu drogowego powinny być traktowane priorytetowo i stawiane ponad mobilnością oraz innymi celami funkcjonowania systemu transportu,
- system transportowy powinien być tak projektowany, budowany, eksploatowany i zarządzany, aby mógł kompensować niedoskonałości i wybaczać błędy jego użytkowników,
- ograniczanie liczby wypadków w transporcie oraz ich konsekwencji są podstawowymi obowiązkami wszystkich tworzących, zarządzających i korzystających z systemu transportowego w Polsce[8].

Podstawowym celem Wizji Zero jest dążenie do redukcji do zera ofiar śmiertelnych i ciężko rannych w wypadkach drogowych [7]. Po raz pierwszy założenia tak określonego programu działań przyjął szwedzki parlament w 1997 r., który uznał, że żadna śmierć na drodze nie może być akceptowana. Wzorując się na szwedzkim podejściu do bezpieczeństwa na drogach, w 2005 r. powstała pierwsza polska wersja Wizji Zero - Program GAMBIT 2005. Komisja Europejska po raz pierwszy wprowadziła Wizję Zero w 2011 roku w Białej Księdze, poprzez przyjęcie długoterminowego celu dążenia do zera ofiar śmiertelnych do 2050 roku. Dzięki deklaracji ministrów transportu UE z Valletty w marcu 2017 r., Komisja Europejska przedstawiła ambitną politykę bezpieczeństwa drogowego na lata 2021-2030.

W dokumencie „EU road safety policy framework 2021–2030 Next steps towards ‘Vision Zero’” wyznaczono nowe pośrednie cele: zmniejszenie o połowę liczby ofiar śmiertelnych i po raz pierwszy, również o połowę liczby ciężko rannych na europejskich drogach do 2030 r., w stosunku do roku bazowego jakim jest rok 2019 [20]. Wskazano, że ramy polityki bezpieczeństwa ruchu drogowego UE na lata 2021–2030 powinny być wskazówką i inspirować liderów politycznych nie tylko na szczeblu krajowym, ale również w regionach i miastach. Wizja Zero nie jest jedynie hasłem. To długofalowy, kompleksowy program działań, który może być realizowany zarówno na poziomie krajowym, jak i lokalnie, w skali województwa, powiatu czy miasta [18].

Rozdział 2 Aktualny stan wiedzy w zakresie bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego

2.1 Zagrożenia i ryzyka

Bezpieczeństwo ruchu drogowego jest to właściwość systemu transportu drogowego charakteryzująca się brakiem występowania zagrożeń, które są określane jako możliwość wystąpienia zdarzeń niepożądanych (konfliktu, kolizji, wypadku drogowego), mogących spowodować zakłócenia funkcjonowania systemu transportu drogowego lub straty (osobowe, materialne, środowiskowe i ekonomiczne) wśród użytkowników dróg. Jednym z podstawowych elementów systemu transportu drogowego jest infrastruktura drogowa, której stan ma kluczowy wpływ na bezpieczeństwo na drogach. W zagadnieniach związanych z bezpieczeństwem ruchu drogowego, szczególną uwagę poświęca się uczestnikom ruchu drogowego oraz ich zachowaniom. Natomiast w przypadku bezpieczeństwa infrastruktury drogowej, główny nacisk kładzie się na funkcjonowanie sieci drogowej i jej elementów [66]. Jako że jednym z głównych zadań administracji drogowej jest prowadzenie działań usprawniających funkcjonowanie infrastruktury drogowej w celu poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, zarządy drogowe są zainteresowane zarządzaniem bezpieczeństwem infrastruktury drogowej.

Zarządzanie bezpieczeństwem związanym z infrastrukturą drogową polega na tym, że podczas planowania, projektowania czy budowy i użytkowania infrastruktury drogowej stosuje się procedury polegające na systematycznej identyfikacji zagrożeń na drodze. Szacowaniu ich ewentualnych skutków dla uczestników ruchu drogowego jak również wdrażaniu rozwiązań eliminujących wykryte zagrożenia lub zmniejszających ich skutki występowania. Proces zarządzania bezpieczeństwem nie jest procesem prostym, wymaga zatem zastosowania narzędzi niekonwencjonalnych i nowoczesnych, które będą w stanie identyfikować zagrożenia uczestników ruchu na drodze, oszacowanie tego poziomu, ocenę bezpieczeństwa infrastruktury drogowej oraz dobór narzędzi pozwalających na podejmowanie skutecznych działań skierowanych na poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Ryzyko jest to połączenie prawdopodobieństwa aktywizacji zagrożenia w zdarzeniu niepożądanym i co za tym idzie pojawienia się w wyniku tego strat w życiu i zdrowiu ludzkim, ale również strat materialnych. Najczęściej jest to iloczyn poziomu prawdopodobieństwa aktywizacji zagrożenia w zdarzeniu niepożądanym i poziomu

spowodowanych w związku z tym strat. Zagrożenie jest to możliwość wystąpienia zdarzenia niepożądanego, w tym przypadku może to być konflikt, kolizja lub wypadek drogowy, które może mieć wpływ i sparaliżować tym samym funkcje analizowanego systemu transportowego. Jeśli chodzi o źródła zagrożeń, są to wszelkie czynniki przyczyniające się do powstania zdarzenia niebezpiecznego, którymi mogą być między innymi czynniki drogowe, ruchowe, przyrodnicze. Wyróżniamy dwa rodzaje ryzyka, w tym ryzyko indywidualne oraz ryzyko społeczne.

Ryzyko indywidualne - definiowane jako prawdopodobieństwo uwikłania pojedynczego uczestnika procesu ruchu drogowego w zdarzenie niebezpieczne lub prawdopodobieństwo poniesienia strat w zdarzeniu niebezpiecznym w czasie poruszania się po sieci drogowej. Odnosi się ono do zachowań pojedynczego uczestnika ruchu drogowego na obiekcie drogowym (skrzyżowanie, odcinek międzywęzłowy). Ryzyko to jest wykorzystywane do identyfikacji odcinków dróg, które stwarzają duże trudności w bezpiecznym poruszaniu się pojedynczych uczestników ruchu drogowego. Umożliwia to zarządom drogowym eliminowanie zagrożeń poprzez usuwanie lub ograniczanie ich źródeł, a przede wszystkim do informowania użytkowników dróg o występowaniu najbardziej niebezpiecznych odcinków dróg.

Ryzyko społeczne - jest to możliwość wystąpienia określonej kategorii strat (osobowe lub ekonomiczne) na analizowanym obszarze (sieć transportowa, obszar kraju) w przyjętej jednostce czasu. Ryzyko społeczne odnosi się do zachowań całych grup społecznych na wybranym obszarze lub sieci dróg. Zatem jest to strata (liczba wypadków, ofiar wypadków, a także wielkość kosztów poniesionych w wypadkach drogowych) w przyjętym okresie czasu (najczęściej w przeliczeniu na rok), na wybranym obszarze (kraj, region, powiat, miasto), odcinku drogi lub obiekcie drogowym. Ryzyko społeczne daje podstawy zarządom drogowym oraz innym instytucjom zarządzającym bezpieczeństwem (policja, służby ratownicze, służba zdrowia) na danym obszarze do podejmowania decyzji, w jaki sposób usprawnić najbardziej zagrożone elementy systemu bezpieczeństwa ruchu drogowego i jak najefektywniej wykorzystać przewidywany budżet na bezpieczeństwo zarządzanej infrastruktury drogowej.

Zdolność reagowania na zagrożenia związane z bezpieczeństwem pieszych jest istotnym elementem działań mających na celu ograniczenie obrażeń w wypadkach drogowych. Kolizje z pieszymi, podobnie jak inne wypadki drogowy, nie powinny być akceptowane jako nieuchronne, bowiem w rzeczywistości, w większości można je przewidzieć i im zapobiec. Główne rodzaje ryzyka wypadku pieszych są dokumentowane

i obejmują kwestie dotyczące szerokiej gamy czynników: zachowanie kierowców, w szczególności w zakresie prędkości, jazdy pod wpływem alkoholu, infrastruktury w zakresie braku wydzielonych udogodnień dla pieszych, takich jak chodniki, przejścia i wyniesione wyspy pasa środkowego.

2.2 Organizacja ruchu i separacja potoków i strumieni ruchu

Zmniejszenie prędkości jest jednym z prostszych działań, jakie miasta mogą podjąć, aby uczynić ulice bezpieczniejszymi. Jazda z nadmierną prędkością zwiększa trudność zadań, jakie stoją przed kierowcą podczas prowadzenia pojazdu. Kierowca ma mniej czasu aby prawidłowo rozpoznać, ocenić i zareagować na sytuację drogową. Droga hamowania pojazdu wydłuża się, zwiększa się prawdopodobieństwo utraty kontroli kierowcy nad pojazdem, inni użytkownicy dróg mają mniej czasu aby uniknąć wypadku. Prawdopodobieństwo odniesienia śmiertelnych obrażeń w przypadku potrącenia pieszego przy prędkości 30 km/h jest około pięć razy mniejsze niż przy prędkości 50km/h [60]. Dlatego szczególnie w obszarach miejskich należy promować i stosować różne środki uspokojenia ruchu (legislacyjne, infrastrukturalne, organizacyjne).

Ważne jest aby podejmowane działania odpowiadały zagrożeniom występującym na danym obszarze, były dobrze zaplanowane i odpowiadały potrzebom społeczności lokalnej. Z punktu widzenia efektywności najbardziej wskazane są działania obszarowe skutkujące uspokojeniem ruchu i stwarzające bardziej przyjazne warunki do poruszania się po mieście uczestnikom ruchu drogowego. Istotna jest ochrona pieszych w rejonie i na przejściach dla pieszych poprzez fizyczne ograniczenie prędkości pojazdów, zachowanie właściwej widoczności, w tym prawidłowego oświetlenia. Do najczęściej stosowanych i najskuteczniejszych fizycznych środków spowalniających ruch, stosowanych jako uzupełnienie lokalnych ograniczeń prędkości, należą progi zwalniające. Współczynnik redukcji wypadków dla tego rozwiązania wynosi 33%–48% [28].

Innymi tego typu rozwiązaniami są wyniesione skrzyżowania czy wyniesione przejścia dla pieszych. Najskuteczniejsze jest jednak uspokojenie ruchu na większym obszarze (tzw. strefa Tempo 30) [107]. Oprócz wprowadzenia znaków tej strefy stosuje się punktowe i liniowe środki spowalniające ruch (zawężenie jezdni na przejściach dla pieszych, zakrzywienie toru ruchu, naprzemienne miejsca parkingowe). Szacowana redukcja liczby wypadków przy takim kompleksowym rozwiązaniu wynosi 53% [107].

Coraz częściej stosuje się innowacyjne środki w postaci nietypowego oznakowania przejść dla pieszych czy tzw. aktywnych przejść informujących kierowców o obecności pieszego na przejściu

2.3 Zachowania pieszych i kierowców

Metody oceny charakterystyki ruchu pieszych i kierowców, jak również relacji pieszy-kierowca, kierowca-pieszy w ruchu drogowym jest kluczowe dla tworzenia metod i rozwiązań funkcjonalnych dla zwiększenia bezpieczeństwa w szczególności najbardziej newralgicznej grupy jaką są piesi. Grupa ta narażona jest na bezpośrednie niebezpieczeństwo utraty życia lub zdrowia. Wymaga to znajomości cech psychofizycznych pieszych oraz parametrów ruchu. Podobnie ma to miejsce przypadku kierowców pojazdów mechanicznych. Kolejnym aspektem determinującym zachowania jest stopień niepełnosprawności, ze względu na czas reakcji oraz prędkość poruszania się.

Zachowania pieszych i kierowców bada się pod względem występowania anomalii w stosunku do tego co determinują przepisy ruchu drogowego, będące wyznacznikiem przyjętych zasad według, których zarówno piesi jak i kierowcy powinni postępować. Każde zachowanie odbiegające od przyjętego klucza podlega ocenie ze względu na możliwy powód wystąpienia anomalii, pozwala zrozumieć schematy postępowania, jak również tworzyć rozwiązania możliwe do wdrożenia eliminujące lub ograniczające w przyszłości występowanie danych anomalii. Zachowania pieszych i kierowców bardzo często należą do badań wysokiego ryzyka ze względu na charakter badań prowadzonych w normalnym ruchu drogowym, wiążącym się z wieloma zagrożeniami oraz ograniczeniami implementacji testowych zmiennych. W przypadku badań ingerujących w zachowania zarówno kierowców jak i pieszych stosuje się metody oceny zachowań wykorzystujące zamknięte środowiska symulatorowe dające swobodę implementacji wszelakich zmiennych.

Obecne rozwiązania ruchu drogowego podlegają intensywniej transformacji technologicznej, która wymaga zmiany podejścia do klasycznych modeli opisujących zachowania jego uczestników. Tradycyjny paradygmat bezpieczeństwa ruchu drogowego, oparty głównie na analizie interakcji kierowca-pieszy w warunkach ograniczonej ingerencji technologii, okazuje się niewystarczający wobec dynamicznych zmian technologicznych. Rozwój zaawansowanych systemów wspomagania kierowcy, powszechna obecność urządzeń mobilnych oraz postępująca automatyzacja transportu

powodują, że zachowania uczestników ruchu należy analizować w ramach złożonego systemu relacji człowiek-technologia. Najnowsze badania naukowe jednoznacznie wskazują, że zarówno piesi, jak i kierowcy funkcjonują obecnie w środowisku hybrydowym, w którym bodźce cyfrowe i fizyczne wzajemnie się przenikają.

Jednym z najważniejszych obszarów badawczych współczesnej psychologii transportu jest zjawisko dystrakcji cyfrowej wśród pieszych. Korzystanie ze smartfonów podczas poruszania się w przestrzeni drogowej prowadzi do istotnych zmian zarówno w zakresie percepcji, jak i procesów decyzyjnych. Zafri wskazuje, że współczesne zachowania ryzykowne pieszych są ściśle powiązane z poziomem ich immersji w środowisko cyfrowe, co prowadzi do redefinicji klasycznych modeli podejmowania decyzji w ruchu drogowym [109]. W szczególności zauważalny jest spadek świadomości sytuacyjnej, rozumianej jako zdolność do odbioru, interpretacji oraz przewidywania zdarzeń w otoczeniu drogowym.

Badania eksperymentalne przeprowadzone przez Alsharifa i Sayeda wykazały, że piesi piszący wiadomości tekstowe reagują istotnie wolniej na zbliżające się pojazdy oraz wykazują ograniczoną zdolność adaptacji trajektorii ruchu [49]. W porównaniu do osób niedystraktowanych wykonują oni znacząco mniej korekt prędkości i kierunku, co prowadzi do zwiększonego ryzyka kolizji. Wyniki te znajdują potwierdzenie w badaniach terenowych Krishny, Kapruwana i Choudhary'ego, którzy opisali zjawisko tzw. „cyfrowej krótkowzroczności”. Polega ono na zawężeniu pola widzenia do obszaru centralnego, przy jednoczesnym niemal całkowitym zaniku percepcji bodźców peryferyjnych. W praktyce oznacza to, że piesi skoncentrowani na ekranie urządzenia mobilnego nie rejestrują kluczowych sygnałów ostrzegawczych, takich jak nadjeżdżające pojazdy czy zmiany sygnalizacji świetlnej.

Konsekwencje dystrakcji cyfrowej nie ograniczają się jednak wyłącznie do sfery poznawczej. Istotne zmiany obserwuje się również w zakresie motoryki chodu. Pelicioni i współpracownicy wykazali, że korzystanie z telefonu podczas chodzenia prowadzi do zwiększonej zmienności długości kroku, zaburzeń rytmu chodu oraz asymetrii ruchowej [69]. Zjawiska te przekładają się bezpośrednio na wzrost ryzyka potknięć i upadków, szczególnie w rejonach o podwyższonym ryzyku, takich jak krawędzie jezdni czy przejścia dla pieszych. W połączeniu z ograniczoną zdolnością oceny czasu do kolizji prowadzi to do powstawania sytuacji o wysokim potencjale wypadkowym.

Równolegle do badań nad pieszymi rozwija się nurt analiz dotyczących zachowań kierowców, w szczególności ich skłonności do ustępowania pierwszeństwa. Zachowanie

to stanowi jeden z kluczowych wskaźników bezpieczeństwa na przejściach dla pieszych, zwłaszcza niesygnalizowanych. Stern i współpracownicy wykazali, że najważniejszym czynnikiem determinującym decyzję o zatrzymaniu pojazdu jest prędkość dojazdowa [91]. Przekroczenie wartości około 40 km/h prowadzi do gwałtownego spadku prawdopodobieństwa ustąpienia pierwszeństwa, co wynika zarówno z ograniczeń percepcyjnych kierowcy, jak i wydłużonego czasu reakcji.

Istotną rolę odgrywają również czynniki infrastrukturalne. Badania Piyalungki i współpracowników wskazują, że liczba pasów ruchu, szerokość jezdni oraz brak wysp azylu dla pieszych znacząco obniżają poziom bezpieczeństwa [74]. Na drogach wielopasmowych dochodzi do zjawiska rozproszenia odpowiedzialności, w którym każdy z kierowców zakłada, że decyzję o zatrzymaniu podejmie inny uczestnik ruchu. W efekcie pieszy pozostaje w sytuacji niepewności, co zwiększa ryzyko błędnej decyzji o wejściu na jezdnię.

Współczesne badania coraz częściej wykorzystują zaawansowane metody modelowania predykcyjnego. Negash i Yang zastosowali algorytmy uczenia maszynowego do przewidywania zachowań kierowców na podstawie danych demograficznych oraz parametrów ruchu. Ich modele pozwalają z dużą dokładnością estymować prawdopodobieństwo ustąpienia pierwszeństwa w określonych warunkach. Z kolei Bonera i współpracownicy zwracają uwagę na psychologiczny aspekt podejmowania decyzji przez kierowców, wskazując że w sytuacjach niesygnalizowanych często przejmują oni pełną odpowiedzialność za ocenę ryzyka.

Szczególnie dynamicznie rozwijającym się obszarem badań są interakcje pieszych z pojazdami autonomicznymi. Wprowadzenie pojazdów pozbawionych kierowcy eliminuje możliwość wykorzystania tradycyjnych mechanizmów komunikacji niewerbalnej, takich jak kontakt wzrokowy czy gesty. W odpowiedzi na ten problem rozwijane są zewnętrzne interfejsy komunikacyjne, które mają informować pieszych o zamiarach pojazdu. Zhang i współpracownicy wskazują jednak, że obecne rozwiązania mają charakter zbyt uproszczony i nie oddają złożoności rzeczywistych interakcji drogowych [112].

Alternatywne podejście stanowi wykorzystanie technologii rozszerzonej rzeczywistości. Tabone i współpracownicy wykazali, że zastosowanie okularów AR umożliwia przekazywanie pieszym informacji o trajektorii i zamiarach pojazdu w sposób bardziej intuicyjny [97]. Rozwiązanie to wpisuje się w koncepcję „ko-nawigacji”, opisaną przez Yu i współpracowników, zakładającą dynamiczne dostosowywanie zachowań

wszystkich uczestników ruchu [2].

Pomimo postępu technologicznego istotnym wyzwaniem pozostaje akceptacja społeczna pojazdów autonomicznych. Badania Bigazziego wykazały, że piesi odczuwają niższy poziom bezpieczeństwa w interakcjach z pojazdami autonomicznymi niż sterowanymi przez człowieka [12]. Odrębnym, lecz nadal istotnym zagadnieniem pozostaje zjawisko jaywalkingu (wchodzenia na przejście dla pieszych w miejscu niedozwolonym). Współczesne badania wskazują, że nie jest ono wynikiem błędów poznawczych, lecz świadomych decyzji optymalizacyjnych podejmowanych przez pieszych. Najbardziej zaawansowane analizy w tym zakresie przeprowadzili Lanzaro i Sayed, wykorzystując modele wieloagentowe oparte na teorii gier Markowa. Ich wyniki pokazują, że nieprzepisowe zachowania pieszych prowadzą do powstawania wysoce niestabilnych interakcji z kierowcami, skutkujących gwałtownymi zmianami prędkości oraz minimalizacją marginesów bezpieczeństwa [43].

Bezpieczeństwo na przejściach dla pieszych jest uwarunkowane skuteczną wymianą informacji pomiędzy kierowcami a pieszymi. Obecnie nie istnieją jednoznaczne formy komunikacji pozwalające obu stronom prawidłowo ocenić swoje zamiary, dlatego piesi często podejmują decyzję o wejściu na jezdnię na podstawie niepewnych sygnałów. Zachowanie kierowców można analizować na podstawie zmian prędkości pojazdu podczas zbliżania się do przejścia dla pieszych. Nie oznacza to jeszcze zamiaru zatrzymania pojazdu, jednak odpowiednia analiza przebiegu hamowania pozwala przewidywać dalsze działania kierowcy [13]. Na podstawie parametrów prędkości możliwe jest określenie przesłanek świadczących o zamiarze zatrzymania samochodu [13].

2.4 Dystraktory uwagi

Jako dystraktory uwagi określa się wszelkie czynniki zewnętrzne i wewnętrzne, bodźce lub czynności, które mogą w jakikolwiek sposób wpłynąć na percepcję uwagi kierowcy pojazdu mechanicznego lub niechronionego uczestnika ruchu drogowego. Dystraktory uwagi wpływają na obniżenie koncentracji, opóźnienie czasu reakcji co bezpośrednio przekłada się na wzrost ryzyka wystąpienia wypadku w ruchu drogowym. Dystraktory uwagi możemy podzielić na grupę dotyczącą kierowców oraz pieszych. W odniesieniu do kierowców dystraktory uwagi zostały przedstawione na rysunku 4.

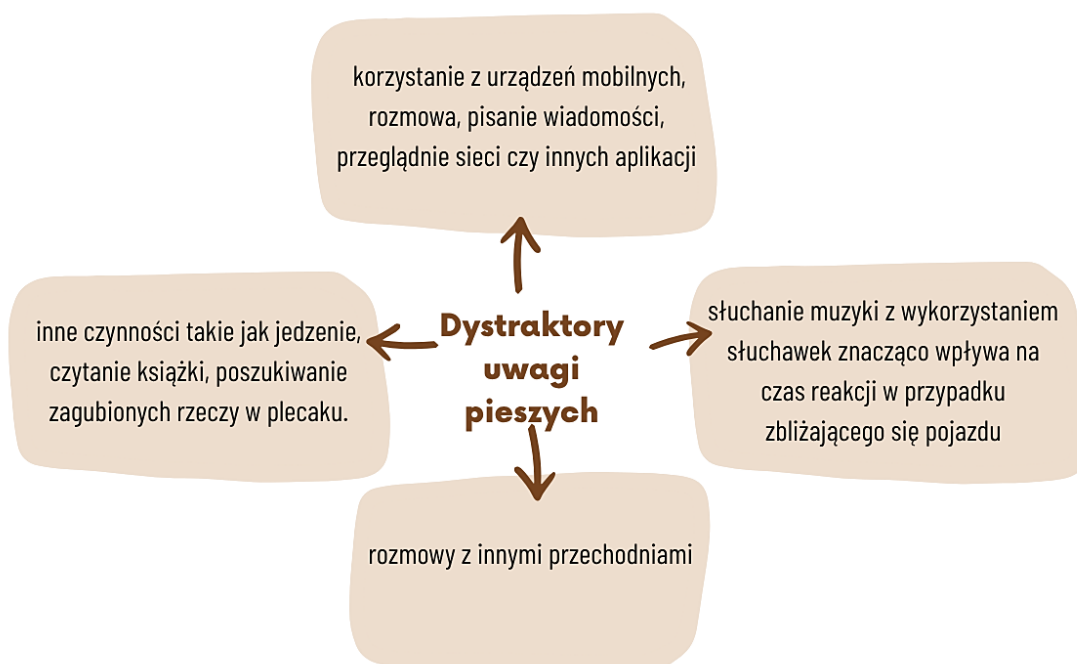
W odniesieniu do kierowców są to zarówno elementy wewnątrz pojazdu (np. systemy pokładowe, telefon, rozmowy, jedzenie), jak i bodźce zewnętrzne (np. reklamy, zdarzenia drogowe). W przeszłości jako dystraktory uwagi uznawano takie czynności jak rozmowy z pasażerami, czy jedzenie w trakcie jazdy. Współcześnie coraz większy wpływ mają rozproszenie uwagi kierowcy, nowoczesne technologie, zwłaszcza ekrany dotykowe oraz urządzenia mobilne. Ekrany i telefony zawężają pole widzenia, odwracają uwagę, co powoduje, że kierowca koncentruje się tylko na wybranych elementach sytuacji drogowej. Bodźce zewnętrzne, takie jak reklamy czy zdarzenia na drodze również odciągają wzrok. Dystraktory wydłużają czas reakcji kierowcy, odwracają jego uwagę od sytuacji na drodze, w efekcie kierowca potrzebuje więcej czasu na zauważenie potencjalnego zagrożenia, podjęcie decyzji i wykonanie odpowiedniej reakcji np. hamowania.



Rysunek 4. Dystraktory uwagi w odniesieniu do kierowców
Źródło: opracowanie własne.

Natomiast w odniesieniu do pieszych dystraktory uwagi zostały przedstawione na rysunku 5. Dystraktory uwagi pieszych to czynniki, które odwracają uwagę od obserwacji otoczenia i sytuacji na drodze. Do najczęściej występujących należą korzystanie z urządzeń mobilnych, prowadzenie rozmów oraz słuchanie muzyki przez słuchawki.

Czynniki te ograniczają zdolność obserwacji otoczenia, utrudniają zauważenie potencjalnych zagrożeń oraz mogą wydłużać czas reakcji pieszego w niebezpiecznych sytuacjach.



Rysunek 5. Dystraktory uwagi w odniesieniu do pieszych

Źródło: opracowanie własne.

2.5 Determinanty bezpieczeństwa

Determinanty bezpieczeństwa w ruchu drogowym można zdefiniować jako grupa złożonych czynników mających wpływ na ryzyko wystąpienia zdarzeń w ruchu drogowym. Odnoszą się one do prawdopodobieństwa oraz skutków kolizji lub wypadków. Determinanty mają charakter wielopłaszczyznowy obejmujący czynniki behawioralne, czyli zachowania uczestników ruchu drogowego jak również organizacyjne, techniczne czy środowiskowe. Badania naukowe wskazują, że najistotniejszym elementem determinującym bezpieczeństwo ruchu drogowego jest czynnik ludzki [29].

Determinanty bezpieczeństwa w ruchu drogowym można skategoryzować na te odnoszące się do zachowań pieszych, jak również na grupę w kontekście zachowań kierowców.

Determinanty behawioralne w aspekcie zachowania pieszych odnoszą się do sposobu w jaki uczestnicy ruchu drogowego interpretują oraz reagują na zdarzenia

drogowe. Percepcja ryzyka i podejmowanie decyzji są indywidualne, wynikające różnice wpływają na decyzje o wejściu bądź nie na jezdnię. Dodatkowo postrzeganie i świadomość zagrożeń związanych z wystąpieniem potencjalnej kolizji pomiędzy pieszym, a pojazdem są kluczowymi predyktorami zachowań prewencyjnych u pieszych. Kolejny czynnik dotyczy komunikacji niewerbalnej pieszy-kierowca [109]. Zachowania komunikacyjne takie jak kontakt wzrokowy czy sygnały dłoni, mogą zmieniać reakcje kierowców i tym samym determinują bezpieczeństwo przechodzenia przez przejście dla pieszych. Istotne znaczenie mają również czynniki kontekstualne oraz demograficzne, takie jak wiek i płeć, które wpływają znacząco na podatność na ryzyko wystąpienia wypadku oraz dynamikę zachowań pieszych[109]. Dodatkowo oddziałują warunki środowiskowe takie jak oświetlenie, stan nawierzchni, natężenie ruchu oraz inne elementy otoczenia. Podsumowując determinanty behawioralne pieszych nie mogą być określane mianem jednowymiarowych, ponieważ obejmują zarówno wewnętrzne procesy percepcyjne, jak i zewnętrzne warunki otoczenia [59].

Determinanty behawioralne kierowców w aspekcie postrzegania ryzyka odnoszą się do osobowościowych cech, takich jak akceptacja ryzyka, poszukiwanie doznań oraz niski poziom reaktywności, predysponuje to potencjalnego kierowcę do podejmowania zachowań ryzykownych [70]. Następną grupą są zachowania dyskrecyjne oraz błędy operacyjne. Odnoszą się one do skłonności do przekraczania dozwolonej prędkości, gwałtownych manewrów, rozpraszania uwagi, prowadzenia pojazdu pod wpływem środków odurzających lub zmęczenia stanowią główne determinanty ryzyka kolizji w ruchu drogowym. Determinanty odnoszące się do wieku oraz doświadczenia kierowcy mogą mieć istotny wpływ na zachowania w ruchu drogowym, zarówno najmłodsi jak i najstarsi kierowcy wykazują skłonność do zachowań ryzykownych.

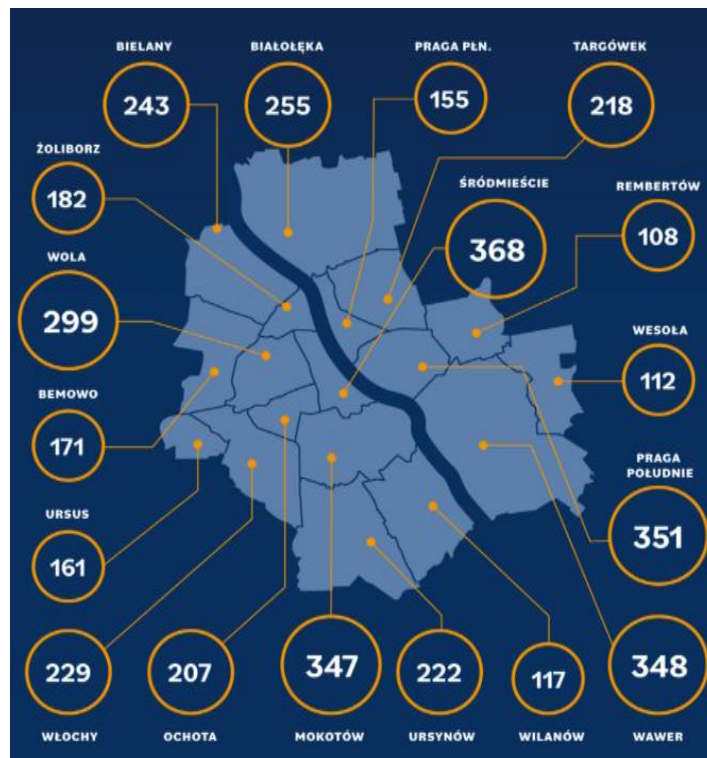
Badania determinant bezpieczeństwa można wykonać korzystając z analizy statystycznej oraz modeli regresyjnych stosowanych do oceny tego, w jaki sposób poszczególne cechy uczestników ruchu drogowego oraz warunki otoczenia wpływają na możliwość wystąpienia wypadku lub też ciężkość ich konsekwencji. Drugą grupą są badania obserwacyjne i symulacyjne, skupiają się na obserwacji rzeczywistego ruchu, filmowania scenariuszy oraz symulacje komputerowe, tj. symulatory cało-pojazdowe. Badania tego typu pozwalają analizować zachowania kierowców w kontrolowanych warunkach eksperymentalnych. Ostatnią grupą są badania kwestionariuszowe oraz modele psychologiczne, które umożliwiają identyfikację czynników poznawczych wpływających na decyzję pieszych, bądź kierowców pojazdów mechanicznych.

Badania wskazują, że determinanty bezpieczeństwa należy analizować w ujęciu systemowym, ponieważ zachowania zarówno kierowców jak i pieszych w pewnym stopniu od siebie wzajemnie zależą, decyzje jednej ze stron stanowią kontekst behawioralny dla drugiej. Interakcje tego typu należy modelować jako dynamiczne procesy, a nie izolowane czynniki. Infrastruktura i warunki środowiskowe również odgrywają znaczącą rolę, modyfikują wpływ determinantów behawioralnych, przykładowo przy słabym oświetleniu wystąpienie błędów ludzkich jest bardziej prawdopodobne.

Opisując integratywne podejście do bezpieczeństwa w ruchu drogowym powinno się wskazać również determinanty systemowe obejmujące legislację, technologie, edukację oraz działania profilaktyczne, mające bezpośredni wpływ na zachowania uczestników ruchu drogowego poprzez zmianę postaw i norm społecznych.

Podsumowując, czynnik ludzki, obejmujący zachowania pieszych i kierowców, stanowi jeden z najistotniejszych determinantów ryzyka w ruchu drogowym, często odgrywając większą rolę niż czynniki techniczne czy infrastrukturalne. Konieczne jest wielowymiarowe modelowanie zachowań uczestników ruchu, uwzględniające czynniki psychologiczne, społeczno-demograficzne i środowiskowe, umożliwia bardziej precyzyjne przewidywanie ryzyka w określonych warunkach ruchu. Badania interdyscyplinarne łączące psychologię, inżynierię ruchu, socjologię i technologię są konieczne do opracowania skutecznych strategii poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego [63]. Odrębna analiza w zakresie identyfikacji determinant bezpieczeństwa przejść dla pieszych powinna obejmować charakterystyki techniczne, takie jak infrastruktura i rodzaj zabudowy, lokalizacja w aspekcie widzialności oraz urządzenia i systemy oznakowania lub organizacji ruchu. Ta grupa została nazwana jako techniczne determinanty bezpieczeństwa.

Prowadzone badania statystyczne dające możliwość uogólnienia obserwacji i analizy ilościowej mogą wykazać zależności, korelacje lub trendy sugerowane w badaniach obserwacyjnych. W procesie badań poddano analizie opracowanie wykonane na zlecenie Miasta Stołecznego Warszawa, którego celem była analiza jakości oświetlenia ulicznego i kontrola organizacji ruchu drogowego przejść dla pieszych będących w zarządzaniu Miasta Stołecznego Warszawa. Przegląd zastosowanych rozwiązań na weryfikowanych przejściach dla pieszych, których liczba to 4093.



Rysunek 6. Audyt bezpieczeństwa przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej w miejscowości Warszawa – liczba audytowanych przejść dla pieszych

Źródło: Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie

Założeniem badania było szerokie wnioskowanie audytorów w kwestii błędów związanych z bezpieczeństwem przedmiotowych przejść dla pieszych, a w rezultacie do wprowadzenia zmian mających na celu poprawę bezpieczeństwa. Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie przeprowadził audyt w latach 2016-2020. Przeprowadzone badania wykonane metodą niespotykaną wcześniej, ponieważ pomimo iż wskazany audytor posiadający odpowiednie certyfikaty mógłby prowadzić audyt w pojedynkę, w tym przypadku zdecydowano się na grupy 3-4 osobowe, złożone z osób o różnych kompetencjach. Cały zespół liczył 50 osób, w skład którego wchodził audytorzy, oświetleniowcy, zaplecze Biura Zarządu Dróg Miejskich, Informatycy oraz osoby mierzące natężenie ruchu pieszego. Dodatkowo w procesie audytowania brali udział doktorzy oraz profesorowie uczelni wyższych, którzy obecni byli podczas badań in situ. Audytor po oględzinach przyznawał oceny, określał zagrożenia, a następnie wskazywał zalecenia. Następnym etapem było sprawdzenie krzyżowe, w przypadku rozbieżności wprowadzany był trzeci audytor – rozjemca. Oceny zagrożeń przyznawano w skali od 0-5, gdzie 0 oznaczało bardzo wysokie zagrożenie dla niechronionych uczestników ruchu drogowego. Tabela numer 4 przedstawia skalę ocen wraz z ich istotnością w odniesieniu do bezpieczeństwa.

Tabela 4. Skala ocen podczas prowadzonych badań audytowych prowadzonych przez Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie

Ocena	Opis
0	Bardzo duże ryzyko niechronionych użytkowników ruchu - poważne ryzyko śmierci w przypadku wystąpienia zdarzenia drogowego
1	Duże ryzyko niechronionych użytkowników ruchu - ryzyko śmierci w przypadku wystąpienia zdarzenia drogowego
2	Przeciętne ryzyko niechronionych użytkowników ruchu - ryzyko śmierci lub urazów w przypadku wystąpienia zdarzenia drogowego
3	Przeciętne ryzyko niechronionych użytkowników ruchu - ryzyko urazów w przypadku wystąpienia zdarzenia drogowego
4	Niskie ryzyko powstania zdarzeń drogowych
5	Bardzo niskie ryzyko powstawania zdarzeń drogowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu Zarządu Dróg Miejskich w Warszawie.

Audytorzy wykonywali badania pod kątem 31 kryteriów dotyczących geometrii jezdni, organizacji ruchu drogowego jak również samego oświetlenia. Przebadano wszystkie przejścia dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej w mieście stołecznym Warszawa. W odniesieniu do samej procedury podstawą była wizja lokalna przeprowadzona w terenie, badania prowadzone były od poniedziałku do soboty, wykluczając czas opadów atmosferycznych. W ramach tych prac bardzo istotnym było zebranie danych na temat organizacji i geometrii ruchu drogowego. Wyżej wymienione informacje zebrane zostały na formularzu papierowym. Każdy z przedmiotowych formularzy zawiera osiem arkuszy, a informacje pogrupowane w taki sposób by karta była czytelna i zrozumiała dla osób audytujących. Podzielony on został na kilka części tematycznych. Informacje ogólne, czyli imię i nazwisko osoby przeprowadzającej audyt, dane audytora wspomagającego, data oraz godzina wizji lokalnej jak również panujące w tym czasie warunki atmosferyczne.

Metryka inwentaryzacji zawierała zgodnie z danymi otrzymanymi od Zamawiającego, numer przejścia dla pieszych, dzielnicę, ulicę na jakiej się znajduje, kategorię ulicy oraz liczbę pasów. Następnie Określano charakterystykę przejścia dla pieszych wraz z usytuowaniem, określeniem czy jezdni ma pierwszeństwo przejazdu. Wskazanie obecności ścieżki rowerowej i jej lokalizacji względem przejścia dla pieszych, obecności linii tramwajowych, nawierzchni za i przed przejściem, określenie stanu

nawierzchni, wskazanie elementów oświetlenia, wymiary przejścia, geometria ulicy w obszarze przejścia oraz zmierzenie odległości przejścia do jezdni prostopadłej, określenie prędkości dopuszczalnej oraz opis przekroju poprzecznego na wysokości przejścia dla pieszych. Kwestia związana z organizacją ruchu pojazdów, czyli wskazanie kierunku ruchu pojazdów to jest samochodów, tramwajów oraz rowerów, wskazanie obecności przystanków autobusowych w obrębie przejścia, jeżeli występują to wskazanie ich odległości względem przejścia. Oznakowanie pionowe, czyli inwentaryzacja podstawowego oznakowania pionowego w obszarze przejścia. Oznakowanie poziome, rodzaj oznakowanie, tło oznakowania, stan oznakowania, jeżeli występuje zawężenie przejścia to określenie lokalizacji i typu zawężenia i jego szerokości. Kolejne części tematyczne to odwodnienie - liczba wpustów deszczowych oraz oceny subiektywna odwodnienia, występowanie udogodnień dla niepełnosprawnych takich jak rampy, słupki i wygrozdzenia, parkowanie określenie obecności parkowania na jezdni. Ostatnie trzy dotyczyły istotnego z punktu widzenia elementu jakim jest widoczność, wskazanie widoczności zmierzonej przez audytora, widoczności wymaganej oraz jeżeli występują wskazanie ograniczeń widoczności, opinia i uwagi audytora jak również dokumentacja fotograficzna.

FORMULARZ AUDYTU BRD						Arkusz	2
NR PRZEJŚCIA	1255						
CHARAKTERYSTYKA							
USYTUOWANIE PRZEJŚCIA	Pomiędzy skrzyżowaniami	Na wlocie/wylocie skrzyżowania					
	Na wlocie/wylocie ronda	Na zjeździe					
	Inne						
ODLEGŁOŚĆ OD KARWĘDZI JEZDNI PROSTOPADŁEJ		ND	m				
PRĘDKOŚĆ NA JEZDNI PROSTOPADŁEJ		ND	km/h				
JEZDNI Z PIERWSZEŃSTWEM		Tak	Nie				
DROGA ROWEROWA (DR)	Bez przejazdu rowerowego	Z DR przyległą x<1 m					
	Z DR przyległą x>1 m	Z DR przyległą x=0 m					
	Inne						
USYTUOWANIE DR		ND	Pomiędzy skrzyżowaniem a przejściem			Za przejściem	
LINIE TRAMWAJOWE	Brak						
	Torowisko wydzielone	1	2	3	Tory		
	Torowisko w jezdni	1	2	3	Tory		
NAWIERZCHNIA TOROWISKA	ND	Gumowa	Bitumiczna	Kostka betonowa			
	Betonowa	Zieleń	Inne				
NAWIERZCHNIA JEZDNI ZA I PRZED PRZEJŚCIEM	Naw. bitumiczna	czerwona	szara				
	Kostka betonowa	czerwona	grafitowa		szara		
	Kamienna	Beton lany					
	Inna						

Rysunek 7. Audyt bezpieczeństwa przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej w miejscowości Warszawa – wycinek karty oceny Biura Ruchu Drogowego
Źródło: Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie.

W kwestii interpretacji wyników oraz potencjalnego wykorzystania opinii audytu Audytor może wskazać rekomendację, jednak nie ma on uprawnień do projektowania, nie jest w stanie przeanalizować wszystkich czynników związanych z przedmiotową zabudową i nie wskazuje jedyne słusznego rozwiązania dla zaistniałej sytuacji. Audytorzy wskazują kierunek działań, audytor jest ciałem doradczym w odniesieniu do Zarządcy. Praca audytora skupiała się w zakresie rozważań bezpieczeństwa ruchu drogowego. Audytor nie rozważa porównując czynniki BRD i przepustowości czy zmienić sygnał ogólny pasa skrętu w lewo na sygnał kierunkowy, co podniesie bezpieczeństwo, ale z drugiej strony obniży przepustowość. Audytor nie rozważa takich kwestii, wskazuje jedynie co może być rozwiązaniem korzystniejszym. Tak został stworzony proces audytu, dzięki temu mogą oni skupić się na wątkach związanych z bezpieczeństwem ruchu drogowego.

Podsumowując, literatura jednoznacznie wskazuje, że zachowania uczestników ruchu drogowego ulegają głębokiej transformacji pod wpływem technologii. Dystrakcja cyfrowa stanowi obecnie jedno z największych zagrożeń dla pieszych, podczas gdy decyzje kierowców pozostają silnie uzależnione od parametrów infrastruktury. Jednocześnie rozwój pojazdów autonomicznych ujawnia nowe wyzwania komunikacyjne, które wymagają wdrożenia innowacyjnych rozwiązań technologicznych w celu zapewnienia bezpieczeństwa w złożonym środowisku ruchu drogowego.

2.6 Luka badawczo-naukowa

Zasadnicza luka badawczo-naukowa dotyczy braku kompleksowych, wieloaspektowych badań nad zmianą typów zachowań uczestników ruchu w warunkach wprowadzenia nowych form komunikacji na przejściu dla pieszych. W literaturze analizuje się pojedyncze parametry: czas reakcji, prędkość, dystans zatrzymania [60], lecz rzadko bada się transformację zachowań w sensie jakościowym: przejście od zachowań reaktywnych i niepewnych do zachowań przewidywalnych, komunikacyjnych i opartych na potwierdzonym zrozumieniu intencji drugiej strony.

W szczególności brakuje badań łączących: eksperymenty symulatorowe odwzorowujące warunki zbliżania się do przejścia, rzeczywiste pomiary eyetrackingowe pozwalające określić rozkład uwagi wzrokowej kierowców i pieszych, badania ankietowe i wywiady pogłębione identyfikujące percepcję ryzyka oraz deklarowane strategie

decyzyjne, a także analizy statystyczne umożliwiające modelowanie zależności między parametrami infrastrukturalnymi a zachowaniem użytkowników oraz badania obserwacyjne typów i wzorców zachowań. Dotychczasowe opracowania rzadko integrują te podejścia w jeden spójny model badawczy. Luka ta obejmuje również brak jednolitej, wielokryterialnej metody oceny bezpieczeństwa przejść dla pieszych, która określa parametry infrastrukturalne (rysunek 8).



Rysunek 8. Luka badawczo-naukowa

Źródło: opracowanie własne.

Zaplanowane i zrealizowane badania obejmujące eksperymenty symulatorowe, pomiary eyetrackingowe w warunkach rzeczywistych, badania ankietowe i wywiady, a także analizy statystyczne wypełniają tę lukę przez kompleksowe ujęcie procesu interakcji pieszy-kierowca. Pozwalają one nie tylko zidentyfikować parametry krytyczne, ale również wykazać, w jaki sposób wprowadzenie nowego systemu komunikacji wpływa na redystrybucję uwagi wzrokowej, zmianę strategii decyzyjnych oraz poziom odczuwanego bezpieczeństwa.

Rozdział 3 Aktualny stan techniki w zakresie bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu

3.1 Organizacja ruchu oraz oznakowanie w otoczeniu przejść dla pieszych

Zapewnienie odpowiedniej organizacji ruchu oraz oznakowania przejść dla pieszych, zgodnego z wymaganiami prawnymi jest fundamentalnym elementem wpływającym na bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego. Powierzchnia przejść dla pieszych stanowi newralgiczny punkt ze względu na krzyżowanie się ruchu kołowego z pieszym. Stąd też kluczowym jest zapewnienie optymalnych warunków by zminimalizować ryzyko wystąpienia wypadku. W najnowszych rozwiązaniach, kładzie się ogromny nacisk na stosowanie adaptacyjnych systemów sterowania ruchem. Systemy te integrują dane z detektorów, kamer oraz sygnalizacji świetlnej w czasie rzeczywistym [82]. Rodzaj sygnalizacji świetlnej określany mianem adaptacyjnej działa na zasadzie wydłużania fazy światła zielonego, w momencie gdy na przejściu znajduje się zwiększa liczba niechronionych uczestników ruchu drogowego. Innym rozwiązaniem jest tak zwane uspokajanie ruchu w obrębie przejść dla pieszych poprzez zastosowanie progów zwalniających, wyniesionych przejść dla pieszych, zwężenie jezdni [82].

3.2 Rodzaje przejść dla pieszych

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej wyróżnia się następujące przejścia dla pieszych:

- przejście dla pieszych w poziomie jezdni z sygnalizacją świetlną,
- przejście dla pieszych w poziomie bez sygnalizacji świetlnej
- przejście dla pieszych bezkolizyjne podziemne
- przejście dla pieszych bezkolizyjne nadziemne [80].

Poszczególne rodzaje przejść dla pieszych zostały zaprezentowane na rysunku 9.



Rysunek 9. Rodzaje przejść dla pieszych

Źródło: wygenerowane przez Chat GPT, 25.05.2026, prompt: „wygeneruj przejścia dla pieszych bezkolizyjne oraz przejścia z sygnalizacją i bez sygnalizacji świetlnej.”

Przejścia dla pieszych z sygnalizacją świetlną to rozwiązanie najczęściej stosowane w miastach. Poza skrzyżowaniami najczęściej stosuje się sygnalizację wzbudzaną, na skrzyżowaniach akomodacyjną, oraz stałoczasową. Przejścia z sygnalizacją świetlną umożliwiają pieszym warunki do przejścia, kosztem płynności ruchów pojazdów, które zmuszone są do zatrzymania, zazwyczaj na dłużej niż jest to konieczne do bezpiecznego przejścia pieszego przez jezdnię [80].

Przejścia dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej są uznawane za najbardziej niebezpieczne, z uwagi na fakt, że to pieszy podejmuje decyzje o momencie wkroczenia na jezdnię. Oznacza to, że niechroniony uczestnik ruchu drogowego musi sam dokonać poprawnej oceny odległości od zbliżającego się pojazdu oraz jego prędkości [80].

Kolejny rodzaj przejść to tunele podziemne oraz przejścia nadziemne, których największą zaletą jest bezkolizyjność. Jednak w ich przypadku wymagane jest zastosowanie i dbałość o windy dla osób niepełnosprawnych, ponieważ w sytuacji awarii, taka osoba nie ma możliwości przekroczenia jezdnii.

Dodatkowo można wyróżnić grupę przejść dla pieszych tak zwanych aktywnych (smart) [42], które opierają swoje działanie o wykorzystanie zaawansowanych technologicznie rozwiązań, kontrolujących każdorazowe wejście niechronionego uczestnika ruchu drogowego na przedmiotowe przejście dla pieszych [75].

3.3 Systemy bezpieczeństwa i oświetlenia przejść dla pieszych

Oświetlenie jest integralnym elementem infrastruktury miejskiej, zaliczanym do tzw. małej architektury. Przy projektowaniu należy uwzględnić wiele czynników technicznych, funkcjonalnych i estetycznych. Oświetlenie wpływa na bezpieczeństwo użytkowników przestrzeni [99]. Szczególne znaczenie ma odpowiednie oświetlenie przejść dla pieszych, które stanowi jeden z kluczowych elementów infrastruktury wpływających na bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego.

Nowoczesne systemy zwiększające bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego wykorzystują szereg rozwiązań technologicznych celem adaptacji ich do systemów ostrzegania, informowania uczestników ruchu drogowego. Rozwiązania te opierają się o wykorzystanie technologii radarowej, LiDAR, kamer wideo oraz algorytmów uczenia maszynowego, dzięki czemu umożliwiają bezpieczną i skuteczną

detekcję obecności pieszych oraz pojazdów, przewidywania trajektorii ruchu pieszych i pojazdów, jak również automatycznego aktywowania świateł ostrzegawczych i sygnałów świetlnych [5]. Nowoczesne systemy są w stanie integrować telemetryczne dane pochodzące z innych pojazdów, co daje możliwość by w czasie rzeczywistym móc przewidzieć potencjalne zdarzenie niebezpieczne w ruchu drogowym [5].

Popularnym rozwiązaniem staje się wykorzystanie algorytmów uczenia maszynowego w aspekcie tworzenia innowacyjnych systemów wspierających bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego. Sieci te wykorzystywane są do przewidywania zachowań pieszych oraz detekcji pojazdów [6].

Słabe oświetlenie w strefie przejść dla pieszych prowadzi do pogorszonej widoczności co znacząco wpływa na ryzyko wystąpienia wypadków drogowych. W takiej sytuacji do zdarzeń drogowych może dochodzić w szczególności w porze ograniczonej widoczności oraz złych warunkach atmosferycznych. Prowadzone analizy wskazują, że warunki oświetlenia istotnie wpływają na percepcję ryzyka i czas reakcji kierowców podczas zbliżania się do przejścia dla pieszych [61].

Ramy prawne w odniesieniu do oświetlenia przejść dla pieszych opierają się o Ustawę o drogach publicznych, Zgodnie z ustawą z dnia 21 marca 1985 roku o drogach publicznych, wprowadzony został 20 maja 2021 r. art. 20aa, który mówi, że zarządca drogi może planować i wykonywać oświetlenie przejść dla pieszych oraz przejazdów rowerów na drogach publicznych na terenie zabudowy, a finansowanie tych prac należy do zarządcy drogi [102].

Wytyczne organizacji bezpiecznego ruchu pieszych zostały zatwierdzone przez Ministra Infrastruktury. „Wytyczne prawidłowego oświetlenia przejść dla pieszych”, rekomendowany szerokiemu gronu, tj. zarządom, inwestorom oraz wykonawcom infrastruktury. Dokument ten został opracowany w ścisłej współpracy z uczelniami technicznymi oraz Instytutem Badawczym Dróg i Mostów [61].

Głównym celem wytycznych jest identyfikacja problemów związanych z oświetleniem przejść dla pieszych, analiza dostępnych rozwiązań krajowych i zagranicznych, wskazanie sposobu zapewnienia właściwych warunków widoczności pieszych i kierowców, przedstawienie zasad projektowania oświetlenia z uwzględnieniem poziomu zagrożenia w danej lokalizacji [61].

Normy w kontekście oświetlenia przepisowo technicznego są dość rozległe. Najistotniejszą jest norma PN-EN 13201, będąca europejskim standardem opisującym oświetlenie dróg – w tym przejść dla pieszych. Norma ta określa takie parametry jak:

- luminacja jezdni i jej równomierność,
- kontrola oślnienia,
- procedury obliczeniowe i pomiarowe,
- klasy oświetlenia zależne od typu drogi i natężenia ruchu,
- wybór klas oświetleniowych,
- wymagania eksploatacyjne,
- obliczenia parametrów,
- metody pomiarów.

Do kluczowych wymagań w aspekcie oświetlenia przejść dla pieszych należy zapewnienie odpowiedniego oświetlenia, aby pieszy na przejściu oraz w strefie oczekiwania był dobrze wyróżniony, znaczy to, aby jego sylwetka była łatwo rozpoznawalna dla kierowców nadjeżdżających pojazdów [110].

Parametry natężenia i równomierność oświetlenia powinny zostać uwzględnione z podziałem na poziome natężenie oświetlenia powierzchni przejścia dla pieszych, pionowe natężenie oświetlenia w osi, odpowiednia równomierność rozkładu światła, ograniczenie oślnienia kierowców i pieszych poprzez dobór odpowiedniej optyki i montażu opraw [110].

Prace naukowe dotyczące analiz statystycznych warunków oświetleniowych na przejściach dla pieszych, w kontekście wypadkowości w ruchu drogowym potwierdzają realny wpływ na częstość i charakter tych zdarzeń [33].

Oświetlenie przejść dla pieszych jest integralnym elementem bezpieczeństwa ruchu drogowego, szczególnie w obszarach o dużym natężeniu ruchu pieszych lub w warunkach ograniczonej widoczności. Rządowe wytyczne oraz europejskie normy stanowią bazę techniczną i projektową, której celem jest zwiększenie widoczności i ograniczenie ryzyka wypadków między innymi na przejściach dla pieszych. Projektowanie oświetlenia przejść wymaga uwzględnienia zarówno parametrów technicznych takich jak natężenie światła, luminacja, kontrast. Jednak czynniki takie jak środowisko oraz zachowania ruchu są równie kluczowe.

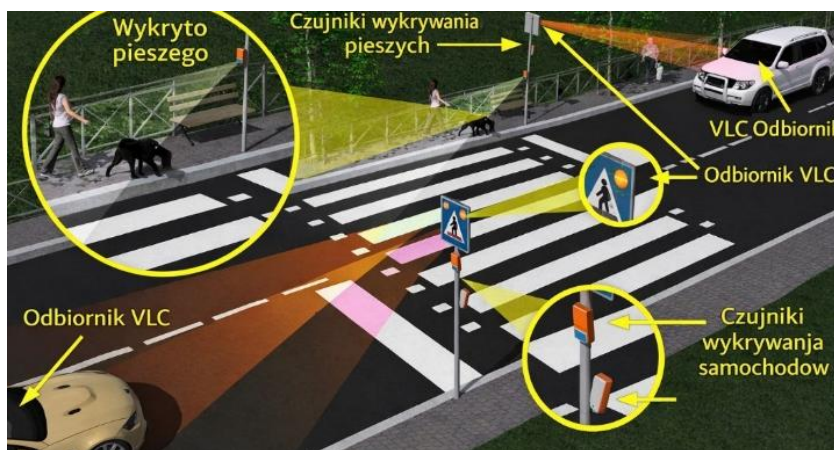
3.4 Innowacyjne systemy przejść dla pieszych

Zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa w szczególności niewrażliwej grupy użytkowników dróg jakimi są piesi jest jednym z najważniejszych wyzwań dla współczesnej inżynierii transportu oraz urbanistyki [67]. Często zdarza się,

że tradycyjne rozwiązania z jakichś powodów stają się niewystarczające i pomimo przedsięwzięcia wszystkich środków zgodnych z przepisami i wytycznymi, wciąż może dochodzić do wypadków drogowych. Dlatego rozwój i wdrażanie innowacyjnych rozwiązań technicznych w tym aspekcie jest kluczowe dla zapewnienia odpowiedniej ochrony użytkowników przejść dla pieszych. Dostępne systemy działają na zasadzie szerokiej funkcjonalności takiej jak detekcji obecności pieszych, komunikacja świetlna skierowana do kierowców, wykorzystanie materiałów zwiększających widoczność przejść dla pieszych czy zintegrowane rozwiązania z zakresu inteligentnych systemów transportowych. Ich założeniem jest zwiększenie komunikacji werbalnej oraz niewerbalnej pomiędzy kierowcą pojazdu mechanicznego, a niechronionym uczestnikiem ruchu drogowego.

Opracowywane obecnie systemy opierają się o zastosowanie szeregu technologii z wykorzystaniem czujników wykrywających obecność pieszych na lub w pobliżu przejścia oraz przekazujących tę informację do nadjeżdżających pojazdów mechanicznych.

Przykładowo w artykule „Pedestrian smartphone overuse and inattention blindness: an observational study in Taipei” przedstawiono kompletną infrastrukturę łączącą czujniki obecności z technologią Visible Light Communications (VLC). W proponowanej architekturze wykorzystano różne typy czujników, tj. ultradźwiękowe, LiDAR, jak również pasywne czujniki podczerwieni. Pozwala to na skuteczną identyfikację pieszego w odległości kilku metrów od przejścia dla pieszych, daje to dodatkowo czas na reakcję na zaistniałe potencjalne zagrożenie [15].



Rysunek 10. Funkcjonalność architektury opartej o czujniki mogące przewidywać czy piesi zamierzają skorzystać z przejścia dla pieszych

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Chen, PL., Pai, CW. „Pedestrian smartphone overuse and inattention blindness: an observational study in Taipei, Taiwan. BMC Public Health”, 2018 r.

Innym innowacyjnym obszarem badań jest zastosowanie materiałów fotoluminescencyjnych w konstrukcji oznakowania przejść. Artykuł opublikowany w 2024 roku w *Infrastructures*, prezentuje badania nad specjalnymi materiałami z dodatkami fotoluminescencyjnymi, które są w stanie zwiększyć widoczność pasa przejścia w warunkach słabego oświetlenia. Badania wykazały, że takie materiały mogą osiągnąć luminację nawet ponad 68mcd/m^2 po 20 minutach ładowania światłem dziennym. Jest to wynik przekraczający efektywność standardowych reflektorów samochodowych w określonych warunkach. W praktyce oznacza to, że przejście staje się widoczne już z odległości ponad stu metrów, co daje kierowcom większy bufor czasowy na reakcję [57].

Wyniki badań wskazują również, że materiały fotoluminescencyjne mają pozytywny wpływ na redukcję prędkości średniej pojazdów zbliżających się do przejścia, co jest kluczowym czynnikiem wpływającym na zmniejszenie liczby i ciężkości potrażeń. W testach terenowych średnia prędkość pojazdów spadła o ponad 36% w stosunku do tradycyjnych rozwiązań. Takie rozwiązania są szczególnie atrakcyjne w obszarach, gdzie standardowe oświetlenie jest wymagające ekonomicznie [57].

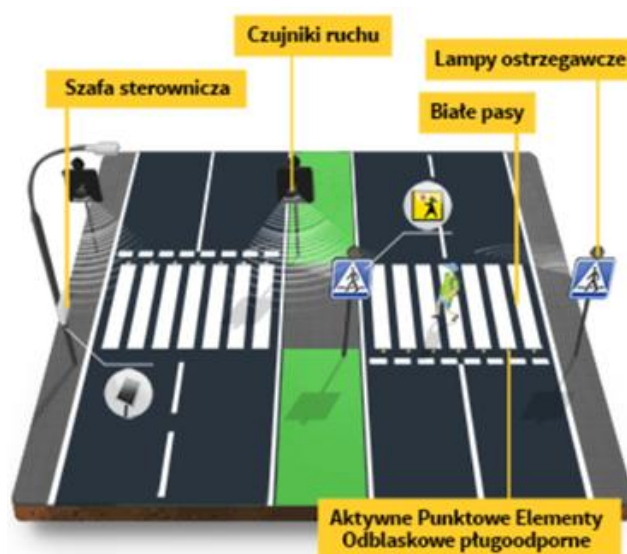
Wykraczając poza technologie czujników i materiały, badania nad inteligentnymi systemami transportowymi również dostarczają obiecujących wyników [104]. Analiza rozwiązań ITS wskazuje, że integracja czujników komunikacji między pojazdami a infrastrukturą (Vehicle-to-Infrastructure) [108], oraz analiz predykcyjnych może znacząco poprawić bezpieczeństwo nawet tam, gdzie brak jest sygnalizacji świetlnej. W badaniach opublikowanych w roku 2025 podkreślono, że inteligentne przejścia dla pieszych, które łączą dane sensoryczne z systemami zarządzania ruchem, mogą prowadzić do mierzalnego spadku liczby wypadków i poważnych obrażeń pieszych, przez ciągłe monitorowanie ruchu i dynamiczne dostosowywanie parametrów sygnalizacji lub ostrzeżeń [75].



Rysunek 11. Kierunki badań dotyczące integrowania systemów opartych o sztuczną inteligencję i pojazdy autonomiczne

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Pomoni, M. Smart Crosswalks for Advancing Road Safety in Urban Roads: Conceptualization and Evidence-Based Insights from Greek Incident Records, *Future Transp*, 2025, 5, 180.

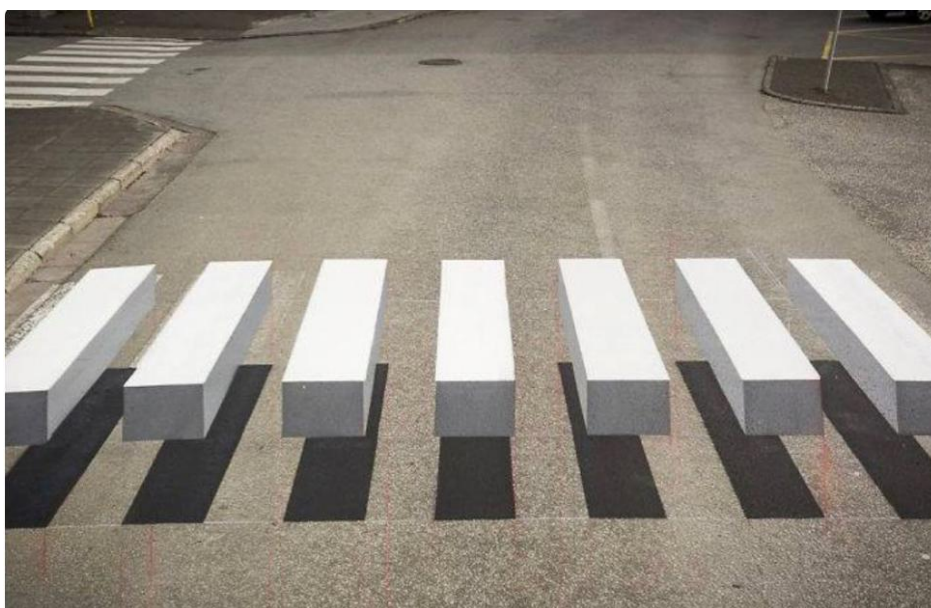
Przykładem komercyjnego rozwiązania aktywnego systemu ostrzegania kierowców i pieszych jest rozwiązanie APP Zebra Standard wykorzystujące kombinację czujników, świateł ostrzegawczych i elementów LED w celu zwiększenia świadomości kierowców o obecności pieszych. System wyposażony jest w czujniki ruchu oraz pulsujące elementy LED w nawierzchni jezdni i znakach drogowych, które aktywują się po wykryciu pieszego, skutecznie zwiększając widoczność przechodzącej osoby oraz sygnalizując jej obecność kierowcy [34].



Rysunek 12. Kierunki badań dotyczące integrowania systemów opartych o sztuczną inteligencję i pojazdy autonomiczne

Źródło: <https://euroasfalt.pl/pl/products/zebra-standard-aktywne-przejscia-dla-pieszych/>

Kolejnym przykładem rozwiązania komercyjnego jest Smart Pedestrian Crosswalk SCP, oferowany przez firmę Berman Technologies, który łączy detekcję obecności pieszych z adaptacyjnymi światłami LED oraz modułami do pomiaru prędkości pojazdów. System ten ma zdolność identyfikacji kierunku i intensywności ruchu pieszego, a następnie aktywuje ostrzegawcze sygnały wizualne dla nadjeżdżających kierowców. W wersjach zaawansowanych możliwe jest także podłączenie modułów komunikacji Vehicle-to-Everything (V2X), co umożliwia przesyłanie sygnałów o obecności pieszych bezpośrednio do pojazdów wyposażonych w odpowiednie odbiorniki [35].



Rysunek 13. Przejście dla pieszych 3D

Źródło: [Twitter.com/VctrVik](https://twitter.com/VctrVik).

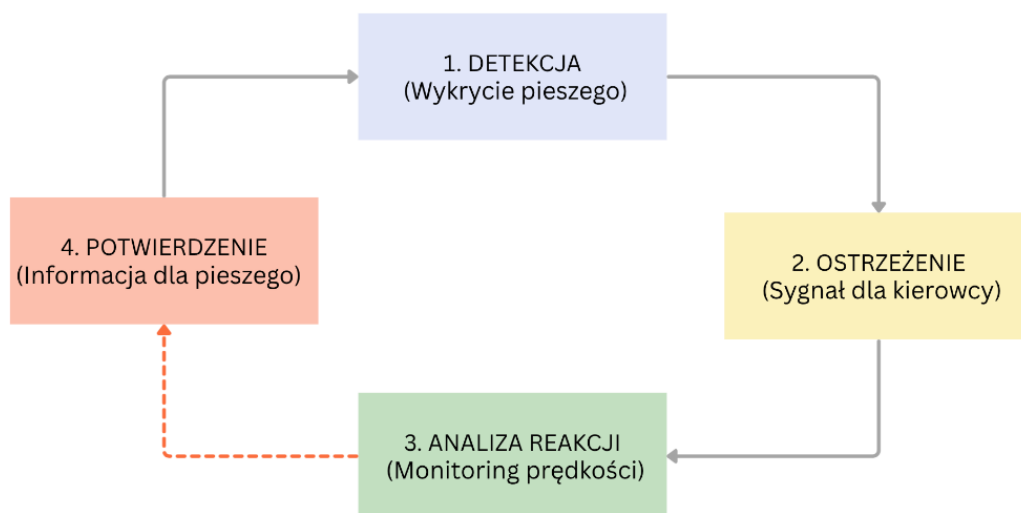
Przejście dla pieszych w technologii 3D (rysunek 13) stanowi innowacyjne rozwiązanie z zakresu uspokajania ruchu drogowego. Efekt trójwymiarowości uzyskuje się poprzez odpowiednie rozmieszczenie cieni i perspektywiczne malowanie pasów, dzięki czemu z punktu widzenia kierowcy przejście sprawia wrażenie unoszącego się nad jezdnią. Powstające złudzenie optyczne przyciąga uwagę uczestników ruchu i zwiększa widoczność przejścia, szczególnie w miejscach o dużym natężeniu ruchu pieszego. W przeciwieństwie do tradycyjnych środków uspokajania ruchu, takich jak progi zwalniające, rozwiązanie to nie powoduje dyskomfortu dla kierowców oraz nie generuje dodatkowego hałasu [84].

Badając aspekt związany z innowacyjnymi przejściami dla pieszych, kluczowym jest również zapewnienie ich funkcjonalności przy rosnącym ruchu samochodów autonomicznych [106].

3.5 Luka w stanie techniki

Aktualny stan techniki w zakresie bezpieczeństwa przejść dla pieszych obejmuje rozwinięte systemy detekcji obecności pieszego, aktywne oznakowanie, doświetlenie przejść, elementy LED w nawierzchni oraz integrację z systemami wspomagania kierowcy w pojazdach. Technologie te skutecznie zwiększają widoczność i umożliwiają wcześniejsze ostrzeżenie kierowcy, jednak ich funkcjonowanie ma w zdecydowanej większości charakter jednokierunkowy. Infrastruktura wykrywa pieszego i przekazuje sygnał ostrzegawczy kierowcy, natomiast pieszy nie otrzymuje jednoznacznej informacji o obecności kierowcy ani potwierdzenia, że został zauważony.

Luka w stanie techniki nie polega zatem na braku systemów detekcji, lecz na braku infrastrukturalnych systemów dwukierunkowej, adaptacyjnej komunikacji między pieszym a kierowcą. W istniejących rozwiązaniach nie występuje mechanizm sprzężenia zwrotnego, który zamykałby pętlę komunikacyjną: detekcja-ostrzeżenie-reakcja-potwierdzenie reakcji (rysunek 14). Brakuje także systemów różnicujących parametry sygnału w zależności od fazy zbliżania się pojazdu do przejścia oraz aktualnego poziomu ryzyka.



Rysunek 14. Schemat dwukierunkowej pętli komunikacyjnej
Źródło: opracowanie własne.

Rozdział 4 Cel, teza i zakres rozprawy doktorskiej

Bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego w istotnym stopniu zależy od zachowań zarówno pieszych, jak i kierowców oraz od warunków infrastrukturalnych przejścia. Zastosowanie kompleksowej metody oceny przejść dla pieszych, opartej na badaniach obserwacyjnych, statystycznych, terenowych, symulatorowych oraz eyetrackingowych, a także wdrożenie adaptacyjnego systemu wspomagającego bezpieczeństwo, może znacząco ograniczyć liczbę sytuacji niebezpiecznych i wypadków drogowych w tych miejscach.

W celu przeprowadzenia kompleksowej analizy badanego obszaru oraz opracowania skutecznych rozwiązań wdrożeniowych konieczne było zdefiniowanie następujących problemów badawczych:

- P1. Złożoność i wielowymiarowość procesu adaptacji zachowań uczestników ruchu drogowego wymaga pogłębionej analizy w warunkach ich bezpośredniej interakcji.
- P2. Wymagająca uszczegółowienia niespójność pomiędzy subiektywną oceną postaw uczestników ruchu, a ich mierzalnymi reakcjami w środowisku drogowym.
- P3. Wpływ zmiennych środowiskowych i behawioralnych na proces decyzyjny pieszego wymaga hierarchizacji w kontekście oceny ryzyka przed wejściem na jezdnię.
- P4. Zróżnicowanie reakcji kierowców w strefach dojazdu do przejść uzasadnia potrzebę identyfikacji kluczowych bodźców wywołujących zachowania prewencyjne.
- P5. Wymagający parametryzacji wpływ strategii przeszukiwania wizualnego na efektywność identyfikacji pieszego i poprawność reakcji kierowcy.
- P6. Skala degradacji zdolności percepcyjnych i opóźnień motorycznych uczestników ruchu wynikająca z rosnącego udziału dystraktorów (m.in. urządzeń mobilnych).

Umożliwiło to sformułowanie pytań badawczych, które stanowiły podstawę dalszych rozważań i analiz:

1. Jakie mechanizmy determinują dynamikę i kierunek modyfikacji zachowań pieszych i kierowców podczas ich bezpośredniej interakcji w strefie przejścia dla pieszych?
2. Jaka jest skala i charakter rozbieżności pomiędzy deklarowanymi postawami wobec bezpieczeństwa w ruchu drogowym, a rzeczywistymi obserwowanymi zachowaniami pieszych i kierowców?

3. Które uwarunkowania (infrastrukturalne, sytuacyjne, indywidualne) w największym stopniu determinują ostateczną decyzję pieszego o wejściu na przejście dla pieszych?
4. Jakie czynniki najsilniej stymulują kierowcę do podjęcia decyzji o prewencyjnej redukcji prędkości i ustąpieniu pierwszeństwa pieszemu?
5. W jakim stopniu określone wzorce alokacji uwagi wzrokowej (np. widzenie tunelowe) korelują ze skutecznością wykrywania pieszego i poziomem bezpieczeństwa interakcji?
6. Jak silnie obciążenie poznawcze i wizualne rozproszenie uwagi modyfikują parametry reakcji (m.in. czas reakcji, ocenę ryzyka) u pieszych i kierowców w okolicy przejść dla pieszych?

W związku ze zidentyfikowanymi problemami oraz pytaniami badawczymi, określono cel naukowy oraz cel wdrożeniowy.

Celem naukowym jest analiza i ocena zachowań pieszych oraz kierowców w okolicy przejść dla pieszych w różnych warunkach ruchu drogowego, a następnie opracowanie metody oceny poziomu bezpieczeństwa przejść dla pieszych oraz koncepcji adaptacyjnego systemu zwiększającego bezpieczeństwo tych obszarów.

Cel wdrożeniowy to zdefiniowanie wytycznych wsparcia bezpieczeństwa ruchu na przejściach dla pieszych oraz opracowanie elementów adaptacyjnego systemu niwelującego wybrane zagrożenia wypadku.

Teza rozprawy doktorskiej brzmi następująco: „Pogłębiona analiza zachowań niechronionych uczestników ruchu i kierowców na przejściu dla pieszych oraz w jego bezpośrednim otoczeniu pozwala na opracowanie dodatkowych elementów systemu wspierającego bezpieczeństwo przejść dla pieszych”

Udowodnienie tezy nastąpi w następujących krokach wyznaczanych przez kolejne cele pośrednie:

1. Identyfikacja i klasyfikacja zachowań pieszych i kierowców na i w bezpośrednim otoczeniu przejść dla pieszych – badania obserwacyjne.
2. Ocena oddziaływania dystraktorów uwagi na zachowania o znamionach niebezpiecznych na i w bezpośrednim otoczeniu przejść dla pieszych (badania symulatorowe i obserwacyjne).

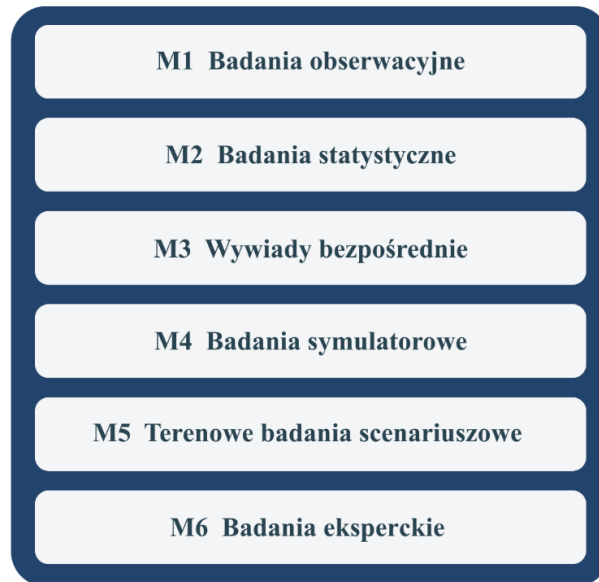
3. Klasyfikacja i ocena zachowań niechronionych uczestników ruchu i kierowców na i w bezpośrednim otoczeniu przejść dla pieszych w aspekcie ryzyka wypadku (metoda wielokryterialna).
4. Ocena wypadkowości na różnych przejściach dla pieszych w kontekście identyfikacji determinant bezpieczeństwa.
5. Ocena bezpieczeństwa przejść dla pieszych z dużym wskaźnikiem wypadkowości
6. Identyfikacja i klasyfikacja determinant bezpieczeństwa przejść dla pieszych w aspekcie ryzyka wypadku (metoda wielokryterialna).
7. Ocena zachowań i postrzegania oraz reakcji kierowców na i w bezpośrednim otoczeniu przejść dla pieszych różnego typu i w różnych warunkach (badania in situ).

Następnie określono następujące cele prac wdrożeniowych:

1. Ocena i klasyfikacja determinant bezpieczeństwa przejść dla pieszych.
2. Ocena i klasyfikacja zachowań niebezpiecznych (czynniki behawioralnych).
3. Opracowanie koncepcji elementów niwelujących wybrane zagrożenia wypadku w kontekście determinant bezpieczeństwa i zachowań niebezpiecznych.
4. Opracowanie prototypów elementów niwelujących wybrane zagrożenia wypadku w kontekście determinant bezpieczeństwa i zachowań niebezpiecznych.
5. Opracowanie koncepcji adaptacyjnego systemu wsparcia bezpieczeństwa ruchu na przejściach dla pieszych.
6. Opracowanie prototypu adaptacyjnego systemu wsparcia bezpieczeństwa ruchu na przejściach dla pieszych.

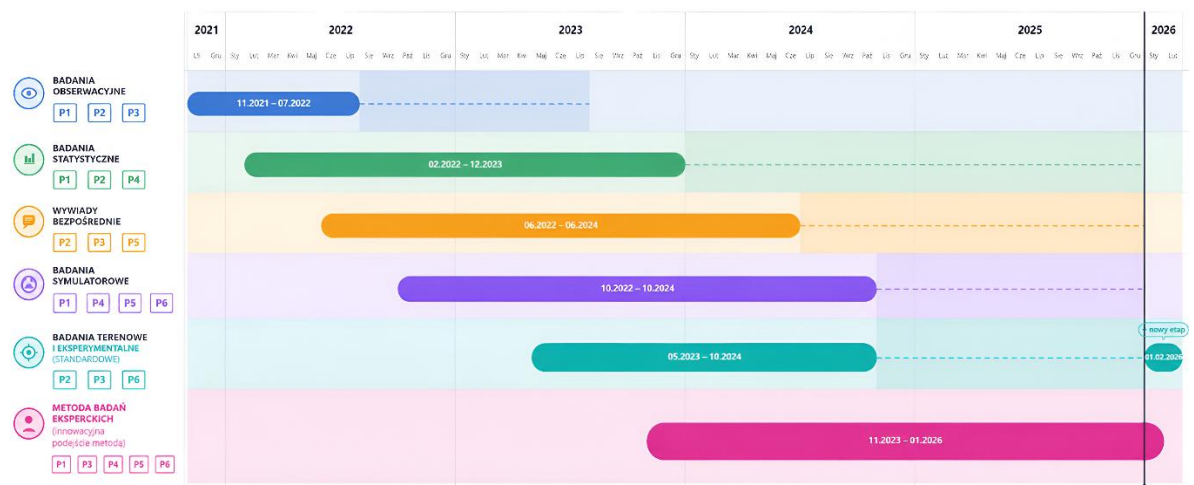
Rozdział 5 Metody badań

Realizacja celów pracy oraz weryfikacja problemów badawczych wymagały zastosowania odpowiednich metod badawczych. Dobór metod został dostosowany do charakteru badanego zagadnienia i zakresu prowadzonych badań. Wykorzystano metody badawcze przedstawione na rysunku 15.



Rysunek 15. Metody badawcze
Źródło: opracowanie własne.

Na potrzeby realizacji rozprawy doktorskiej określono plan i harmonogram, który wyznaczył ramy czasowe przeprowadzonych badań. Na rysunku 16 przedstawiono metody wykorzystane do rozwiązania poszczególnych problemów badawczych (P1-P6). Zakres prowadzonych prac obejmował lata od 2021 do 2026.



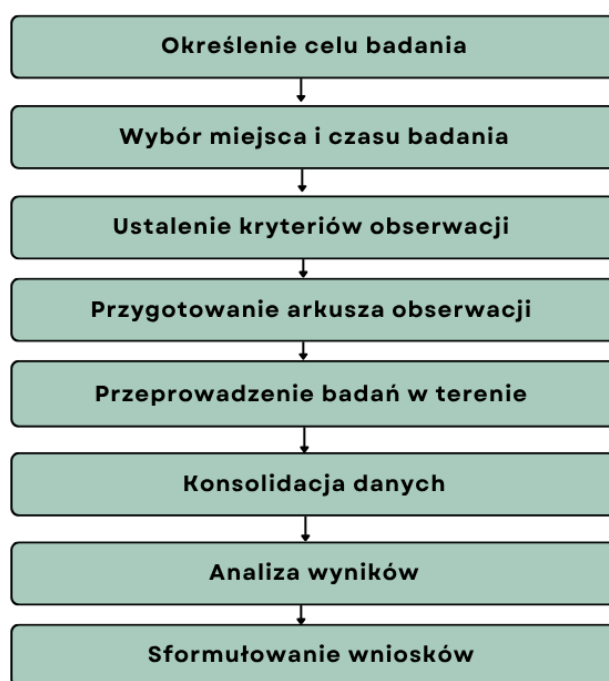
Rysunek 16. Harmonogram przeprowadzonych badań
Źródło: opracowanie własne.

5.1 Badania obserwacyjne

W celu zgłębienia problemu P1: „Złożoność i wielowymiarowość procesu adaptacji zachowań uczestników ruchu drogowego wymaga pogłębionej analizy w warunkach ich bezpośredniej interakcji” i odpowiedzi na pytanie: „Jakie mechanizmy determinują dynamikę i kierunek modyfikacji zachowań pieszych i kierowców podczas ich bezpośredniej interakcji w strefie przejścia dla pieszych?” zastosowano metodę badań obserwacyjnych.

Badania obserwacyjne stanowią jedną z kluczowych metod analizy zachowań uczestników ruchu drogowego. Przeprowadzone badania obserwacyjne stanowiły swoisty punkt wyjścia, tło empiryczne w kontekście stanu faktycznego. Gwarantowały one pozyskanie wiedzy niezbędnej w realizacji kolejnych badań.

Na rysunku 17 przedstawiono algorytm badań obserwacyjnych, obejmujący kolejne etapy realizacji badań. Procedura badawcza rozpoczęła się od określenia celu oraz zakresu badań, a następnie wyboru miejsca i czasu prowadzenia obserwacji. Następnie przygotowano arkusz obserwacji oraz ustalono kryteria oceny analizowanych zachowań.



Rysunek 17. Algorytm badań obserwacyjnych

Źródło: opracowanie własne.

Zaplanowano i przeprowadzono badania obserwacyjne kierowców oraz niechronionych uczestników ruchu drogowego na i w okolicy przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej, jak również przykładowych przejść z sygnalizacją świetlną,

z wyłączeniem sygnalizacji czasowej, czego zamiarem było głębsze poznanie wzorców poruszania się w obrębie tak specyficznych miejsc jak przejścia dla pieszych.

Celem tych badań było również uzyskanie wiedzy na temat aktualnych zachowań uczestników ruchu drogowego, w szczególności tych znajdujących się na i w okolicy przejść dla pieszych. Pozyskana wiedza przyczyniła się bezpośrednio do planu poszczególnych badań wykonanych po wstępnej analizie wzorców zachowań pieszych i kierowców. Dodatkowo posłużyła ona do testów poszczególnych urządzeń oraz właściwego ich doboru oraz parametryzacji, by w sposób optymalny spełniły stawiane im zadania będące wnioskami z pozyskanych badań terenowych, w warunkach rzeczywistego ruchu drogowego.

Problematyka badawcza związana z zachowaniami niechronionych uczestników ruchu drogowego, jak również kierowców wymagała zatem badań w warunkach in situ, odpowiadających w stu procentach warunkom normalnego ruchu drogowego. Takie podejście było kluczowe dla właściwego wnioskowania dotyczącego tworzenia rozwiązań zwiększających bezpieczeństwo na przejściach dla pieszych, możliwości analizy zachowań mogących mieć ogromny wpływ na bezpieczeństwo w ruchu drogowym, czego konsekwencjami bardzo często są wypadki drogowe.

Przyjęta metoda badawcza opierała się o wykorzystanie kart obserwacji dotyczących zarówno pieszych jak i kierowców. Przedmiotowe karty obserwacji zawierały szereg informacji związanych bezpośrednio z zachowaniami kierowców jak i pieszych zbliżających się do przejść dla pieszych. Karty obserwacji dotyczące pieszych zawierały informacje dotyczące czasu przejścia przez wskazane przejście dla pieszych, co było bardzo istotnym czynnikiem mającym wpływ na prace związane z wdrożeniem systemowym. Dało możliwość poznania przyzwyczajień i średnich czasów przejścia przez przejście dla pieszych dla różnych grup wiekowych, jak również z podziałem na płeć oraz z uwzględnieniem osób niepełnosprawnych, co ma kluczowe znaczenie dla optymalnego, funkcjonowania systemu.

W odniesieniu do zachowań niechronionych uczestników ruchu drogowego badano takie zachowania jak to czy osoby przechodzące przez przejścia dla pieszych używały słuchawek, telefonów komórkowych, kluczowe były również kwestie zachowań odnoszących się do wtargnięcia na przejście w sposób, który mógł powodować ogromne zagrożenie oraz dezorientację kierowcy zbliżającego się do przejścia dla pieszych. Badano czy piesi rozglądali się na badanych przejściach. Kolejnym aspektem były zachowania nietypowe, takie jak zatrzymywanie się podczas pokonywania przejścia czy

też zawracanie. Zgodnie z oficjalnymi statystykami przyjęto grupy wiekowe do 10 lat, 10-18, 18-60, oraz 60 +.

lp.	Czas przejścia [s]	Osoba w słuchawkach	Używanie telefonu	Osoba rozejrzała się wchodząc na przejście	Osoba nie rozejrzała się wchodząc na przejście	Osoba zatrzymała się przed i rozejrzała	Osoba zatrzymała się przed i nie rozejrzała	Wtargnięcie (sygnalizacja świetlna - czerwone światło)
1	5,8			x				
2	6,7			x				
3	8,3					x		
4	4,8						x	
5	5,7	x	x	x				
6	6,7			x				
7	6,3			x				
8	6,7				x			
9	6			x				

Rysunek 18. Karta obserwacji zachowania pieszych zbliżających się do przejść dla pieszych - karta obserwacji część 1

Źródło: opracowanie własne.

Zatrzymanie się podczas przechodzenia	Zawrócenie na przejściu	Grupa wiekowa do 10 lat	Grupa wiekowa 10-18		Grupa wiekowa 18-60		Grupa wiekowa 60+		Osoby z niepełnosprawnością ruchową (różnego stopnia)
			M	K	M	K	M	K	
		x							
					x				
					x				
					x				
					x				
					x				
		x							
			x						
			x						

Rysunek 19. Karta obserwacji zachowania pieszych zbliżających się do przejść dla pieszych – karta obserwacji część 2

Źródło: opracowanie własne.

Do badań wytypowano kilka rodzajów przejść dla pieszych, przejście określane mianem innowacyjnego, zawierające dodatkowe elementy świetlne w porównaniu do klasycznych przejść dla pieszych, obligatoryjnie wymaganych przez polskie prawo. Następnie przejście z sygnalizacją świetlną. Zostało one wybrane ze względu na potencjalne inne reakcje uczestników ruchu drogowego znajdujących się przed oraz na przejściach tego typu, następnie przejścia klasyczne z dwoma pasami jezdni jak również z jednym pasem jezdni. W badaniu przeanalizowano zachowania 200 niechronionych uczestników ruchu drogowego.



Rysunek 20. Poglądowe przejścia dla pieszych, na których zostały zrealizowane badania
Źródło: opracowanie własne.

Przyjęta metoda odnosiła się również do badań obserwacyjnych zachowań kierowców zbliżających się do przejść dla pieszych. Stworzono kartę obserwacji dotyczącą zachowań kierowców zbliżających się do przejść dla pieszych. Obserwowano czy zwiększają, zmniejszają lub utrzymują stałą prędkość. Jest to bardzo istotne w odniesieniu do przepisów dotyczących pierwszeństwa pieszych na przejściach dla pieszych z roku 2021, oraz zmian przepisów dotyczących taryfikatora drogowego w odniesieniu do przekraczania dozwolonej prędkości.

Zgodnie z raportem Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu drogowego „Badania zachowań pieszych i relacji pieszy-kierowca wrzesień grudzień 2018 wynika, że w obszarach o dopuszczalnej prędkości równej 50 km/h tj. obszarach zlokalizowanych w miastach i małych miejscowościach, ok 85% kierowców przekracza dopuszczalną prędkość dojeżdżając do wyznaczonego przejścia. Kolejnym badanym aspektem była kwestia używania przez kierowców rozpraszaczy podczas jazdy, takich jak rozmowa przez telefon, używanie telefonu do innych czynności niż rozmowa, rozmowa z innym pasażerem, spożywanie posiłków czy wykonywanie innych niesprecyzowanych i niezwiązanych z prowadzeniem pojazdu czynności. Kierowcy zostali podzieleni na grupy wiekowe zgodnie ze statystykami Komendy Głównej Policji na 4 grupy wiekowe. Grupa 18-24, 25-39, 40-59 oraz 60+. W odniesieniu do przedmiotowych grup nie jest

możliwe ustalenie ilości osób posiadających uprawnienia do kierowania pojazdem mechanicznym, tym samym wskazania procentu populacji zawierającego się w danej grupie wiekowej w odniesieniu do wspomnianej liczby. W odniesieniu do tej kwestii zwrócono się do różnych instytucji Państwowych w tym do Głównego Urzędu Statystycznego, jednak informacja jaką uzyskano wskazuje na brak takich danych w systemie.

lp.	Kierowca zwolnił przed przejściem dla pieszych	Kierowca przyspieszył przed przejściem dla pieszych	Kierowca poruszał się ze stałą prędkością	Kierowca rozmawia przez telefon	Kierowca używa telefonu do innych czynności niż rozmowa	Kierowca używa ekranu w pojeździe	Kierowca rozmawia z innym pasażerem	Kierowca rozgląda się przed przejściem	Kierowca spożywa jedzenie/pije
1		X							
2			X						
3			X						
4			X						
5			X						
6			X					X	
7			X						
8			X						
9			X						

Rysunek 21. Aktualne zachowania kierowców zbliżających się do przejść dla pieszych – karta obserwacji część 1

Źródło: opracowanie własne.

Kierowca pali w pojeździe	Kierowca wykonuje inne niepożądane czynności w pojeździe (makiżaż, itd.)	Grupa wiekowa do 18-24		Grupa wiekowa 25-39		Grupa wiekowa 40-59		Grupa wiekowa 60+		Prędkość 30 metrów przed przejściem (w km/h)
		M	K	M	K	M	K	M	K	
							X			52
					X					61
				X						48
			X							46
		X								48
				X						60
						X				47
							X			47
					X					38

Rysunek 22. Aktualne zachowania kierowców zbliżających się do przejść dla pieszych – karta obserwacji część 2

Źródło: opracowanie własne.

Łącznie przebadano 900 kierowców dla różnego rodzaju przejść dla pieszych, jak również o różnych porach dnia i nocy. Analizowano przejścia dla pieszych klasyczne z dwoma pasami w miejscowości Katowice w godzinach od 14:00, 18:30 oraz godzinach nocnych, analogicznie badania wykonano dla przejść z sygnalizacją świetlną oraz przejścia innowacyjnego znajdującego się w miejscowości Chorzów, dzielnica Batory.

Metoda analizy zachowań pieszych jak i kierowców opierała się o pracę zespołu badawczego wyposażonego w szereg niezbędnych urządzeń pomiarowych potrzebnych

do archiwizacji oraz sprawnej analizy pozyskanych wyników badań in situ. Jako, że ruch pojazdów jest bardzo dynamiczny podzielono prace pomiędzy poszczególnych członków zespołu. Prace opierały się o wykorzystanie podstawowych narzędzi takich jak czasomierze, tablety z odpowiednim oprogramowaniem gwarantującym możliwie szybką archiwizację pomiarów w czasie rzeczywistym, aparat, dodatkowo dla badań związanych z zachowaniami kierowców pojazdów mechanicznych posłużono się kołem pomiarowym do wyznaczenia punktów pomiarowych prędkości zbliżania się pojazdów do badanych przejść dla pieszych. Niezbędnym było wykorzystanie radaru mikrofalowego wraz ze stworzonym oprogramowaniem do analizy i pozyskiwania pomiarów prędkości pojazdów, urządzenie to sytuowane było w odległości 30 metrów od badanych przejść dla pieszych. Zastosowany system pomiarowy wymagał dostępu do zasilania gwarantującego nieprzerwaną pracę zarówno radarów, jak również urządzeń elektronicznych takich jak komputer, wykorzystano w tym celu banki energii.



Rysunek 23. Poglądowe zdjęcie aparatury pomiarowej
Źródło: opracowanie własne.

Dodatkowo przeprowadzono badania obserwacyjne odnoszące się do zachowań kierowców zbliżających się do przejść dla pieszych. Uczestnicy badania podczas wykonywania innych badań eyetrackingowych (scenariuszowych) pojawiali się na przejściach dla pieszych wraz z umieszczoną opaską odbłaskową na lewym bądź prawym

ramieniu, była też grupa która nie posiadała opaski. Badanie to było niewymuszone, nie oczekiwano na zbliżający się pojazd stąd też grupa pomiarów jest niewielka, jednak oczekiwanym rezultatem było pozyskanie realistycznych wyników w normalnym ruchu drogowym podczas pory nocnej.

Kolejnym przykładem badań obserwacyjnych było badanie polegające na pomiarze prędkości pojazdów zbliżających się do przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej.

Badanie prędkości zostało wykonane również w odniesieniu do badania dla 900 prób przejazdów przez różnego rodzaju przejścia dla pieszych, jednak postanowiono dla jednego przejścia dla pieszych wykonać dodatkowe badania dla takiej samej liczby 900 kierowców dla jednej lokalizacji.

Tak jak w przypadku wcześniejszego badania, posłużono się opracowanym oprogramowaniem własnym rejestrującym prędkości pojazdów za pośrednictwem radaru mikrofalowego oraz aparatury pomocniczej takiej jak koło pomiarowe, celem wyznaczenia miejsca usytuowania urządzeń pomiarowych.



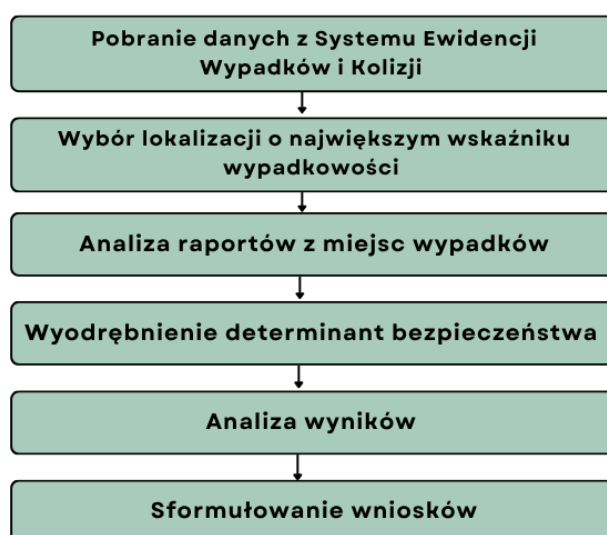
Rysunek 24. Urządzenia pomiarowe wraz z aparaturą oraz oprogramowaniem
Źródło: opracowanie własne.

5.2 Badania statystyczne

W analizie problemu P2: „Wymagająca uszczegółowienia niespójność pomiędzy subiektywną oceną postaw uczestników ruchu, a ich mierzalnymi reakcjami w środowisku drogowym” i odpowiedzi na pytanie „Jaka jest skala i charakter rozbieżności pomiędzy deklarowanymi postawami wobec bezpieczeństwa w ruchu drogowym, a rzeczywistymi obserwowanymi zachowaniami pieszych i kierowców?” zastosowano badania statystyczne.

Kolejnym etapem prac było wykonanie badań statystycznych dających możliwość uogólnienia obserwacji i analizy ilościowej. Badania statystyczne mogą wykazać zależności, korelacje lub trendy sugerowane w badaniach obserwacyjnych.

Celem badania była identyfikacja kluczowych zagrożeń dotyczących przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej. Na rysunku 25 przedstawiono algorytm realizacji badań, przedstawiający kolejne etapy przeprowadzonych analiz. Dane pobrano z Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji (SEWIK). Następnie wybrano lokalizacje, charakteryzujące się największym wskaźnikiem wypadkowości. Przeprowadzono analizę raportów z miejsc, w których wystąpiły zdarzenia drogowe. Na podstawie zgromadzonych materiałów zidentyfikowano determinanty bezpieczeństwa. Następnie zebrane wyniki zostały poddane analizie i na jej podstawie sformułowano wnioski końcowe.



Rysunek 25. Algorytm realizacji badań statystycznych

Źródło: opracowanie własne.

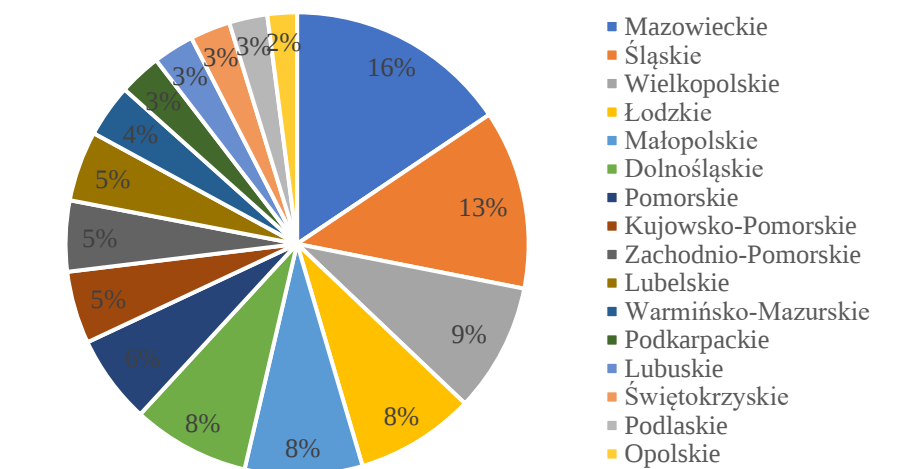
Analizie poddano miejsca, w których do wypadków dochodziło najczęściej w latach 2020 – 2022, w tabeli 5 przedstawiono ogólną liczbę wypadków w tym czasie

wraz z podziałem na województwa. Tego typu analiza nie została wcześniej przeprowadzona przez żadne jednostki rządowe oraz pozarządowe, brak również informacji na temat projektów czy publikacji naukowych i innych. Obejmowała ona najniebezpieczniejsze przejścia dla pieszych w Polsce wraz z ich oceną.

Tabela 5. Liczba incydentów na przejściach dla pieszych z udziałem pieszych w latach 2020-2022

Województwa według liczby potrąceń pieszych 2020-2022	Liczba incydentów z udziałem pieszych
Mazowieckie	2234
Śląskie	1796
Wielkopolskie	1291
Łódzkie	1196
Małopolskie	1178
Dolnośląskie	1176
Pomorskie	886
Kujowsko-Pomorskie	725
Zachodnio-Pomorskie	710
Lubelskie	704
Warmińsko-Mazurskie	529
Podkarpackie	425
Lubuskie	412
Świętokrzyskie	403
Podlaskie	383
Opolskie	296

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.



Wykres 2. Liczba incydentów na przejściach dla pieszych z udziałem pieszych w latach 2020-2022

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

W ramach badań analizowano przejścia dla pieszych, na których sumarycznie doszło do 100 wypadków z udziałem pieszych. Najczęściej były to wypadki ciężkie bądź też te w wyniku których dochodziło w jego konsekwencji do śmierci poszkodowanego/poszkodowanych. Pod uwagę wzięto najniebezpieczniejsze miejsca dla województwa z największą liczbą wypadków - sumarycznie w latach 2020-2022 (woj. mazowieckie). Następnie województwo opolskie z najmniejszą liczbą wypadków z udziałem pieszych w tym okresie, jak również województwo śląskie znajdujące się w tym rankingu na miejscu drugim pod względem występowania wypadków z udziałem pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej. Każde z przejść dla pieszych w województwie śląskim zostało dodatkowo skontrolowane i opisane w prawie 300 stronicowym opracowaniu będącym załącznikiem do pracy.

W tabeli 6 oraz 7 przedstawiono sumaryczne zestawienie wszystkich 100 zdarzeń wypadkowych wyselekcjonowanych z Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji. Zostały one podzielone na różne kategorie dające możliwość dogłębnej analizy związanej z przyczynami wypadków drogowych dla najniebezpieczniejszych punktów gdzie usytuowane są przejścia dla pieszych w Polsce. W podsumowaniu znajdują się zdarzenia z województwa śląskiego, mazowieckiego, opolskiego, w tym również przejścia gdzie dopuszczalna prędkość wynosiła 70 km/h, jak również przykłady najniebezpieczniejszych „czarnych punktów” z całej Polski. Co również znajduje się w kolejnym załączniku podsumowującym przedmiotowe analizy.

Tabela 6. Wyselekcjonowana grupa wypadków drogowych odnosząca się do najniebezpieczniejszych przejść dla pieszych, część 1

Lp.	Numer zdarzenia zgodnie z bazą	Skutek wypadku dla poszkodowanego	Kierowca po spożyciu alkoholu	Obszar zabudowany/niezabudowany	Warunki atmosferyczne	Ograniczenie prędkości
1.	122428380	Pieszy ciężko ranny	Trzeźwy	Zabudowany	dzień-dobre	50 km/h
2.	124244838	Pieszy ciężko ranny	Trzeźwy	Zabudowany	noc-pochmurno	50 km/h
3.	109258715	Pieszy lekko ranny	Trzeźwy	Zabudowany	dzień-dobre	50 km/h
4.	108731246	Pieszy lekko ranny	Trzeźwy	Zabudowany	dzień-pochmurno	50 km/h
5.	108643639	Pieszy lekko ranny	Trzeźwy	Zabudowany	noc-pochmurno	50 km/h
6.	110149148	Pieszy ciężko ranny	Trzeźwy	Zabudowany	dzień-dobre	50 km/h
7.	110174991	Pieszy lekko ranny	Trzeźwy	Zabudowany	dzień-dobre	50 km/h
8.	110517922	Pieszy lekko ranny	Trzeźwy	Zabudowany	Noc-dobre	50 km/h
9.	108712783	Pieszy lekko ranny	Trzeźwy	Zabudowany	dzień-dobre	50 km/h
10.	120317704	Pieszy lekko ranny	Nie badano	Zabudowany	Noc-złe	50 km/h
11.	120357395	Nie ustalono	Trzeźwy	Zabudowany	dzień-dobre	50 km/h

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

Tabela 7. Wyselekcjonowana grupa wypadków drogowych odnosząca się do najniebezpieczniejszych przejść dla pieszych, część 2

Wiek kierowcy	Wiek poszkodowanego	Rodzaj drogi	Rodzaj pojazdu	Nawierzchnia	Doświadczenie kierowcy (w latach)	Przyczyna	Data	Godzina	Profil drogi
M21	K34	Jednojezdniowa 2 kierunkowa	Osobowy	twarda, sucha	5	Nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu na przejściu dla pieszych	17.10.2022	12:00	prosty
K53	K69	Jednojezdniowa 2 kierunkowa	Osobowy	twarda, sucha	16	Nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu na przejściu dla pieszych	28.11.2022	17:08	prosty
M23	M68	Jednojezdniowa 2 kierunkowa	Ciężarowy	twarda, sucha	5	Nieprawidłowe cofanie	03.07.202	09:15	prosty
K57	K20	Jednojezdniowa 2 kierunkowa	Osobowy	twarda, sucha	36	Nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu na przejściu dla pieszych	28.02.2020	15:50	prosty
M59	K30	Jednokierunkowa	Osobowy	twarda, mokra	32	Nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu na przejściu dla pieszych	31.01.2020	05:45	brak
M58	K49	Jednojezdniowa 2 kierunkowa	Osobowy	twarda sucha	30	Nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu na przejściu dla pieszych	28.04.2021	14:21	prosty
M35	K38	Jednojezdniowa 2 kierunkowa	Osobowy	twarda sucha	11	Nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu na przejściu dla pieszych	11.05.2021	13:00	prosty
K81	M83	Jednojezdniowa 2 kierunkowa	Osobowy	twarda sucha	44	Nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu na przejściu dla pieszych	19.02.2020	10:08	prosty
K23	K82	Jednojezdniowa 2 kierunkowa	Ciężarowy	twarda morka	3	Nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu na przejściu dla pieszych	2.02.2022	07:02	prosty

Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

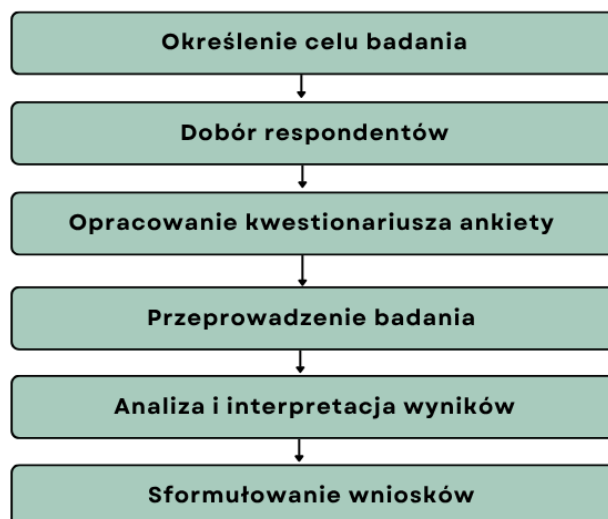
5.3 Wywiady bezpośrednie

Analiza problemu P3: „Wpływ zmiennych środowiskowych i behawioralnych na proces decyzyjny pieszego wymaga hierarchizacji w kontekście oceny ryzyka przed wejściem na jezdnię” i wynikającego z niego pytania: „Które uwarunkowania (infrastrukturalne, sytuacyjne, indywidualne) w największym stopniu determinują ostateczną decyzję pieszego o wejściu na przejście dla pieszych?” wymagała zastosowania metody wywiadów bezpośrednich.

Kolejnym etapem badań była seria bezpośrednich wywiadów, podczas których pozyskiwano wiedzę na temat sytuacji odnoszącej się do szerokorozumianego bezpieczeństwa w ruchu drogowym, w tym niechronionych uczestników ruchu drogowego. Tego typu badania pozwalają na wprowadzenie wymiaru jakościowego do badań, jak również pozyskanie kontekstu psychologicznego, społecznego oraz behawioralnego. Dodatkowo badania tego typu dają możliwość eksperymentalnej weryfikacji założeń.

Na rysunku 26 przedstawiono algorytm realizacji badań. W pierwszej kolejności określono cel badania, który stanowił punkt wyjścia do dalszych działań. Następnie dokonano doboru respondentów, zważając na ich reprezentatywność w odniesieniu do

badanego problemu. Kolejnym etapem było opracowanie kwestionariusza ankiety. Uwzględniono zarówno pytania zamknięte, jak i otwarte. Następnie przeprowadzono badanie, polegające na zebraniu odpowiedzi od respondentów. Dane poddano analizie i interpretacji, a ostatnim etapem było sformułowanie wniosków wynikających z przeprowadzonych badań.



Rysunek 26. Algorytm realizacji badań – wywiady bezpośrednie

Źródło: opracowanie własne.

Za pomocą wzoru Cochra wyznaczono minimalną wielkość próby badawczej (wzór 1). Umożliwiło to oszacowanie minimalnej liczby respondentów niezbędnych do uzyskania wyników reprezentatywnych, przy jednoczesnym uwzględnieniu poziomu ufności oraz dopuszczalnego marginesu błędu.

$$n = \frac{Z^2 * p * (1 - p)}{e^2} \quad (1)$$

gdzie:

- n – minimalna wielkość próby,
- Z – wartość Z (dla wybranego poziomu ufności np. 1.96 dla 95% poziomu ufności)
- p – oczekiwany udział populacji (np. 0,5 dla 50%),
- e – dopuszczalny margines błędu (np. 0,05 czyli 5%).

Obliczenia wykonano przy założeniu poziomu ufności 95% ($Z = 1,96$), marginesu błędu 5% ($e = 0,05$), oraz przyjęto szacowany odsetek populacji 50% ($p = 0,5$). Obliczenia przedstawiono poniżej. Po podstawieniu przyjętych wartości do wzoru uzyskano

minimalną liczebność próby stanowiącą 385 respondentów.

$$n = \frac{1,960^2 * 0,5 * 0,5}{0,05^2} = \frac{3,8416 * 0,25}{0,0025} = \frac{0,9604}{0,0025} = 384,16 \approx 385$$

Pierwsze z badań przeprowadzone zostało na grupie 555 osób, czyli znacznie przekraczająca wielkość reprezentatywną (385). Bardzo istotną kwestią było pozyskanie możliwie dużej próby badawczej, składającej się z osób związanych bezpośrednio z tematyką bezpieczeństwa pieszych, oraz osób kompletnie niezwiązanych z przedmiotowym tematem. Oczekiwanym rezultatem było otrzymanie wiarygodnych danych na temat bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego, którzy są grupą najbardziej narażoną na fatalne w skutkach obrażenia w sytuacji potrącenia przez pojazd mechaniczny. Grupa osób biorących udział w badaniach to między innymi biegli sądowi jako osoby bezpośrednio związane z analizą skutków wypadków drogowych. Następną grupą byli policjanci, stanowiący około 10 procent badanych. Pozyskanie informacji od policjantów z wydziału ruchu drogowego było szczególnie istotne, ponieważ każdego dnia zmagają się z problematyką bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Kolejną grupę stanowili kierowcy zawodowi, również stanowili oni dużą grupę badanych, było to 8 procent odpowiedzi. Zdobycie informacji od tej grupy zawodowej było kluczowe ze względu na to, iż są to osoby, które każdego dnia znajdują się w ruchu drogowym. Są to osoby mające ogromne doświadczenie oraz wiedzę na temat zachowań mogących potencjalnie tworzyć zagrożenie w ruchu drogowym.

Kolejną grupą biorącą udział w badaniu była grupa naukowców z różnych jednostek badawczych między innymi byli to pracownicy naukowcy Politechniki Śląskiej, Instytutu Transportu Samochodowego, jak również Politechniki Warszawskiej. Ostatnia grupa zawierała losową grupę osób zaangażowanych w badanie.

W procesie badawczym zaobserwowano problem związany ze świadomością społeczną w Polsce w odniesieniu do bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Zauważono niepokojące przesłanki na podstawie badań obserwacyjnych zachowań zarówno kierowców jak i pieszych w obrębie przejść dla pieszych. Przesłanki te spowodowały, że rozpoczęto poszukiwanie informacji dotyczących świadomości społecznej w temacie dotyczącym bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Analizując dostępną literaturę nie odnaleziono informacji na temat przeprowadzonych tego rodzaju badań w Polsce. Postanowiono wykonać dodatkowo badania, których zakres dotyczył głównie jednego

zagadnienia, a mianowicie świadomości tego jaki procent szans na przeżycie ma pieszy w momencie potrącenia przez samochód osobowy poruszający się z prędkością 70 km/h.

5.4 Badania symulatorowe

Kolejny problem naukowy P6: „Skala degradacji zdolności percepcyjnych i opóźnień motorycznych uczestników ruchu wynikająca z rosnącego udziału dystraktorów (m.in. urządzeń mobilnych) oraz próba odpowiedzi na pytanie: „Jak silne obciążenie poznawcze i wizualne rozproszenie uwagi modyfikują parametry reakcji (m.in. czas reakcji, ocenę ryzyka) u pieszych i kierowców w okolicy przejść dla pieszych?” wymagała zastosowania metody badań symulatorowych.

W kolejnym etapie badań po poznaniu motywacji, opinii i danych populacyjnych oraz przede wszystkim wzorców zachowań percepcji i reakcji, przeprowadzono badania w warunkach kontrolowanych. Badania symulatorowe prowadzone w warunkach kontrolowanych pozwalają testować hipotezy powstałe na wcześniejszych etapach badań. Badania symulatorowe pozwalają na implementację precyzyjnych danych przy wykluczeniu czynników zakłócających oraz eksperymentalną weryfikację założeń.

Zagadnienie zachowania kierowców jest bardzo istotnym szczególnie w odniesieniu do konsekwencji jakie mogą wynikać w stosunku do niechronionych uczestników ruchu drogowego, tj. ryzyko wystąpienia wypadku drogowego. Pomimo wielu akcji edukacyjnych dotyczących kierowców zakłada się, że zachowanie kierowcy jest czynnikiem przyczyniającym się aż do 90 procent wypadków drogowych na świecie [48]. Stąd też niezmiernie istotnym jest by wiedza na temat poszczególnych czynników i ich wpływu na możliwość wystąpienia wypadku drogowego była jak największa. Tematyka ta jest na tyle istotna, że zgodnie z danymi Światowej Organizacji Zdrowia rocznie dochodzi do około 1.3 miliona wypadków śmiertelnych oraz od 20 do 50 milionów wypadków, w których ucierpieli kierowcy oraz niechronieni uczestnicy ruchu [48]. Zgodnie z przyjętymi standardami wyróżnia się różne metody kompletacji danych wykorzystywanych do analizy poszczególnych profili kierowców[48].

Dodatkowo wykonuje się również badania obserwacyjne, analizuje się poszczególne sytuacje zarchiwizowane za pośrednictwem kamer wideo jak również wykorzystuje się dające ogromne możliwości symulatory komputerowe. Metody z wykorzystaniem urządzeń symulatorowych, które mają na celu odwzorowanie w jak

najwyższym stopniu warunków rzeczywistych, warunków w których poszczególne sytuacje, czynności mogą wystąpić. Jednak z zachowaniem buforu bezpieczeństwa jakim jest fakt, iż badania przeprowadzane są w sposób bezpieczny, z wyłączeniem czynnika zagrożenia związanego z tym, że w przypadku reakcji niezgodnej z założeniami, co może mieć miejsce w normalnym ruchu drogowym, dojdzie do zagrożenia zdrowia lub życia [56].

Wiąże się to również z odpowiedzialnością osób, które tego typu badania przeprowadzają. Bardzo niebezpieczne byłoby w warunkach rzeczywistych badać reakcje kierowców podczas np. sytuacji poślizgu w normalnym ruchu drogowym, co mogło by mieć fatalne w skutkach konsekwencje takie jak wypadek drogowy. Z drugiej jednak strony przeprowadzanie badań w warunkach kontrolowanych w całym zakresie może wiązać się z brakiem autentyczności pozyskiwanych danych.

Aspekt autentyczności badań jest również bardzo istotny podczas planowanych badań w Instytucie Transportu Samochodowego w Warszawie. Badań dotyczących zachowań kierowców zbliżających się do przejść dla pieszych, w różnych wariantach oznakowania przejść dla pieszych takich jak znaki pionowe klasyczne, pionowe świetlne, znaki poziome świetlne, występujące w różnych konfiguracjach. Dodatkowo kierowcy zostali zapytani o odczucia związane z jazdą w symulatorze i porównania ich z jazdą konwencjonalnym pojazdem w normalnym ruchu drogowym. Rozwiązanie symulatorowe stosowane w Instytucie Transportu Drogowego w Warszawie jest wysoce zaawansowanym urządzeniem do przeprowadzania szerokich analiz zachowań kierowców nie tylko pojazdów osobowych, ale również ciężarowych, to w odniesieniu do innych rozwiązań odpowiedzi ankietowanych mogą być zgoła odmienne od przedstawionych.

Badania wykonano w ramach pracy zleconej. Strategia, plan i zakres badań zostały opracowane samodzielnie. Natomiast pracownicy Instytutu Transportu Samochodowego w Warszawie odpowiedzialni byli za ich wykonanie i archiwizację wyników, które poddano dalszej analizie w ramach rozprawy doktorskiej.

Bardzo ważne było opracowanie zaawansowanych symulatorów jazdy, odzwierciedlających warunki rzeczywiste, w środowisku symulowanym, zapewniającym bezpieczeństwo w sytuacji wystąpienia kolizji bądź wypadku. Poniżej przedstawiono całkowity proces związany z prowadzeniem badań symulatorowych. Badania własne rozpoczęto od przykładów określających ogólne ramy, poprzez badania symulatorowe, aż do gotowych wytycznych wraz ze scenariuszami badawczymi, opartymi o złożone

analizy wykorzystujące badania behawioralne zarówno kierowców jak i niechronionych uczestników ruchu wraz z określeniem determinant bezpieczeństwa przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej.



Rysunek 27. Zdjęcie poglądowe Symulatora jazdy Instytutu Transportu Samochodowego
Źródło: opracowanie własne.

Podczas planowania i projektowania badań zachowań określa się parametry badawcze, które będą kluczowe dla przedmiotowych badań symulatorowych [14]. Parametrami badawczymi w przypadku badań na symulatorach jazdy mogą być prędkość jazdy, wszelkiego rodzaju czasy reakcji odnoszące się do urządzeń zabudowanych w symulatorze jazdy, parametry wzrokowe, ruch uczestnika badań w pojeździe.

Tabela 8. Parametry symulatora jazdy wykorzystywanego do przeprowadzenia badań

Parametr	Opis
Typ urządzenia	Wysokiej klasy symulator jazdy samochodu osobowego
Kabina pojazdu	Pełnowymiarowa, funkcjonalna kabina samochodu Opel Astra IV
Platforma ruchu	Platforma ruchu typu Stewart (Moog 6DOF2000E)
Stopnie swobody ruchu	6 stopni swobody (6DOF)
Zakres przemieszczeń liniowych	$\pm 0,25$ m
Maksymalna prędkość liniowa	$\pm 0,5$ m/s
Maksymalne przyspieszenie liniowe	$\pm 0,6$ G
Zakres przemieszczeń kątowych	$\pm 22^\circ$
Maksymalna prędkość kątowa	$\pm 30^\circ/\text{s}$
Maksymalne przyspieszenie kątowe	$\pm 500^\circ/\text{s}^2$
System wizualizacji	Cylindryczny ekran otaczający kierowcę
Pole widzenia (poziome)	ok. 200°
Pole widzenia (pionowe)	ok. 30°
Średnica ekranu	ok. 5 m
Projektory	4 projektory
Rozdzielczość projekcji	WXGA (1280×800)
Częstotliwość odświeżania	60 Hz
Symulacja lusterek	Ekran LCD (WVGA 800×480, 60 Hz)
System monitoringu kierowcy	Kamera i mikrofon w kabinie
Oprogramowanie symulacyjne	AutoSim SimWorld
Możliwości oprogramowania	Tworzenie scenariuszy, sterowanie warunkami pogodowymi i oświetleniowymi
Rejestracja danych	Przesył danych (UDP) do systemu analizy przejazdów
Badania kierowcy	Analiza zachowań, reakcji i parametrów jazdy
System śledzenia wzroku	Smart Eye Pro – analiza ruchu głowy i kierunku patrzenia
Zastosowanie	Badania bezpieczeństwa ruchu, testy systemów wspomagania, symulacje sytuacji drogowych
Główna zaleta	Pełna powtarzalność warunków eksperymentu i kontrola środowiska (np. oświetlenia)

Źródło: opracowanie własne.

Badanie zostało przeprowadzone przy użyciu wysokiej klasy symulatora AutoSim AS 1200-6. Jest on zbudowany z pełnowymiarowej kabiny samochodu osobowego marki Opel Astra IV i wyposażony w system czterech projektorów wyświetlających obraz na ekranie pokrywającym 200° pola widzenia, a także system trzech ekranów pełniących funkcję lusterek samochodowych. Symulator znajduje się na platformie ruchomej o sześciu stopniach swobody, umożliwiającej symulowanie ruchów kątowych i liniowych kabiny podczas rzeczywistej jazdy. Oprogramowanie symulatora pozwala na pełną

kontrolę warunków pogodowych, oświetleniowych i zachowania innych uczestników ruchu drogowego.



Rysunek 28. Zdjęcie poglądowe Symulatora jazdy Instytutu Transportu Samochodowego
Źródło: opracowanie własne.

Określenie scenariusza badawczego jest kluczowym etapem podczas przygotowań do wykonywania wszelkich badań. Etap ten jest pracochłonny ze względu na mnogość różnego rodzaju sytuacji ruchowych, które mogą występować w warunkach rzeczywistych podczas poruszania się pojazdem. Celem wytypowania poszczególnych scenariuszy badawczych jest dobranie jak największej ilości możliwych konfiguracji poszczególnej trasy przejazdowej, w zależności od potrzeb. Odnosi się również do ustalenia warunków początkowych i zmiennych, które mają być kontrolowane.

Symulatory jazdy dają niespotykaną możliwość powtarzalności zaimplementowanych warunków, co daje wymierne korzyści podczas wykonywania poszczególnych pomiarów dla różnych grup osób w zależności od ich wieku czy płci.

Dobór scenariusza badawczego odzwierciedla również najistotniejsze potrzeby podczas prowadzenia badania, ponieważ w związku z tym, że liczba możliwych konfiguracji jest dowolna, po wstępnym przygotowaniu obszernych możliwości scenariuszy wybiera się te, które są dla grupy badawczej najistotniejsze ze względu na charakter prac, ale również ograniczenia związane są z ilością czasu jaki poszczególna osoba biorąca udział w badaniu jest w stanie skupić się i w sposób czynny brać udział w badaniu.

Dużym zagrożeniem podczas prowadzenia tego typu badań jest zjawisko związane z chorobą symulatorową. Zjawisko określane mianem choroby symulatorowej

jest bardzo często nieuniknione podczas prowadzenia prac badawczych na wszelkiego rodzaju urządzeniach symulatorowych, symulujących warunki rzeczywiste w środowisku kontrolowanym, wirtualnym [11]. Najczęstszymi objawami tego zjawiska są między innymi zmęczenie, senność, suchość w ustach, nadmierne wydzielanie śliny, mdłości, problemy z dezorientacją, zawroty głowy oraz dolegliwości żołądkowe [78].

Przyjmuje się, że do wystąpienia objawów choroby symulatorowej dochodzi wtedy, gdy informacje ze wszystkich zmysłów pomocnych w orientacji w przestrzeni i percepcji ruchu pozostają w konflikcie z tym co było przedmiotem wcześniejszego doświadczenia danej osoby [20]. Zakłada się, że podczas wykonywania poszczególnych ruchów w środowisku symulowanym wzór informacji jaki był wykonywany do tej pory w środowisku naturalnym jest zgoła odmienny w porównaniu do symulowanego wykonywanego na symulatorze. Niezgodność występująca pomiędzy informacją sensoryczną otrzymywaną z symulatora do mózgu, ta która była wyczekiwana powoduje występowanie zjawiska określanego mianem choroby symulatorowej [40].

Zjawisko choroby symulatorowej może mieć ogromny wpływ na sam proces badania oraz jego wyniki, w przypadku gdy osoba jest podatna na wpływ choroby symulatorowej może dochodzić do sytuacji, w której proces badawczy jest zaburzony. Wnioskowanie po uzyskaniu wyników zaburzonych tym zjawiskiem może prowadzić do wysuwania błędnych wniosków. Badania z zastosowaniem SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) przeprowadzonego przez Sharples i wsp. odnosiło się do wpływu nasilenia objawów choroby symulatorowej w zależności od występujących warunków wizualnych. By móc porównać subiektywne odczucia wykorzystano kwestionariusz do oceny symptomów choroby symulatorowej SSQ. Wyniki badań wykazały, że zastosowanie wyświetlaczy bezpośrednio zakładanych na oczy jako okulary VR powodowało aż o 70 procent wzrost objawów choroby symulatorowej w porównaniu z zastosowaniem warunków statycznych w badaniu symulatorowym, gdzie ekrany oddalone były od uczestnika badania w sposób znaczący [83]. Inne badania wskazujące na nasilenie objawów choroby symulatorowej opisano w pracy Kennedy i wsp. analizowali oni wpływ rodzaju symulatora, jego przeznaczenia na nasilenie się objawów choroby symulatorowej [83]. Przeprowadzone badania skupiały się na wykorzystaniu symulatorów samolotu, śmigłowca oraz samochodu osobowego. Co ciekawe największe negatywne skutki związane z występowaniem zjawiska choroby symulatorowej występowały w przypadku symulatora samochodu osobowego, zaobserwowano tutaj poważne problemy z dezorientacją uczestników badań. W przypadku symulatorów

śmigłowca oraz samolotu najwyższy poziom dolegliwości dotyczył zaburzeń okoruchowych. Bardzo ciekawe zjawisko zostało zaobserwowane przez badaczy skupiających się na technice montażu samego symulatora. Naukowcy Curry i wsp. wykonali badania dotyczące możliwości występowania różnicy w odczuciach związanych z samopoczuciem w zależności od rodzaju platformy, na której znajdował się symulator. W przypadku platformy statycznej w porównaniu z platformą wyposażoną w 6 stopni swobody nasilenie objawów choroby symulatorowej było wyższe u badanych w przypadku platformy statycznej niż platformy ruchomej [19]. Wyniki tej analizy pozwoliły na wybór najbardziej optymalnego symulatora czyli całopojazdowego z ekranami.

Proces kompletacji danych z urządzenia badawczego również powinien zostać określony na etapie planowania badań. Konfiguracja symulatora w sposób właściwy zgodny z założeniami procesu badawczego jest kluczowa. Ponieważ, podczas procesu może okazać się, że główne założenia badawcze nie mogą zostać przebadane ze względu na ograniczenia związane z aparaturą, która została użyta do badań. W kontekście badań na symulatorach jazdy w Polsce istnieje bardzo wąska grupa jednostek badawczych będących w stanie prowadzić zaawansowane działania w tym zakresie, co ogranicza możliwość swobody prowadzenia tego typu badań na szeroką skalę, co czyni je tym samym badaniami bardzo specjalizowanymi, również ze względu na ograniczoną liczbę specjalistów mających wiedzę w tym zakresie.

Zagrożenia związane z etyką oraz bezpieczeństwem związanym z prowadzeniem badań symulatorowych są kluczowe dla zapewnienia między innymi anonimowości osób biorących udział w badaniach symulatorowych. Osoby biorące udział w tego typu badaniach muszą mieć świadomość, że ich dane nie zostaną rozpowszechnione w sposób niekontrolowany, stąd też w celu zachowania zasad etyki nie zaleca się podczas prowadzenia badań ankietowych zadawania szerokorozumianych pytań wrażliwych poszczególnym uczestnikom. Kluczowym jest również zapewnienie bezpieczeństwa, osoby biorące udział w badaniach nie mogą być narażone na niebezpieczeństwa związane z możliwymi konsekwencjami związanymi z nieprawidłową pracą urządzeń mechanicznych, kabina symulatora jazdy wyposażona jest w szereg siłowników odpowiedzialnych za zmianę pozycji kabiny pojazdu podczas jazdy, by w sposób właściwy odwzorowywać odczucia jazdy konwencjonalnym pojazdem mechanicznym.

Przed przystąpieniem do procesu wykonywania pomiarów na symulatorze jazdy wykonuje się szczegółowe szkolenie związane z przekazaniem wszystkich niezbędnych

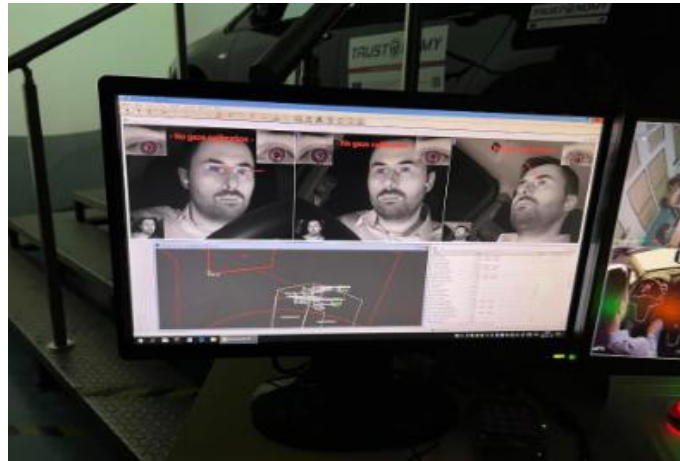
informacji dla uczestników z obsługi symulatora. Należy również ogólnie przedstawić zakres samego badania, tego na czym będzie ono polegać. W szkoleniu chodzi o to by osoba biorąca w badaniu czuła się swobodnie podczas jazdy na symulatorze i co istotne by rozumiała jakie zadania ma wykonać. Aspekt zrozumienia samej idei oraz poprawnego podejścia do wykonywanych zadań jest kluczowy.

Po rozpoczęciu procesu badawczego ważnym jest by realizować badania zgodnie z wcześniej opracowanym scenariuszem, by zachować spójność postępowania. Opierając się na danych rejestrowanych przez urządzenia zainstalowane w pojeździe i poza nim warto również prowadzić niezależną analizę zewnętrzną, zapisywać spostrzeżenia i nietypowe zachowania dla poszczególnych sytuacji, rejestrowanych podczas kolejnych przejazdów wykonywanych przez uczestników badań, będą one swego rodzaju uzupełnieniem wiedzy pozyskanej za pośrednictwem urządzeń pomiarowych na pojeździe. Po procesie przeprowadzenia badań następuje proces analizy danych wraz z interpretacją pozyskanych wyników. Dotyczą one przeprowadzenia analizy statystycznej oraz innych zgodnych z założeniami początkowymi przed rozpoczęciem badań. Interpretacja oraz wnioskowanie uzyskanych wyników odbywać się będzie w kontekście postawionych celów badawczych.

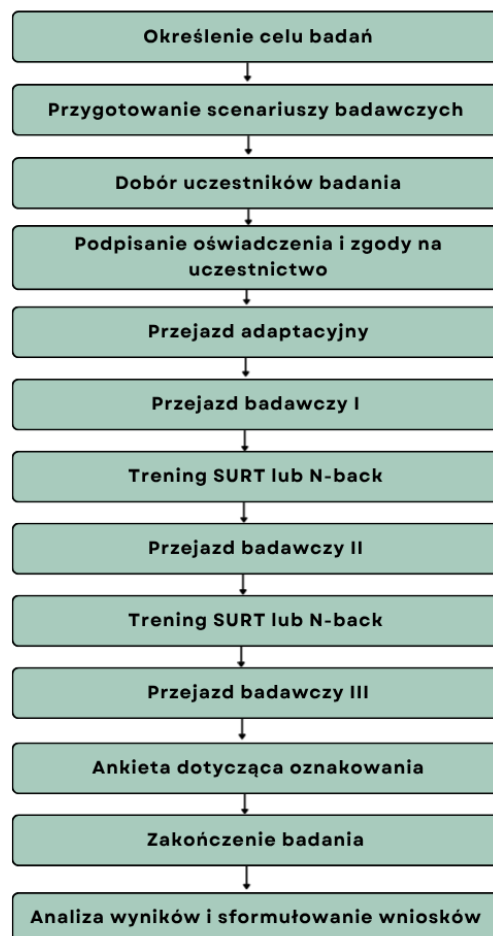
Po zakończeniu procesu badawczego istotnym jest przygotowanie kompletnych, obszernych analiz, które odnosić się będą bezpośrednio do wszystkich kroków poprzedzających proces badawczy.

Przystępując do badań symulatorowych, których jednym z celów było uzyskanie informacji na temat postrzegalności oraz oceny zachowań kierowców w sytuacji gdy przedstawiono im implementowane pseudolosowo rozpraszacze takie jak zadania N-back wstecz oraz SURT. Zadania te wpływają na możliwość skupienia się na wykonywanej czynności i mogą istotnie wpłynąć na wyniki badania. Zadanie N-wstecz polega na ustnym powtarzaniu sekwencji numerów, w sekwencji odczytywanych przez nagrany głos. W warunku 0-back uczestnik musiał powtórzyć ostatnią liczbę w sekwencji, w warunku 1-back, uczestnik powtarzał przedostatni numer. Badanie SuRT jest to badanie w zależności od poziomu trudności angażujące w sposób znaczący uczestnika badania, zadanie to polega na wskazywaniu na tablecie zamontowanym w symulatorze, po prawej stronie kierowcy na wysokości panelu funkcyjnego w pojeździe. Uczestnik proszony jest by w momencie pojawienia się grupy okręgów na ekranie tabletu wskazać okrąg o największej średnicy, uczestnik nie otrzymuje informacji w sposób natychmiastowy czy wskazany przez niego okrąg jest właściwy, wyniki analizowane są

dopiero po zakończeniu badania, w zależności od poziomu różnica między okręgami zmienia się, co w znaczny sposób utrudnia badanemu wskazanie okręgu o największej średnicy i wymaga od niego większego zaangażowania w badanie, co wiąże się z zagrożeniem wynikającym z zachowaniami podczas prowadzenia pojazdu mechanicznego.



Rysunek 29. Zdjęcie poglądowe Symulatora jazdy Instytutu Transportu Samochodowego
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 30. Algorytm realizacji badań symulatorowych
Źródło: opracowanie własne.

Badania symulatorowe prowadzone były zgodnie z algorytmem przedstawionym na rysunku 30. Schemat ten determinował poszczególne etapy procesu badawczego, którego efektem było wykonanie pełnych przejazdów z wykorzystaniem stworzonych scenariuszy. Rozpoczęto od wykonania przejazdu adaptacyjnego, dzięki któremu uczestnicy badań mogli zapoznać się z wykorzystaną aparaturą badawczą. Chodziło również o głębsze zrozumienie istoty funkcjonowania w środowisku symulacyjnym.



Rysunek 31. Zdjęcie poglądowe przebiegu badania symulatorowego

Źródło: opracowanie własne.

Po jeździe adaptacyjnej nastąpiło badanie właściwe, składające się z trzech przejazdów i dwóch treningów zadania dodatkowego. W ramach eksperymentu zaplanowano trzy scenariusze badawcze (3 przejazdy każdego badanego), w tym jeden przejazd bez dystraktorów (w scenariuszu pierwszym) oraz dwa przejazdy, w trakcie których kierowca w trakcie jazdy wykonywał zadania dodatkowe: N-back lub SURT (w scenariuszu drugim i trzecim). Zadaniem głównym we wszystkich trzech przejazdach eksperymentalnych jest jazda po specjalnie zaprojektowanym odcinku trasy i reagowanie na oznakowanie eksperymentalne informujące o przejściach dla pieszych oraz na innych niechronionych użytkowników drogi (NURD). W każdym scenariuszu wykorzystano obszary o różnej charakterystyce krajobrazu:

- zabudowę miejską,
- zabudowę podmiejską,
- obszar z zabudową rzadką,
- obszar leśny,
- obszar bez zabudowy.

Na każdym z wyżej wymienionych obszarów badani kierowcy wykonają cztery przejazdy. W każdym scenariuszu badawczym zaprojektowano łącznie dwadzieścia przejść. W celu oznaczenia miejsca przeznaczonego do przechodzenia pieszych zastosowano siedem wariantów oznakowania, w tym połączono oznakowanie obecnie obowiązujące z oznakowaniem eksperymentalnym.

Przez połowę długości każdego z ww. obszarów, po obu stronach jezdni wyznaczony był pas dla rowerzystów. Połowie przejść na każdym z obszarów towarzyszył przejazd dla rowerzystów, w związku z czym w tych miejscach znak D-6 „przejście dla pieszych” został odpowiednio zastąpiony znakiem D-6b „przejście dla pieszych i przejazd dla rowerzystów”.

Na przejściach uczestnicy badania mogli napotkać sześć sytuacji drogowych z udziałem NURD:

- pieszego idącego normalnie,
- pieszego, który po wkroczeniu na przejście zatrzyma się i zawróci,
- pieszego, który po wkroczeniu na przejście zatrzyma się i pójdzie dalej,
- pieszego przebiegającego przez przejście,
- pieszego w stanie nietrzeźwości (zmienna prędkość i kąt względem przejścia),
- rowerzystę, przejeżdżającego przez przejazd dla rowerów.

Przejście dla pieszych zawsze z prawej strony. Dokonano randomizacji kolejności pojawiania się NURD i kierunku jazdy.

Zaprojektowano dwa układy tej samej drogi dostosowane do prędkości, różniące się odstępami pomiędzy przejściami dla pieszych. Badani na początku każdego z trzech przejazdów eksperymentalnych zostali proszeni o zachowanie prędkości: 30, 50, 70 lub 90 km/h. Każdy uczestnik pokonywał jedną trasę wolną (z prędkością 30 lub 50 km/h), jedną trasę szybką (z prędkością 70 lub 90 km/h). Do trzeciego przejazdu badani zostali przydzieleni pseudolosowo, przejeżdżając trasę wolną bądź szybką.

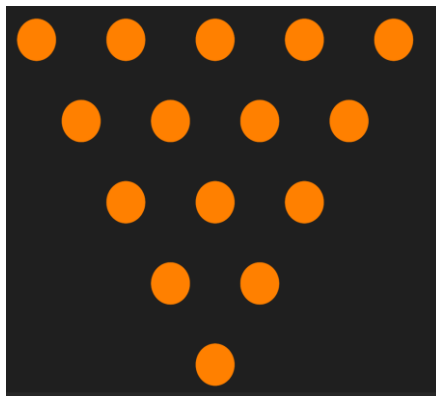
W scenariuszu 2 i 3 oprócz zadania głównego badani kierowcy zostali poproszeni o wykonywanie zadania dodatkowego. Przejazd eksperymentalny zaprojektowano w dwóch wariantach (tj. z dwoma typami dystraktorów: zadanie N-back lub zadanie SURT. Badanych zostały losowo przydzieleni do jednej z dwóch grup, z których każda będzie przejeżdżała scenariusz wykonując inne zadanie jako pierwsze. Przejazd badawczy z zadaniem dodatkowym poprzedzał trening zadania.

Zadanie dodatkowe miało na celu wywołanie obciążenia poznawczego przez angażowanie pamięci roboczej (krótkotrwałej) kierowcy. W obu zadaniach w pierwszej kolejności wykonywane zostały mniej skomplikowane wersje, a następnie poziom trudności został zwiększony. Pierwsze zadanie, które zdecydowano się wykorzystać w tym badaniu to zadanie n-wstecz (ang. delayed digit recall task), czyli zadanie słuchowo-wokalne. Polega ono na odsłuchiwaniu ciągów liczb i przywoływaniu liczby usłyszanej n(0-2) liczb wstecz. Zadanie to ma trzy poziomy trudności (0-wstecz, 1-wstecz i 2-wstecz). Dla zadania 0-wstecz uczestnik musiał przywołać ostatnią zasłyszaną liczbę. W zadaniu 1-wstecz uczestnik przywoływał przedostatnią usłyszaną liczbę z 10 usłyszanych. Ostatnia z wersji zadania to zadanie 2-wstecz. Oznacza, że za każdym razem, gdy lektor przeczytał listę zawierającą 10 cyfr, zadaniem osoby badanej było głośne powtórzenie cyfry, która została wypowiedziana jako trzecia od końca. Przykładowo, jeśli została wypowiedziana cyfra 7, potem 4, a na końcu 5, badany powinien wypowiedzieć tylko cyfrę 7. Na potrzeby niniejszego badania zdecydowano się wykorzystać wersję zadania 1-wstecz.

Drugim zadaniem dodatkowym, które zostało wykorzystane w niniejszym eksperymencie to zadanie SURT. Było to zadanie wzrokowo-manualne. Polegało ono na wyszukiwaniu na urządzeniu dotykowym odpowiedniego okręgu (największego) spośród kilkunastu pojawiających się na ekranie kółek. Do wykonania zadania SURT został wykorzystany tablet dotykowy umieszczony w centralnej części pulpitu kierowcy. Położenie tabletu wyznaczono tak, by znajdował się on w polu peryferyjnym widzenia, poza obszarem widzenia ostrego i widzenia dokładnego kierowcy. Na zakończenie badania pracownicy ITS przeprowadzili przygotowaną wcześniej przez doktoranta ankietę dotyczącą bezpośredniej oceny zaimplementowanych w scenariuszach znaków eksperymentalnych.

Poza wykorzystaniem klasycznej metody oznaczania przejść dla pieszych wraz z wykorzystaniem konwencjonalnych znaków drogowych informujących kierowcę o sytuacji, w której znajduje się on w okolicy przejścia dla pieszych wykorzystano również przykładowe, opracowane znaki alternatywne. Podczas wykonywania procedury przejazdu według wybranego scenariusza jazdy, implementowano również 3 rodzaje oznakowania alternatywnego, dwa z nich instalowane były analogicznie jak klasyczne znaki pionowe, gdzie wykorzystano do ich implementacji znaki zmiennej treści VMS. Znaki te przedstawiane były osobom biorącym udział w badaniu w różny sposób, jako stałe oznakowanie bądź też o zmiennej częstotliwości pojawiania się informacji na znaku

zmiennej treści, wykorzystano tu napis oraz piktogram. Dodatkowo wykorzystano również możliwość implementacji znaku alternatywnego bezpośrednio na jezdni, założeniem było informowanie o fakcie zbliżania się do przedmiotowego przejścia dla pieszych bez sygnalizacji w zależności od odległości w jakiej znajdował się kierowca. Na rysunku 32, 33 oraz 34 zaprezentowano grafiki ideowe poszczególnych rozwiązań.



Rysunek 32. Znak alternatywny „lotnisko” implementowany do scenariusza przejazdu
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 33. Znak alternatywny „piktogram1” implementowany do scenariusza przejazdu
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 34. Znak alternatywny „piktogram2” implementowany do scenariusza przejazdu
Źródło: opracowanie własne.

W celu poznania subiektywnych odczuć badanych oraz ich oceny warunków jazdy na symulatorze, jak i w rzeczywistym ruchu drogowym, na podstawie codziennych doświadczeń zastosowano kwestionariusz ankiety. Dane gromadzono przy użyciu pytań zamkniętych. Ankietę przeprowadzono w formie elektronicznej bezpośrednio po zakończeniu jazdy na symulatorze. Podczas przeprowadzonych badań oprócz

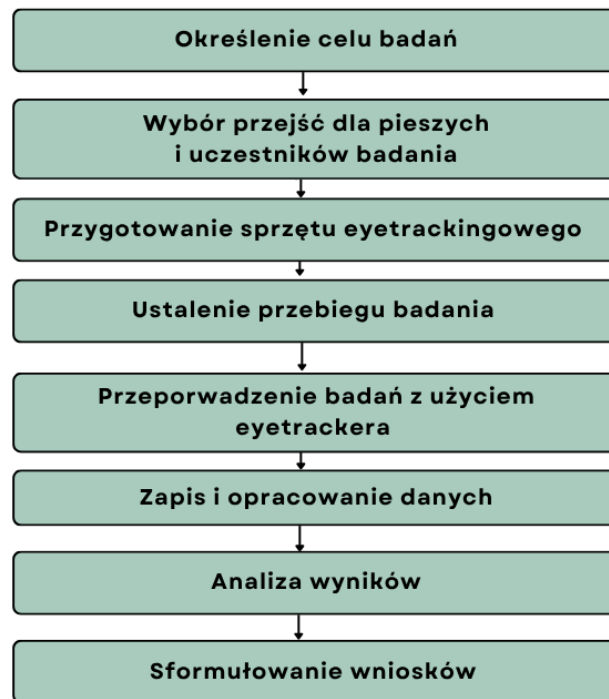
podstawowej metryki wymaganej podczas badań symulatorowych związanych z predyspozycjami zdrowotnymi do badań tego typu, dodano osobną dotyczącą bezpośredniej oceny implementacji znaków. Ankieta ta służyła do porównania wyników badań symulatorowych z bezpośrednią oceną uczestników badań.

5.5 Terenowe badania scenariuszowe

Kolejny problem P5: „Wymagający parametryzacji wpływ strategii przeszukiwania wizualnego na efektywność identyfikacji pieszego i poprawność reakcji kierowcy” i wynikające z niego pytanie: „W jakim stopniu określone wzorce alokacji uwagi wzrokowej (np. widzenie tunelowe) korelują ze skutecznością wykrywania pieszego i poziomem bezpieczeństwa interakcji?” wymagał zastosowania metod terenowych badań scenariuszowych.

Posiadając wiedzę na temat zachowań uczestników ruchu drogowego ostatnim etapem badań było przeprowadzenie scenariuszowych badań terenowych. Były to najtrudniejsze badania ze względu na ich specyficzny charakter polegający na prowadzeniu procesu badawczego w normalnym ruchu drogowym, co wiąże się z ogromną odpowiedzialnością, gdzie nie ma możliwości na błędy mogące mieć fatalne w skutkach konsekwencje dla uczestników badań.

Na rysunku 35 przedstawiono algorytm realizacji badań z wykorzystaniem technologii eyetrackingowej. Pierwszym etapem było określenie celu badania, a następnie wybór przejść dla pieszych oraz uczestników badania. Badania zostały przeprowadzona wśród kierowców oraz pieszych. W odniesieniu do kierowców zastosowano okulary eyetrackingowe, które umożliwiały rejestrację ruchu gałek ocznych podczas zbliżania się do przejść dla pieszych oraz ich pokonywania. Następnie analogicznie przeprowadzono badania na grupie niechronionych uczestników ruchu drogowego, analizując ich postrzeganie otoczenia z perspektywy przekraczającego jezdnie. Badania zostały przeprowadzone w tych samych lokalizacjach w porze dziennej oraz nocnej. Umożliwiło to porównanie zachowań uczestników badania w różnych warunkach oświetleniowych. Przed rozpoczęciem pomiarów określony został przebieg badania oraz skonfigurowano sprzęt. Następnie przeprowadzono właściwe badania z użyciem eyetrackera, za pomocą którego rejestrowano dane dotyczące ruchu gałek ocznych uczestników. Zebrany materiał został zapisany i poddany szczegółowej analizie.



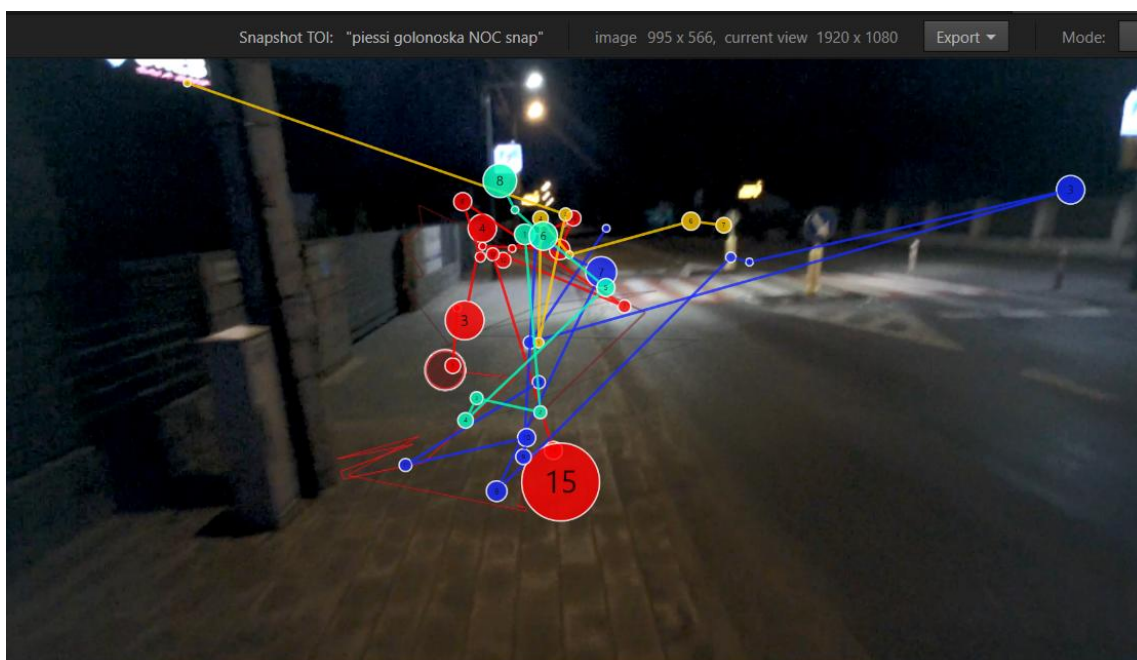
Rysunek 35. Algorytm realizacji badań eyetrackingowych kierowców i pieszych
Źródło: opracowanie własne.

Poniżej zaprezentowano w sposób wizualny przykładowe zapisy z urządzenia eyetrackingowego TOBII PRO działającego na zasadzie wysyłania światła bliskiej podczerwieni, które odbija się od oka, a następnie jest przechwytywane przez kamery znajdujące się w urządzeniu. Dane przetwarzane są za pomocą algorytmów, które wyłapują szczegóły wzroku osoby badanej oraz obliczają punkt skupienia wzroku na ekranie. Bliska podczerwień jest to źródło światła, które nie rozprasza wzroku osoby biorącej udział w badaniu, ponieważ jest niewidoczne dla ludzkiego oka, ulega jedynie odbiciu od jego powierzchni, co jest kluczowe dla zasady działania eyetrackera. Nie ma również niebezpieczeństwa w przypadku dłuższego korzystania z urządzenia, ponieważ korzysta ono zaledwie z niewielkiej części maksymalnego natężenia, które jest dozwolone. Pomiar ten umożliwia ilościową ocenę takich charakterystyk postrzegania jak fiksacje i sakkady.

Fiksacja to względnie stabilny okres utrzymywania spojrzenia na określonym obszarze pola widzenia, podczas którego obraz badanego obiektu pada na centralną część siatkówki (plamkę żółtą), umożliwiając efektywne przetwarzanie informacji wzrokowej. W praktyce eye-trackingu fiksacja jest definiowana jako okres, w którym ruch oka pozostaje poniżej ustalonego progu prędkości lub dyspersji, zwykle trwający od około 100 do 600 ms, choć czas ten zależy od zadania i metodologii badania.

Sakkada natomiast to szybki, balistyczny ruch gałek ocznych przemieszczający punkt fiksacji z jednego miejsca na drugie. W trakcie sakkady percepcja wzrokowa jest znacząco ograniczona z powodu zjawiska supresji sakkadowej. Sakkady charakteryzują się bardzo wysoką prędkością kątową (nawet kilkaset stopni na sekundę) i zwykle trwają od około 20 do 80 ms, w zależności od amplitudy ruchu [4].

Kolejnym istotnym parametrem w charakterystykach postrzegania jest ścieżka wzroku, która pokazuje w jaki sposób poruszał się wzrok osoby badanej po ekranie, które elementy przykuły uwagę osoby badanej, w jakiej kolejności oraz na jak długi czas. Okręgi z numerami przedstawiają kolejne punkty fiksacji, im okrąg jest większy tym dłużej wzrok skupiony był w danym punkcie. Sakkady są zaprezentowane w postaci linii pomiędzy kolejnymi punktami fiksacji. Poniżej przedstawiono w sposób wizualny przykładowe ruchy sakkadowe pieszego zbliżającego się do przejścia dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej podczas terenowych badań eyetrackingowych w porze nocnej.



Rysunek 36. Ścieżka śledzenia wzroku - wygenerowano za pośrednictwem oprogramowania Tobii Pro Lab
Źródło: opracowanie własne.

Mapa ciepła przedstawia obszary punktu skupienia wzroku na ekranie poprzez nałożenie kolorów na obraz. Im cieplejszy obraz, tym dłużej trwała fiksacji wzroku osoby badanej w danym punkcie. Mapa ciepła nie zawiera informacji o kolejności poruszania się wzroku po ekranie, ale w przejrzysty sposób pokazuje, które elementy najmocniej przyciągnęły uwagę użytkownika. Na rysunku 37 przedstawiono graficzną wizualizację

map cieplnych podczas zbliżania się uczestników badan do przejścia dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej w porze dziennej.



Rysunek 37. Mapa ciepła

Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na funkcję i parametry sakkady możemy podzielić na:

- wolicjonalne zmiany fiksacji,
- odruch refiksacyjny,
- sakkady spontaniczne,
- szybką fazę oczopląsu optokinetycznego i przedsionkowego,
- mikrosakkady.

Wolicjonalna zmiana fiksacji umożliwia nam spojrzenie w wybranym przez nas kierunku. Sakkady odruchowe występują niezależnie od naszej woli. Ruchy te są wywołane nagłym pojawieniem się bodźca, który zwrócił naszą uwagę.

Ruchy sakkadowe (skokowe) oczu są to szybkie, precyzyjne i nagłe ruchy spowodowane wzrostem impulsów nerwowych dochodzących do konkretnych mięśni. Ich prędkość dochodzi do 400 stopni/s. Wykonywane są w celu umiejscowienia obrazu obserwowanego obiektu na plamce siatkówki. Umożliwiają natychmiastową zmianę kierunku patrzenia. Są to ruchy nieodczuwalne przez człowieka i przebiegające nieświadomie; np. podczas czytania kolejnych wyrazów w tekście.

Sakkady spontaniczne zdarzają się średnio 20 razy na minutę i służą „skanowaniu” otoczenia. Zadaniem sakkady pojawiającej się w szybkiej fazie oczopląsu przedsionkowego jest zwrot oka w kierunku przeciwnym do ruchu głowy. Sakkady występujące w oczopląsie optokinetycznym kompensuje ruch oka wywołany szybkim ruchem sceny. Mikrosakkady to bardzo niewielkie ruchy oczu. Są one elementem

podsystemu fiksacyjnego. Przeciwdziałają dryfowaniu oka, będącego wynikiem tzw. szumu systemu okoruchowego.

Ruchy śledzące (podążające) oczu są to wolniejsze ruchy skojarzone oczu, które mają na celu utrzymanie obrazu poruszającego się obiektu na dołku środkowym siatkówki lub utrzymanie na nim obrazu nieruchomego, podczas gdy dochodzi do poruszania głową. Prędkość tego typu ruchów oczu dochodzi do około 30 stopni/s.

Według Leigh i Zee rolą ruchów skojarzonych gałek ocznych jest utrzymanie obrazu na siatkówce (zwłaszcza na plamce żółtej) poprzez dostosowanie swojej prędkości do prędkości ruchu otoczenia (rzeczywistej lub względnej), dzięki czemu możemy utrzymywać pojedyncze, wyraźne widzenie. Badacze ci dzielą ruchy skojarzone na dwie kategorie.

Pierwsza kategoria to ruchy, które służą do utrzymywania spojrzenia podczas ruchu głowy lub ruchu otoczenia. Opierają się one na odruchu przedsionkowo- okoruchowym oraz odruchu wzrokowo- okoruchowym. Narządem receptorowym dla tych odruchów jest siatkówka. Ruch pojedynczego obiektu na nieruchomym tle wywołuje reakcję odruchową zwaną reakcją śledzenia, czyli korowy lub plamkowy oczopląs optokinetyczny. Z kolei ruch całego otoczenia wywołuje podkorowy (inaczej siatkówkowy) oczopląs optokinetyczny.

Druga kategoria ruchów to ruchy zapewniające przesuwanie się spojrzenia. Wiążą się one ze stabilizacją obrazu obiektu, który jest odwzorowywany na plamce żółtej dzięki mechanizmowi sakkadowych i śledzących ruchów gałek ocznych (gdy przedmiot zbliża się lub oddala od osoby obserwującej rozważa się też mechanizm ruchów wergencyjnych).

Odruch przedsionkowo- okoruchowy jest odpowiedzią na potrzebę dostosowania ustawienia oczu i utrzymania prawidłowej fiksacji w czasie gwałtownych ruchów głową w różnych płaszczyznach (jednostajnie przyspieszony lub opóźniony ruch). Na przykład: obrót głowy w prawo wywołuje ruch gałek ocznych w lewo w ten sposób, że obraz na siatkówce nie ulega przesunięciu i pozostaje stabilny w dołku środkowym. Początek łuku odruchowego znajduje się w obwodowej części układu równowagi w uchu wewnętrznym. Ruch gałek ocznych w stronę przeciwną do ruchu to wolna faza oczopląsu (prędkość poniżej 100°/s). W mechanizmie odruchu sakkadowego dojdzie do szybkiego, skokowego ruchu gałek ocznych w kierunku ruchu głowy i ich powrotu do położenia centralnego, jest to szybka faza oczopląsu.

Gdy głowa lub otoczenie porusza się wolnym ruchem (jednostajnym), uruchamia się mechanizm odruchu wzrokowo-okoruchowego (optokinetycznego). Faza wolna oczopląsu to powolne, ciągłe ruchy gałek ocznych w stronę ruchu otoczenia (prędkość poniżej 100°/s). Mechanizm odruchu sakkadowego uruchamia szybkie, skokowe ruchy gałek ocznych (faza szybka), ustawiając oczy w pozycji centralnej. Do głównych zaburzeń ruchów skoniugowanych zaliczane są niestabilna fiksacja powodująca niemożność utrzymania obrazu obserwowanego obiektu oraz dysfunkcja ruchów sakkadowych i śledzących

Zaburzenia ruchów gałek ocznych są problemami złożonymi. Mogą dotyczyć motoryki (niedowładu mięśni), zmian neurologicznych lub psychologicznych (najczęściej spotykane).

Zaburzenia ruchów sakkadowych cechują się zmniejszoną dokładnością sakkad, dłuższym czasem reakcji sakkady oraz zmniejszoną liczbą sakkad regresywnych (powrotnych). Mają szczególnie negatywny wpływ na naukę i proces czytania, a także utrudniają wykonywanie innych czynności wykorzystujących pracę układu wzrokowego.

5.6 Metoda badań eksperckich

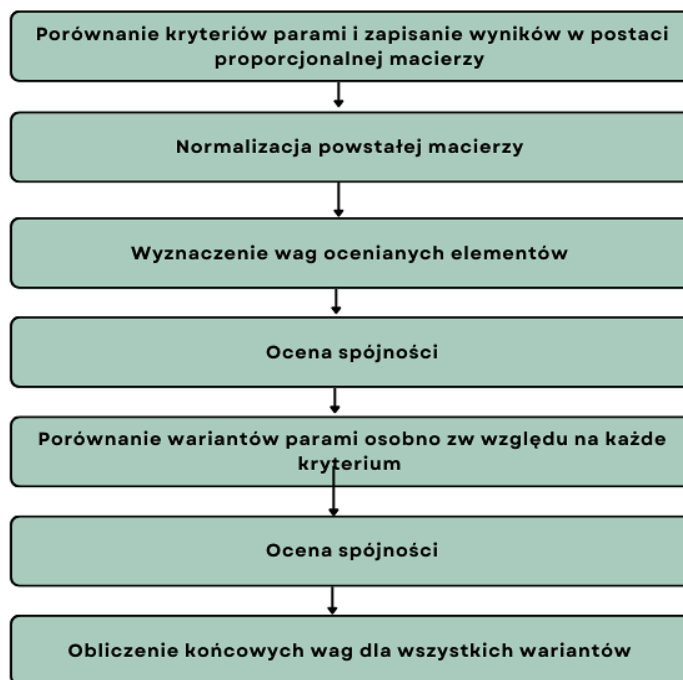
W celu zgłębienia problemu P4: „Zróznicowanie reakcji kierowców w strefach dojazdu do przejść uzasadnia potrzebę identyfikacji kluczowych bodźców wywołujących zachowania prewencyjne” i odpowiedzi na pytanie: „Jakie czynniki najsilniej stymulują kierowcę do podjęcia decyzji o prewencyjnej redukcji prędkości i ustąpieniu pierwszeństwa pieszemu” zastosowano metodę badań eksperckich.

Dzięki przeprowadzeniu komplementarnych i wielowątkowych badań możliwe było obiektywne i ilościowe oszacowanie determinant bezpieczeństwa. Przeprowadzono również badania z wykorzystaniem metody wielokryterialnej analizy problemów decyzyjnych. Metoda ta została zaadaptowana do wyznaczenia wag poszczególnych determinant wpływających na bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej. Rozwiązywanie zagadnień wielokryterialnych nazywane jest w literaturze wielokryterialną analizą decyzyjną MCDA (ang. Multi-Criteria Decision Analysis) lub wielokryterialnym podejmowaniem decyzji MCDM (ang. Multi-Criteria Decision-Making) [114]. Metody MCDA można podzielić ze względu na sposób, w jaki wyrażony jest cel analizy. Pierwszą grupę stanowią metody docelowego

wspomagania decyzji, w których zbiór wariantów jest ciągły i zawiera nieskończoną liczbę wariantów do rozwiązania. Druga grupa to metody wieloatrybutowe wspomagania decyzji, w których liczba wariantów jest ograniczona, a decyzję podejmuje się na podstawie ustalonych kryteriów. Do tej grupy metod MCDA zalicza się między innymi metodę AHP (ang. Analytic Hierarchy Process) [81].

Metoda ta ma szczególne zastosowanie w przypadku wielokryterialnych (wielocelowych) decyzji. Służy przede wszystkim do porównywania wariantów decyzyjnych, chociaż możliwe jest też dokonywanie ocen o charakterze diagnostycznym. W obu podejściach wartości ocen pozyskuje się od użytkowników i respondentów znających charakterystyki ocenianych obiektów, metodą wywiadu bezpośredniego lub przez uporządkowanie wariantów. Metoda AHP znajduje zastosowanie w podejmowaniu decyzji w wielu dziedzinach, takich jak zarządzanie środowiskiem, ekonomia, inżynieria lub przemysł [10]. Nowoczesne metody wspomagania podejmowania decyzji są coraz częściej wykorzystywane także do realizacji procesów logistycznych [105]. Przedsiębiorcy wykorzystują metodę AHP w podejmowaniu decyzji takich jak wybór optymalnej lokalizacji centra logistycznego, odpowiedniego dostawcy materiału, lub rodzaju transportu [92].

W celu zastosowania metody AHP należy postępować zgodnie z procedurą budowy modelu (rysunek 38).



Rysunek 38. Etapy metody AHP

Źródło: opracowanie własne na podstawie Jarocka M., Struglewska N., „Zastosowanie metody AHP do wyboru wózka widłowego w przedsiębiorstwie produkcyjnym”, Akademia Zarządzania, 2023, Str. 310-322.

Struktura hierarchiczna stosowana w badaniu składa się z celu głównego umieszczonego na najwyższym poziomie oraz analizowanych czynników znajdujących się na poziomie niższym. Kryteria te poddawane są porównaniom parami, co pozwala na określenie ich względnej ważności oraz wpływu na poziom ryzyka w ramach przyjętej adaptacji metody [100].

Ocena ta ma charakter subiektywny, a w celu jego ujednolicenia stosuje się skalę porównawczą [93].

Tabela 9. Skala porównawcza dla metody AHP

OCENA SŁOWNNA	OCENA NUMERYCZNA
JEDNAKOWE ZNACZENIE	1
SŁABA LUB UMIARKOWANA	3
DUŻA PRZEWAGA	5
BARDZO DUŻA PRZEWAGA	7
ABSOLUTNA PRZEWAGA	9
OCENY POŚREDNIE DLA PORÓWNAŃ POMIĘDZY	2,4,6,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Stoltmann A., „Application of AHP method for comparing the criteria used in locating wind farms”, 2015, Str. 187-190.

Im wyższa jest liczba punktów, tym dane kryterium jest ważniejsze od drugiego. Stosuje się tu jednak zasadę odwrotności preferencji, co oznacza, że jeśli pierwszy element jest istotniejszy od drugiego, to element drugi jest proporcjonalnie mniej istotny od pierwszego. Wyróżnia się trzy możliwe sytuacje:

- pierwszy i drugi element są tak samo ważne (ocena: 1),
- pierwszy element jest istotniejszy od drugiego (ocena: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9),
- drugi element jest istotniejszy od pierwszego (ocena: 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9).

Oceny zapisywane są w postaci symetrycznej macierzy kwadratowej $A = [a_{ij}]$, której elementy stanowią wyrażone liczbowo preferencje.

Kolejnym krokiem w metodzie AHP jest normalizacja macierzy A , czyli przekształcenie jej w macierz $B = [b_{ij}]$ wzór (2).

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

gdzie:

- n – liczba kryteriów,
- a – element macierzy A,
- b – element macierzy B.

Następnie, wyznacza się wagi ocenianych elementów (w_i), które stanowi średnia arytmetyczna wartości w wierszach macierzy B (wzór 3).

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad (3)$$

gdzie:

- w – waga elementu,
- n – liczba kryteriów,
- b – element macierzy B.

W celu sprawdzenia konsekwencji logicznej porównania dokonanego w macierzy A, weryfikuje się jego spójność. Do oceny spójności wykorzystuje się dwie miary. Pierwszą z nich jest indeks spójności CI (wzór 4), rosnący wraz ze wzrostem niespójności szacunków.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

gdzie:

- CI – indeks spójności,
- λ_{max} – maksymalna wartość własna macierzy A,
- n – liczba kryteriów.

Drugą miarą jest wskaźnik spójności CR (wzór 5), który stanowi stosunek CI do średniej wartości indeksów spójności losowych porównań parami r .

$$CR = \frac{CI}{r} = \frac{\lambda_{max} - n}{r(n-1)} 100\% \quad (5)$$

gdzie:

- CI – indeks spójności,
- r – średnia wartość indeksów spójności losowych porównań parami,
- λ_{max} – maksymalna wartość własna macierzy A,
- n – wymiar macierzy.

Oceny eksperta są spójne, jeśli stosunek CR do r jest nie większy niż 0,1. Wartość r jest różna w zależności od wymiaru macierzy n . Przyjmuje się zazwyczaj wartości r określone w tablicy RI (tabela 10).

Tabela 10. Losowy indeks niezgodności (RI)

Rząd macierzy	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Indeks losowy	0,00	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

Źródło: opracowanie własne na podstawie: opracowanie własne na podstawie: Stoltmann A., „Application of AHP method for comparing the criteria used in locating wind farms”, 2015, Str. 187-190.

Praktyczną zasadą AHP jest to, aby wartość CR :

- dla macierzy (3x3) była mniejsza lub równa 5%,
- dla macierzy (4x4) była mniejsza lub równa 8%,
- dla większych macierzy powinna wynosić nie więcej niż 10% ($CR \leq 10$).

Pierwszym krokiem badania spójności jest obliczenie maksymalnej wartości własnej (λ_{max} – macierzy A (wzór 6)).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i}, \quad (6)$$

gdzie:

- n – liczba kryteriów,
- w – waga kryterium,
- Aw – iloczyn elementu macierzy i wagi.

Kolejnym krokiem metody AHP jest porównanie wariantów parami ze względu na każde kryterium osobno oraz weryfikacja spójności wyników. Obliczeń tych dokonuje się przez zastosowanie takich samych wzorów, których używa się do

porównania kryteriów.

Końcowym etapem procedury jest sprawdzenie, który wariant będzie najlepszy, biorąc pod uwagę kryteria i wagi wszystkich elementów struktury hierarchicznej. Decyzji tej dokonuje się na podstawie obliczenia sumy iloczynów wag wszystkich kryteriów i równorzędnym wagom wariantów (wzór 7).

$$u_i = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij}, \quad (7)$$

gdzie:

- n – liczba kryteriów,
- u_i – końcowa waga i-tego wariantu,
- w_j – waga j-tego kryterium,
- v_{ij} – waga i-tego wariantu względem j-tego kryterium.

Przedmiotowe opracowanie zawiera szereg analiz dotyczących 100 wypadków, z podziałem na województwa z największą liczbą wypadków, najmniejszą liczbą wypadków, województwem śląskim oraz z tak zwanymi czarnymi punktami. Wywiadów bezpośrednich, w których udział wzięła grupa 550 osób w tym policjantów, biegłych sądowych, kierowców zawodowych, pracowników Instytutu Transportu Samochodowego oraz pracowników uczelni Wyższych. Następnie dokonano analizy Audytu przeprowadzonego na zlecenie miasta stołecznego Warszawa, za pośrednictwem Zarządu Dróg Miejskich w Warszawie, gdzie przeanalizowano ponad 4 tysiące przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej, następnie badań terenowych eyetrackingowych, ponad 28 godzin prób, przejazdów zarówno w porze dziennej jak i nocnej oraz przejść przez przejścia dla pieszych, badań symulatorowych w Instytucie Transportu Samochodowego wykonanych dla grupy 32 uczestników na pełnowymiarowym symulatorze o 6 stopniach swobody.

W tym przypadku metoda ta została wykorzystana do określenia istotności wag dla poszczególnych determinant bezpieczeństwa zwiększających bezpieczeństwo na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej.

Rozdział 6 Analiza wyników badań

6.1 Badania obserwacyjne

6.1.1 Badania obserwacyjne zachowań pieszych

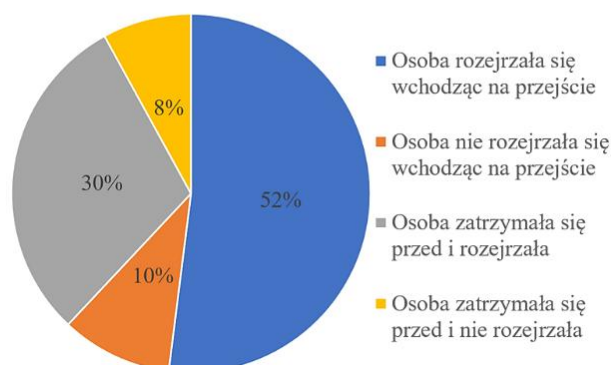
Jednym z celów pośrednich rozprawy doktorskiej była identyfikacja i klasyfikacja zachowań pieszych i kierowców na i w bezpośrednim otoczeniu przejść dla pieszych. W tym podrozdziale przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań obserwacyjnych, obejmujące wyodrębnione typy zachowań oraz ich charakterystykę.

Badania obejmowały obserwację zachowań pieszych w zakresie sposobu wchodzenia na przejście, średniego czasu przejścia przez przejście dla pieszych oraz korzystanie z urządzeń mobilnych. Uzyskane wyniki pozwoliły na wskazanie najczęściej występujących nieprawidłowości oraz identyfikację czynników determinujących zachowania uczestników ruchu w rejonie przejść dla pieszych. Stanowi to podstawę do formułowania rekomendacji w zakresie poprawy bezpieczeństwa.

Poniżej przedstawiono wykresy i wyniki dotyczące czasów pokonywania przejść dla pieszych w zależności od ich rodzaju, wraz z wybranymi parametrami opisującymi zachowania pieszych podczas zbliżania się oraz przechodzenia przez przejścia dla pieszych.



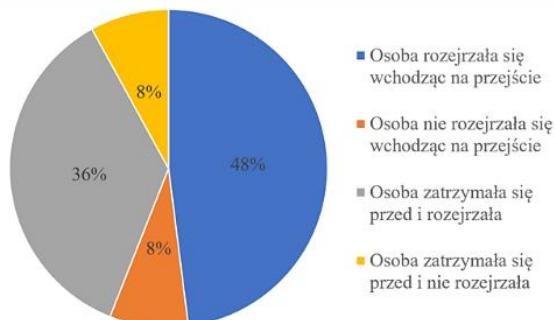
WIEK UCZESTNIKÓW BADANIA	DO 10 LAT	11-18 LAT	19-60 LAT	60+	SUMA
ŚREDNI CZAS PRZEJŚCIA PRZEZ PRZEJŚCIE DLA PIESZYCH [S]	6,5	6,46	6,67	6,55	6,55
MEDIANA [S]	6,6	6,4	6,7	6,35	6,6
ODCHYLENIE STANDARDOWE [S]	0,68	0,7	0,84	1,38	0,96



Rysunek 39. Wyniki badań przeprowadzonych na przejściu dla pieszych z azylem w miejscowości Mysłowice ul. Oświęcimska
Źródło: opracowanie własne.



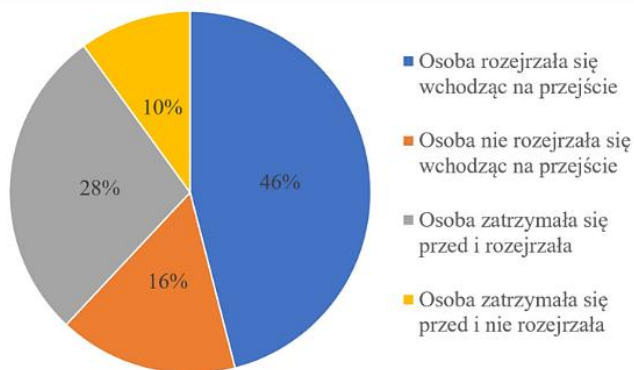
WIEK UCZESTNIKÓW BADANIA	DO 10 LAT	11-18 LAT	19-60 LAT	60+	SUMA
ŚREDNI CZAS PRZEJŚCIA PRZEZ PRZEJŚCIE DLA PIESZYCH [S]	6	6,27	6,55	7,42	6,62
MEDIANA [S]	5,9	6,40	6,35	7,4	6,4
ODCHYLENIE STANDARDOWE [S]	0,47	0,64	0,57	1,1	0,97



Rysunek 40. Wyniki badań przeprowadzonych na przejściu dla pieszych w miejscowości Łędziny – ul. Łędzińska
Źródło: opracowanie własne.

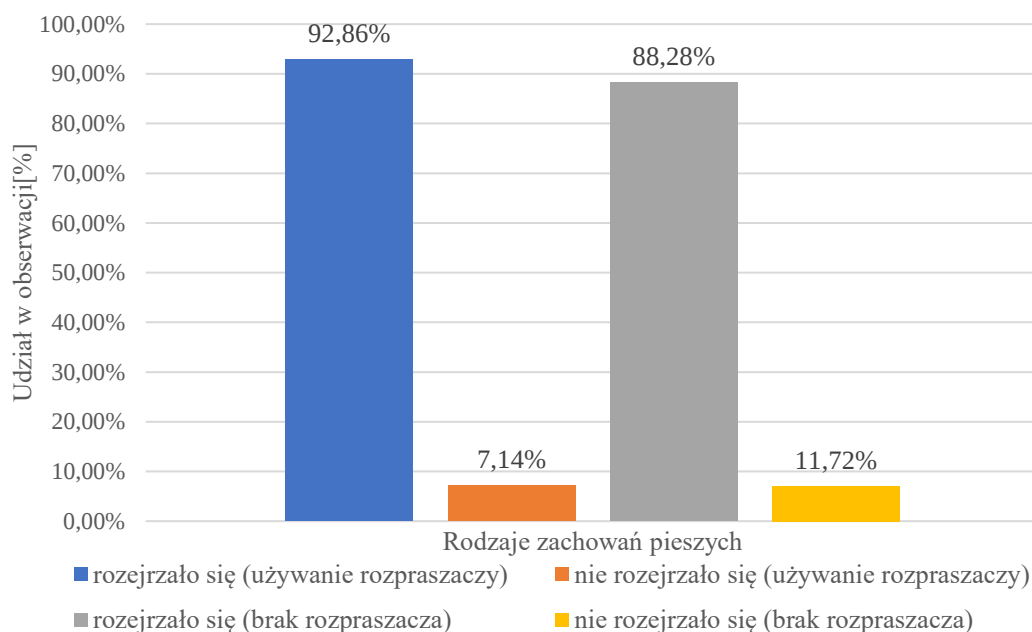


WIEK UCZESTNIKÓW BADANIA	DO 10 LAT	11-18 LAT	19-60 LAT	60+	SUMA
ŚREDNI CZAS PRZEJŚCIA PRZEZ PRZEJŚCIE DLA PIESZYCH [S]	4,15	4,27	4,46	4,94	4,52
MEDIANA [S]	4,19	4,27	4,5	4,95	4,4
ODCHYLENIE STANDARDOWE [S]	0,8	0,79	0,72	0,86	0,78



Rysunek 41. Wyniki badań przeprowadzonych na przejściu dla pieszych w miejscowości Łędziny – ul. Aleksandra Fredry
Źródło: opracowanie własne.

W odniesieniu do grupy 150 pieszych, badanych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej, stwierdzono, że 22 osoby (15%) korzystały z rozpraszaczy (np. słuchawek lub telefonów komórkowych). Pozostałe 128 osób (85%) nie używało urządzeń mogących wpływać na poziom koncentracji.



Wykres 3. Porównanie wpływu rozpraszaczy na zachowania pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej
Źródło: opracowanie własne.

Uzyskane wyniki wskazują, że na przejściach bez sygnalizacji świetlnej, łączny udział pieszych wykazujących zachowania niepożądane, tj. brak rozglądania się po zatrzymaniu oraz brak zatrzymania przed wejściem na przejście, nie przekracza 8% dla danego rodzaju przejścia dla pieszych. Jednak biorąc pod uwagę skutki, zachowanie tego typu jest bardzo niepokojące z punktu widzenia bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Potwierdza to konieczność tworzenia rozwiązań wspierających bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego na przejścia dla pieszych. Systemów mogących w sposób pośredni wpłynąć na zachowania zarówno kierowców, jak również pieszych w sytuacji opisanej powyżej.

W odniesieniu do zachowań nietypowych występujących na badanych przejściach dla pieszych, takich jak zatrzymanie się pieszego podczas przechodzenia przez przejście dla pieszych, bądź też zawracanie na przejściu, było to sumarycznie 4 incydenty dla grupy wiekowej do 10 lat - dwa przypadki oraz 2 dla grupy wiekowej 18-60 lat.

Dla przejścia z azylem średnia prędkość przechodzenia przez przejście jest porównywalna z przejściem klasycznym składającym się z dwóch pasów jezdni.

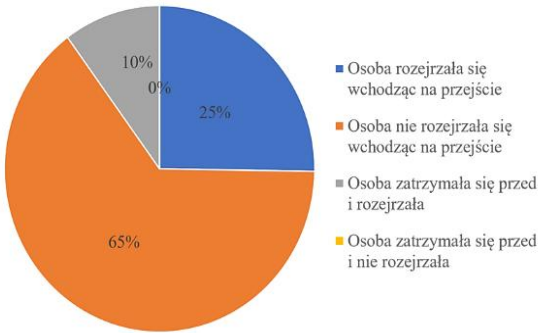
Analizując wyniki dotyczące przejścia dla pieszych z sygnalizacją świetlną zauważa się tendencje dotyczące zachowań niechronionych uczestników ruchu drogowego. W badanej grupie dla tego rodzaju przejść dla pieszych, aż 45% badanych nie upewniło się czy wejście na pasy jest bezpieczne. Osoby skupiły się jedynie na

piktogramie „człowieka” znajdującego się na wysokości wzroku pieszych, po przeciwległej stronie przejścia. Zachowanie to jest niepokojące, ponieważ w sytuacji w której kierowca nie dostosowałby się do przepisów ruchu drogowego i nie zatrzymał na wyświetlanym czerwonym świetle zbliżając się do przedmiotowego przejścia, mogło by dojść do najechania na pieszego, a w konsekwencji do bardzo poważnych obrażeń. Przejścia dla pieszych z sygnalizacją świetlną traktowane są jako te najbezpieczniejsze, jednak nawet w odniesieniu do przejść tego typu zdarzają się sytuacje, w których dochodzi o potrącenia pieszych z różnych względów.

Zgodnie ze statystykami Komendy Głównej Policji Biuro Ruchu Drogowego opublikowanego w 2024 roku, w samym roku 2023 wypadki z winy pieszych polegające na wejściu na jezdnię przy czerwonym świetle to 98 incydentów, co stanowi 9.7% wszystkich wypadków, z czego doprowadziło to do 12 wypadków śmiertelnych. Głównym problemem tego typu przejść dla pieszych jest fakt, iż kierowca nie spodziewa się pojawiającego się pieszego na jezdni, kiedy na sygnalizatorze wyświetlane jest światło koloru zielonego, zezwalającego na przejazd pojazdu, tym samym zakazującego pieszemu pojawienie się na pasach.



WIEK UCZESTNIKÓW BADANIA	DO 10 LAT	11-18 LAT	19-60 LAT	60+	SUMA
ŚREDNI CZAS PRZEJŚCIA PRZEZ PRZEJŚCIE DLA PIESZYCH [S]	6	6,7	6,9	6,93	6,73
MEDIANA [S]	6	6,3	6,9	6,55	6,6
ODCHYLENIE STANDARDOWE [S]	0,91	0,93	0,92	1,33	1,09



Rysunek 42. Wyniki badań przeprowadzonych na przejściu dla pieszych w miejscowości Mysłowice
 Źródło: opracowanie własne.

6.1.2 Badania pomiarów prędkości kierowców zbliżających się do przejść dla pieszych

Kolejnym etapem badań była analiza prędkości zbliżania się do przejść dla pieszych dla grupy 900 kierowców. Kierowcy, którzy używali jakiegokolwiek z rozpraszaczy zbliżali się ze średnią prędkością 53,7 km/h (± 3 km/h). Grupa kierowców nie wykonująca podczas jazdy innych czynności, osiągnęła średni wynik 53,8 km/h (± 3 km/h). Wyniki te są bardzo zbliżone i nie zauważa się korelacji pomiędzy używaniem rozpraszaczy, a zwiększoną prędkością zbliżania się do przejść dla pieszych dla badanej próby.

Dodatkowo zgodnie z raportem Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego „Badania zachowań pieszych i relacji pieszy-kierowca wrzesień grudzień 2018, wynika że w obszarach o dopuszczalnej prędkości równej 50 km/h to jest w obszarach zlokalizowanych w miastach i małych miejscowościach, 85% kierowców przekracza dopuszczalną prędkość dojeżdżając do wyznaczonego przejścia dla pieszych. Wykonując pomiary z 30 metrów przed przejściem dla pieszych dla grupy 900 kierowców w roku 2023 grupa przekraczająca dozwoloną prędkość było to 49% kierowców (badania własne). Zmiana ta może mieć związek ze zmianą taryfikatora. W roku 2018 maksymalny mandat za przekroczenie dozwolonej prędkości wynosił 500 zł, niezależnie od częstości popełnianych wykroczeń. W 2023 roku maksymalna wysokość mandatu wynosiła pięciokrotność tej kwoty - 2500 zł, jednak w przypadku ponownego popełnienia umyślnego przestępstwa, kwota ta wzrasta do 5000 zł. Może to być bardzo istotny czynnik wpływający na zachowania kierowców.

Przeprowadzone badania wykazały, że największa liczba wskazań dla zachowań niewłaściwych podczas prowadzenia pojazdu mechanicznego podczas zbliżania się do badanych przejść dla pieszych miało miejsce dla rozmów kierowcy z innym pasażerem, na kolejnej pozycji znajduje się używanie telefonu do innych czynności niż rozmowa, następnie rozmowa przez telefon w sposób klasyczny to jest poprzez przyłożenie urządzenia do ucha, co dodatkowo powoduje zmniejszenie możliwości kontroli pojazdu w przypadku gdy na jezdni pojawi się człowiek lub wystąpi zagrożenie kolizji z innym pojazdem mechanicznym.



Wykres 4. Podsumowanie zachowań niebezpiecznych dla grupy 900 kierowców

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie uzyskanych wyników, można stwierdzić że korzystanie z telefonów komórkowych do różnych czynności przez uczestników ruchu drogowego w sposób istotny wpływa na wzrost zagrożenia w ruchu drogowym. Zgodnie z danymi z roku 2023 według Instytutu Transportu Samochodowego opierając się o statystyki policyjne, co czwarty wypadek w Polsce może być spowodowany używaniem telefonu komórkowego przez kierowcę. Nawet krótkie spojrzenie na telefon odbiera uwagę kierowcy na 5 sekund, co zwiększa ryzyko wypadku sześciokrotnie [93].

Dla perspektywy oderwanie wzroku na sekundę przy prędkości 100 km/h oznacza przejechanie około 28 metrów bez uwagi kierowcy. Do tego typu zdarzeń trzeba również doliczyć średni czas reakcji człowieka, który wynosi około 1 sekundy.



Rysunek 43. Miejsce realizacji badań prędkości pojazdów zbliżających się do przejścia dla pieszych

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 43 przedstawiono jedno z wybranych przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej, na którym prowadzono badania dotyczące zachowań pieszych i innych uczestników ruchu drogowego, jak również zachowania, w szczególności prędkość z jaką poruszali się kierowcy pojazdów mechanicznych zbliżający się do przedmiotowej lokalizacji.

Tabela 11. Przykładowe wyniki pomiarów dla pojazdów nr 1 oraz nr 2

Pojazd	Czas	Prędkość [km/h]
1	08:00:15	51
1	08:00:16	54
1	08:00:17	56
1	08:00:18	56
1	08:00:19	57
2	08:01:20	42
2	08:01:21	43
2	08:01:22	44
2	08:01:23	47
2	08:01:24	50

Źródło: opracowanie własne.

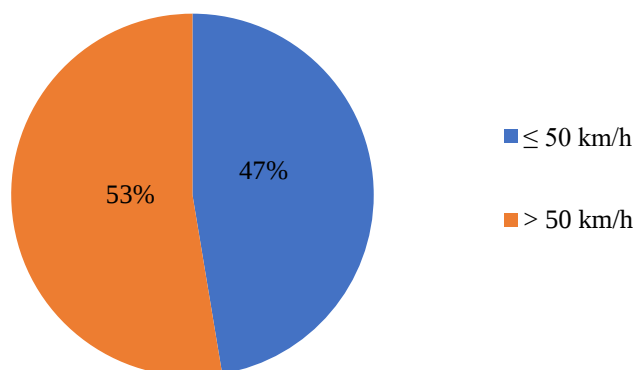
Tabela 12. Przykładowe wyniki pomiarów dla pojazdów nr 899 oraz nr 900

Pojazd	Czas	Prędkość [km/h]
899	23:16:48	51
899	23:16:49	51
899	23:16:50	54
899	23:16:51	57
899	23:16:52	58
900	23:17:21	51
900	23:17:22	54
900	23:17:23	55
900	23:17:24	56
900	23:18:25	56

Źródło: opracowanie własne.

Przedstawione tabele 11 oraz 12 zawierają parametry dla dwóch pierwszych oraz kolejno ostatnich prędkości pojazdów jakie zostały zarejestrowane dzięki wykorzystaniu radaru mikrofalowego. Przedstawione zostały również informacje o czasie, co również

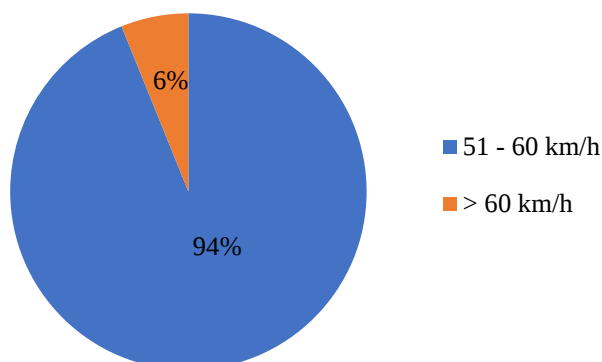
jest wskazówką dla możliwości wykorzystania tożsamyh rozwiązań w kontekście systemów zwiększających bezpieczeństwo, ze względu na ich ogromną skuteczność w normalnych warunkach ruchowych.



Wykres 5. Wyniki analizy dla prędkości zbliżania się do przejścia dla pieszych

Źródło: opracowanie własne.

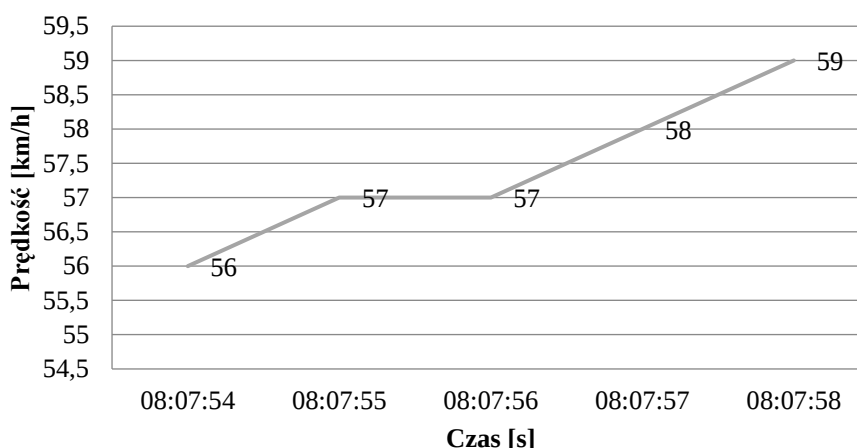
Na wykresie 5 przedstawiono wyniki analizy prędkości pojazdów zbliżających się do przejścia dla pieszych w terenie zabudowanym. Dane opracowano na podstawie własnych pomiarów, obejmujących 900 zarejestrowanych pojazdów. Z analizy wynika, że 53% kierowców przekraczało prędkość 50 km/h podczas zbliżania się do przejścia, natomiast 47% poruszało się z prędkością równą lub niższą niż 50 km/h. Wyniki te wskazują, że ponad połowa kierowców nie przestrzegała ograniczenia prędkości w pobliżu przejść dla pieszych, co zwiększa ryzyko wypadków i utrudnia bezpieczne poruszanie się pieszych. Nawet niewielkie przekroczenie prędkości w terenie zabudowanym znacząco wydłuża drogę hamowania i zwiększa ryzyko poważnych obrażeń w przypadku potrącenia.



Wykres 6. Wyniki analizy dla prędkości zbliżania się do przejścia dla pieszych

Źródło: opracowanie własne.

Przekroczenie prędkości powyżej 60 km/h w terenie zabudowanym wiąże się z krytycznym wzrostem możliwości wystąpienia wypadku drogowego, co w przypadku potrącenia pieszego wiąże się z ogromnym ryzykiem śmierci poszkodowanego.



Wykres 7. Przykładowe analizy prędkości zbliżania się pojazdów do badanego przejścia dla pieszych – Zdarzenie-4

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie zarejestrowanych danych podczas analizy prędkości (wykres 7) stwierdzono, że pojazd poruszał się z prędkością w zakresie 56-59 km/h podczas zbliżania się do badanego przejścia dla pieszych. W analizowanym przedziale czasu widoczny jest stopniowy wzrost prędkości, od 56 km/h o godzinie 8:07:54 do 59 km/h o godzinie 8:07:58. Oznacza to, że kierujący nie podejmował działań zmierzających do redukcji prędkości przed przejściem dla pieszych, lecz utrzymywał lub nieznacznie zwiększał prędkość jazdy.

6.1.3 Badania zjawiska „fala uprzejmości”

Kolejne badania dotyczyły zjawiska zwanego „falą uprzejmości”. Badana grupa obejmowała 88 pieszych. Analizując wyniki badań można zauważyć, że tylko 12 % badanych w sytuacji, w której do przejścia zbliżały się pojazdy z obu kierunków, oczekiwały na wyraźny sygnał o zmniejszeniu prędkości bądź zatrzymaniu obu pojazdów. Pozostała grupa badanych wchodziła na przejście dla pieszych po zatrzymaniu bądź zmniejszeniu prędkości tylko przez jeden pojazd. Zachowanie to może być bardzo ryzykowne, ponieważ wymuszanie pierwszeństwa w takiej sytuacji może prowadzić do sytuacji, w której niechroniony uczestnik ruchu drogowego zostanie potrącony przez nadjeżdżający pojazd.



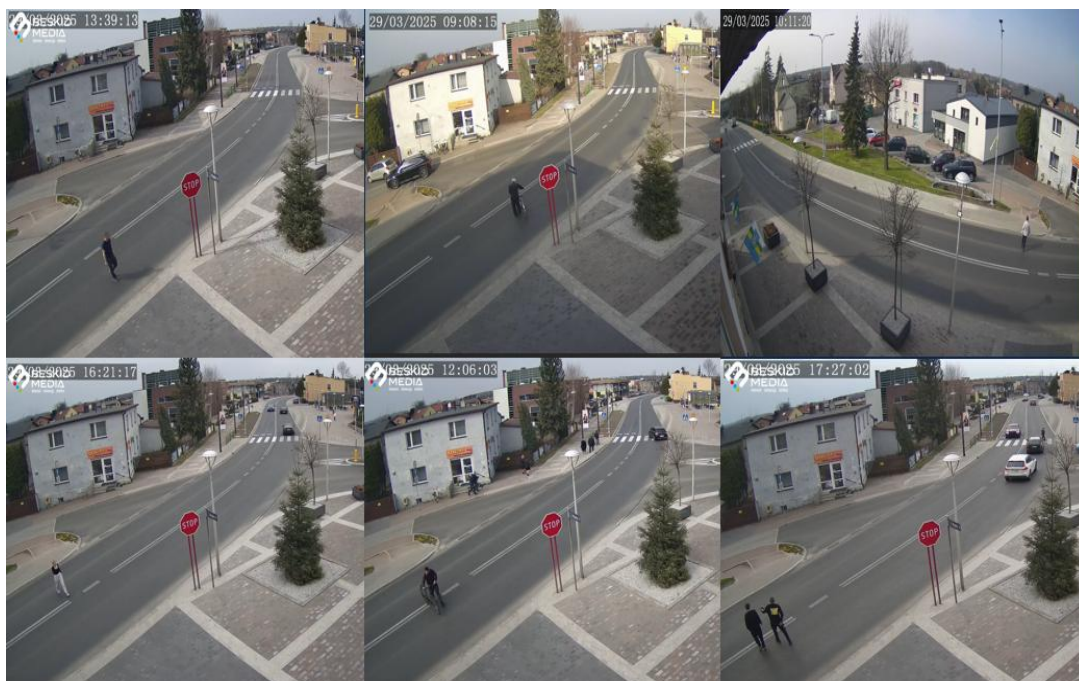
Rysunek 44. Miejsce realizacji badań prędkości pojazdów zbliżających się do przejścia dla pieszych
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 13. Przykładowe próby przejść, badanie „fala uprzejmości”

Przypadek	Czas oczekiwania [s]	Liczba zatrzymanych pojazdów	Rodzaj pojazdu, który wykonał zatrzymanie jako pierwszy	Warunki pogodowe	Zachowanie	Data i godzina
1	8	2	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 08:08:00
2	5	2	Pojazd dostawczy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 08:37:00
3	12	2	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 09:02:00
4	9	2	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 09:31:00
5	6	5	Autobus	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 09:39:00
6	8	2	Autobus	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 09:53:00
7	11	3	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 10:02:00
8	4	2	Autobus	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 10:15:00
9	8	2	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli po zatrzymaniu dwóch pojazdów	2025-03-27 10:43:00
10	12	5	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 10:50:00
11	12	7	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 11:11:00
12	9	5	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 11:18:00
13	6	3	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 11:38:00
14	5	4	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 11:46:00
15	9	2	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 12:08:00
16	9	3	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 12:29:00
17	4	3	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 12:40:00
18	7	2	Pojazd dostawczy	dobre warunki pogodowe	Weszli po zatrzymaniu dwóch pojazdów	2025-03-27 13:08:00
19	6	3	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 13:35:00
20	3	2	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 13:44:00
21	9	4	Autobus	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 14:00:00
22	7	2	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 14:21:00
23	3	2	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 14:48:00
24	6	2	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli od razu po zatrzymaniu lub zmniejszeniu prędkości 1 pojazdu	2025-03-27 15:05:00
25	2	4	Samochód osobowy	dobre warunki pogodowe	Weszli po zatrzymaniu dwóch pojazdów	2025-03-27 15:32:00

Źródło: opracowanie własne.

Skoncentrowano się na sprawdzeniu czy trasy wyznaczone wcześniej przez niechronionych uczestników ruchu drogowego, jeszcze przed powstaniem przejść dla pieszych w danej lokalizacji są przez nich wykorzystywane. Przeanalizowano także czy korzystają oni z nich w zastępstwie za klasyczne przejścia dla pieszych na dużą skalę. Jako punkt obserwacji wybrano miejsce, które znajduje się w odległości około 40 metrów od jednego z dwóch przejść analizowanych w badaniu „fala uprzejmości”, drugie z tych przejść znajduje się około 50 metrów w przeciwnym kierunku.



Rysunek 45. Miejsce niedozwolone do przejścia

Źródło: opracowanie własne.

Motywacją do tego typu działań jest fakt, iż w badanym miejscu doszło do wypadku śmiertelnego z udziałem pieszego. Przeprowadzona analiza wskazuje że dla miasta, w którym mieszka 9 tysięcy osób tylko w przeciągu 5 godzin pomiaru doszło do 7 wykroczeń związanych z przejściem w niedozwolonym miejscu, określonym mianem czarnego punktu. Analizując inne dane wnioskuje się, że pomimo stworzenia dodatkowego przejścia dla pieszych w odległości zaledwie 40 metrów od wskazanego miejsca liczba osób korzystających z czarnego punktu to 5% dla badanej grupy, całkowita liczba osób korzystających z przejścia to 146 osób, w tym czasie 7 osób skorzystało z punktu niedozwolonego.

6.2 Badania statystyczne

Badanie dotyczy analizy stu zdarzeń wypadkowych z przyporządkowanym numerem zdarzenia. Następnie stworzony został podział zdarzeń zgodnie z bazą Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji, ma to na celu możliwość uwierzytelnienia przedstawionych danych na oficjalnych państwowych portalach i walidację badania.

Kolejnym etapem było segregowanie uzyskanych danych w odniesieniu do skutku wypadku dla osoby poszkodowanej. Osoba ta mogła być lekko ranna, ciężko ranna, bądź mógł to być wypadek w skutkach śmiertelny. Analizowano czy kierowcy byli pod wpływem alkoholu bądź innych środków odurzających, dotyczyło to zarówno obszaru zabudowanego jak i niezabudowanego. Bardzo istotnym czynnikiem były również warunki atmosferyczne podzielono je na warunki dzienne i nocne wraz z podkategoriami. Wzięto pod uwagę ograniczenie prędkości na analizowanym przejściu dla pieszych.

Następnym elementem analizy był podział na wiek kierowcy oraz wiek poszkodowanego zgodnie z oficjalnymi statystykami Komendy Głównej Policji. Wzięto pod uwagę rodzaj drogi, stan nawierzchni oraz liczbę lat jaką kierowca posiada uprawnienia do kierowania pojazdem mechanicznym. Analizowano również rodzaj pojazdu i profil drogi. Prowadząc badania skupiano się na przyczynie wypadku, dacie oraz godzinie zdarzenia. Opracowanie zawiera również obszerny komentarz dotyczący wykonanych badań między innymi in situ celem określenia panujących warunków na przedmiotowych przejściach dla pieszych celem wskazania zagrożeń mających wpływ na bezpieczeństwo na wskazanych przejściach dla pieszych z analizą tego co mogło mieć wpływ na wystąpienie wypadku. Ta analiza była kluczowa celem wyznaczenia determinant bezpieczeństwa odnoszących się do przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej i pomogła w opracowaniu metody oceny przejść dla pieszych metodą wielokryterialną.



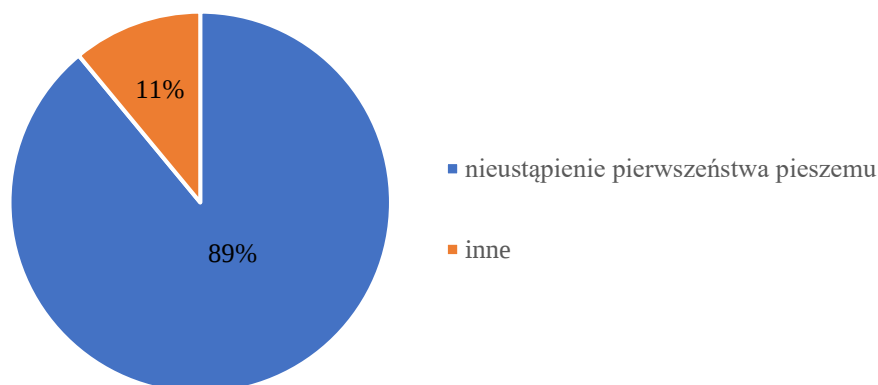
Rysunek 46. Przykładowe miejsce wystąpienia kolizji z udziałem niechronionych uczestników ruchu drogowego

Źródło: OpenStreetMap.

Przykładowa analiza dwóch przejść dla pieszych znajdujących się w odległości 100 metrów w ciągu drogi Granitowej w miejscowości Bieruń woj. śląskie. Droga ta jest drogą dojazdową do zakładu wydobywczego KWK Piast-Ziemowit, sytuacje niebezpieczne wynikać mogą z ilości pasów przed wjazdem na rondo, dodatkowo linie na jednym z pasów są zużyte i niewyraźne. Kolejne dwa przypadki najechania wynikają z dużej liczby pojazdów ustawionych w rzędzie, piesi nie są w stanie zobaczyć czy nie nadjeżdża pojazd, jeśli byłby to na przykład pojazd dostawczy, a takich pojazdów jest tam wiele, ponieważ obok znajduje się punkt załadunkowy KWK Piast Ziemowit oraz dostarczane jest zaopatrzenie sprzętowe przez główną bramę. Kolejny aspekt to brak wygrodzeń, bardzo długie przejście dla pieszych.

Brak wymaganego oświetlenia w rejonie przejścia jak również na samym przejściu, co powoduje że piesi są niewidoczni dla nadjeżdżających pojazdów mechanicznych. Przejście to wykorzystane zostało również do przeprowadzenia innych badań dotyczących widoczności oraz zasadności posiadania elementów odblaskowych, w przypadku kiedy pieszy chce przejść przez przedmiotowe przejście dla pieszych. Zanotowano przykłady sytuacji, w których kierowcy nie byli świadomi obecności pieszych na danym przejściu dla pieszych, nie ustępowali pierwszeństwa pieszym oraz

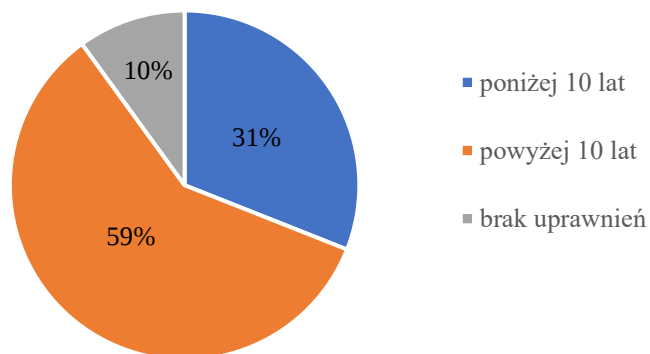
nie zmniejszali prędkości pojazdu. Przejścia tego typu są ogromnym zagrożeniem dla bezpieczeństwa w szczególności niechronionych uczestników ruchu drogowego. Można je uznać za przykład przejścia testowego, ze względu na liczbę osób pokonujących dane przejście, jak również ogromną liczbę pojazdów pokonujących to przejście dla pieszych.



Wykres 8. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – przyczyna wypadku

Źródło: opracowanie własne bazy danych Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

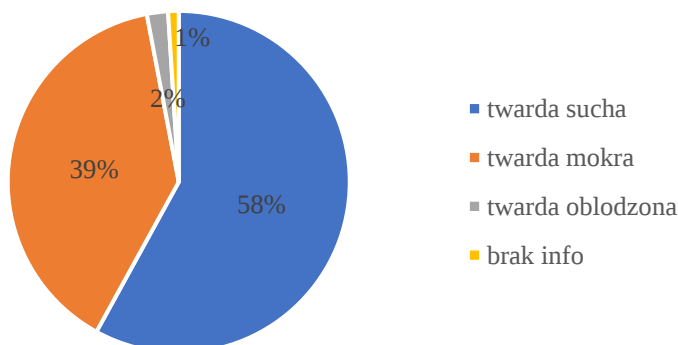
Na wykresie nr 8 przedstawiono podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu do okoliczności ich wystąpienia, ze szczególnym uwzględnieniem przyczyny zdarzenia. Dane pochodzą z opracowania własnego na podstawie bazy Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji. Z przedstawionych informacji wynika, że zdecydowana większość wypadków, aż 89%, była spowodowana nieustąpieniem pierwszeństwa pieszemu. Oznacza to, że niemal 9 na 10 analizowanych zdarzeń miało związek z nieprawidłowym zachowaniem kierującego wobec osoby pieszej, najczęściej na przejściu dla pieszych lub w jego rejonie. Pozostałe 11% wypadków zakwalifikowano do kategorii „inne przyczyny”. Obejmują one różnorodne czynniki, które występowały znacznie rzadziej i nie miały tak istotnego wpływu na ogólną strukturę analizowanych zdarzeń. Wyniki analizy wskazują jednoznacznie, że kluczowym problemem w badanej grupie wypadków jest nieprzestrzeganie przez kierowców obowiązku ustąpienia pierwszeństwa pieszym. Tak wysoki odsetek podkreśla potrzebę intensyfikacji działań prewencyjnych, edukacyjnych oraz kontrolnych w zakresie bezpieczeństwa pieszych w ruchu drogowym.



Wykres 9. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – czas posiadania uprawnień do kierowania pojazdem przez sprawców wypadków

Źródło: opracowanie własne bazy danych Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

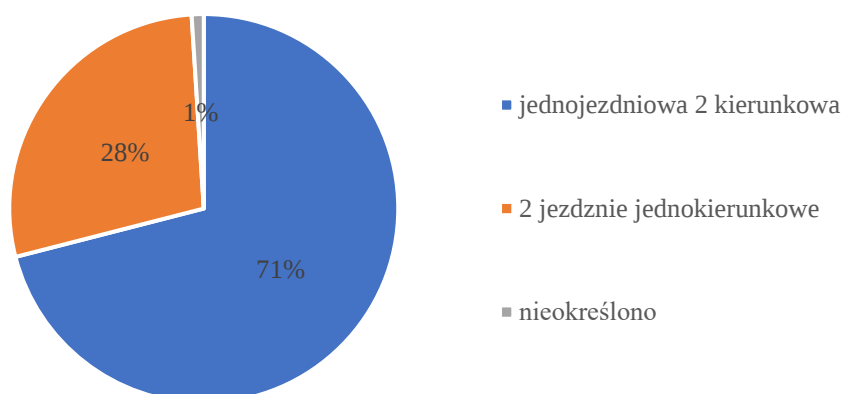
Z analizy przedstawionej na wykresie nr 9 wynika, że największą grupę sprawców stanowili kierowcy posiadający prawo jazdy powyżej 10 lat, było to 59% wszystkich przypadków. Oznacza to, że ponad połowa wypadków została spowodowana przez osoby z relatywnie dużym doświadczeniem w prowadzeniu pojazdów. Kolejną grupę 31% stanowili kierowcy posiadający uprawnienia krócej niż 10 lat. Wskazuje to, że niemal co trzeci sprawca miał stosunkowo krótszy staż za kierownicą. Istotnym elementem analizy jest również fakt, że 10% sprawców nie posiadało w ogóle uprawnień do kierowania pojazdem. Taki odsetek świadczy o poważnym problemie związanym z prowadzeniem pojazdów bez wymaganych kwalifikacji. Podsumowując, dane pokazują, że wypadki nie są wyłącznie domeną kierowców niedoświadczonych, większość sprawców stanowią osoby z wieloletnim stażem. Jednocześnie zauważalny udział osób bez uprawnień podkreśla konieczność wzmożonej kontroli oraz działań prewencyjnych w zakresie przestrzegania przepisów ruchu drogowego.



Wykres 10. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – stan nawierzchni drogowej

Źródło: opracowanie własne bazy danych Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

Z analizy wykresu nr 10 wynika, że większość wypadków miała miejsce na nawierzchni twardej i suchej, 58% przypadków. Oznacza to, że ponad połowa zdarzeń drogowych wystąpiła w warunkach teoretycznie sprzyjających bezpiecznej jeździe, co może wskazywać, że kluczowe znaczenie miały czynniki ludzkie, takie jak błąd kierowcy. Znaczący odsetek wypadków (39%) odnotowano na nawierzchni twardej mokrej. Mokra jezdnia wpływa na wydłużenie drogi hamowania i zmniejszenie przyczepności, co zwiększa ryzyko utraty kontroli nad pojazdem. Niewielki odsetek zdarzeń (2%) miał miejsce na nawierzchni twardej oblodzonej, co może wynikać z rzadszego występowania takich warunków lub zwiększonej ostrożności kierowców w czasie ich występowania. W 1% przypadków brak było informacji dotyczącej stanu nawierzchni. Podsumowując, analiza wskazuje, że wypadki drogowe najczęściej miały miejsce na nawierzchni suchej, co podkreśla znaczenie zachowań uczestników ruchu drogowego jako głównego czynnika wpływającego na bezpieczeństwo. Jednocześnie wysoki udział zdarzeń na nawierzchni mokrej potwierdza, że warunki atmosferyczne również odgrywają istotną rolę w powstawaniu zagrożeń na drodze.

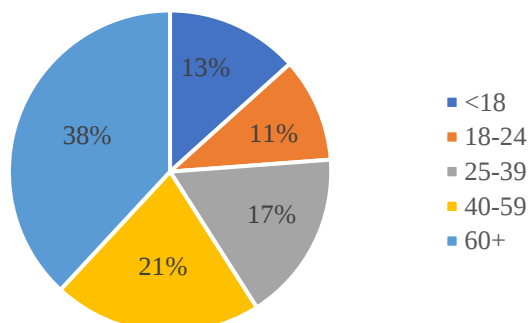


Wykres 11. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu do okoliczności wystąpienia zdarzenia – rodzaj drogi, na której doszło do zdarzeń

Źródło: opracowanie własne bazy danych Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

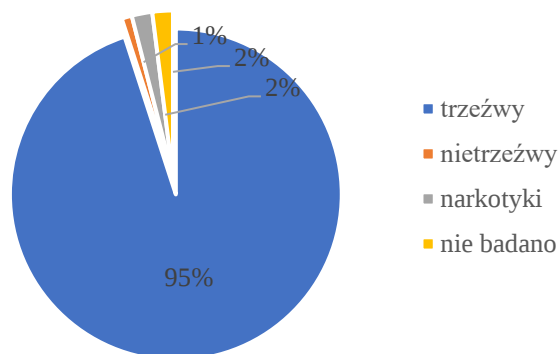
Z analizy wykresu nr 11 wynika, że zdecydowana większość wypadków (71%), miała miejsce na drodze jednojezdniowej dwukierunkowej. Oznacza to, że najczęściej do zdarzeń dochodziło na drogach, po których ruch odbywa się w obu kierunkach po jednej jezdni, co może wiązać się z większym ryzykiem kolizji czołowych, potrąceń pieszych oraz zdarzeń podczas wyprzedzania. Na drogach dwujezdniowych jednokierunkowych odnotowano 28% wypadków. Choć są one zazwyczaj lepiej przystosowane do bezpiecznego prowadzenia ruchu (oddzielenie kierunków jazdy), nadal stanowią miejsce znacznej liczby zdarzeń drogowych. W 1% przypadków nie określono rodzaju drogi, na

której doszło do wypadku. Podsumowując, analiza wskazuje, że najwięcej wypadków miało miejsce na drogach jednojezdniowych dwukierunkowych, co może świadczyć o większym poziomie zagrożenia na tego typu infrastrukturze drogowej.



Wykres 12. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – wiek osób poszkodowanych - pieszych
Źródło: opracowanie własne bazy danych Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

Z analizy wykresu nr 12 wynika, że największą grupę poszkodowanych stanowiły osoby w wieku 60 lat i więcej (38%). Oznacza to, że ponad jedna trzecia wszystkich poszkodowanych pieszych to osoby starsze, co może wskazywać na ich szczególną podatność na skutki wypadków drogowych, wynikającą m.in. z mniejszej sprawności ruchowej czy wolniejszego czasu reakcji. Drugą pod względem liczebności grupą były osoby w wieku 40–59 lat (21%). Następnie osoby w wieku 25–39 lat (17%). Osoby poniżej 18 roku życia stanowiły 13% poszkodowanych, natomiast najmniejszy odsetek dotyczył osób w wieku 18–24 lata (11%). Podsumowując, analiza wskazuje, że najwyższy udział wśród poszkodowanych pieszych mają osoby starsze (60+), co podkreśla potrzebę szczególnej ochrony tej grupy uczestników ruchu drogowego poprzez odpowiednie rozwiązania infrastrukturalne, działania edukacyjne oraz wzmożoną ostrożność kierowców w rejonach przejść dla pieszych.

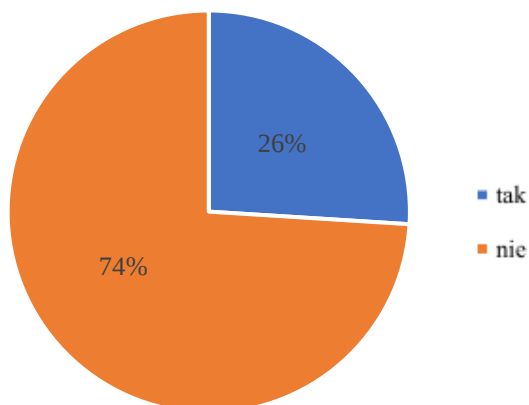


Wykres 13. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – stan trzeźwości kierowców w momencie wystąpienia zdarzenia drogowego

Źródło: opracowanie własne bazy danych Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

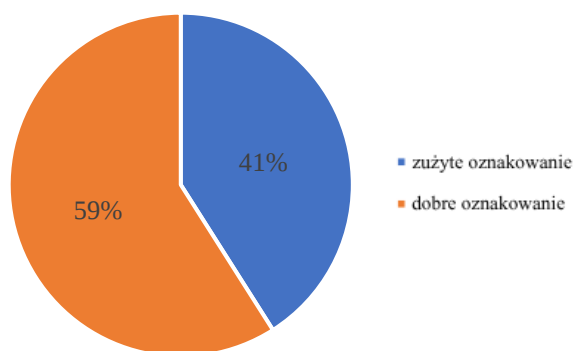
Z analizy wykresu nr 13 wynika, że zdecydowana większość kierowców uczestniczących w wypadkach była trzeźwa, stanowi 95% przypadków. Oznacza to, że niemal wszystkie zdarzenia drogowe w badanej grupie miały miejsce z udziałem kierujących, u których nie stwierdzono obecności alkoholu ani innych środków odurzających. W 2% przypadków stwierdzono obecność narkotyków, natomiast 1% kierowców znajdował się w stanie nietrzeźwości (pod wpływem alkoholu). W 2% zdarzeń nie przeprowadzono badania stanu trzeźwości lub brak było informacji w tym zakresie. Podsumowując, analiza wskazuje, że choć prowadzenie pojazdu pod wpływem alkoholu lub narkotyków stanowi istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu drogowego, w badanej próbie większość wypadków była spowodowana przez kierowców trzeźwych. Może to sugerować, że kluczowe znaczenie w powstawaniu zdarzeń drogowych mają inne czynniki, takie jak nieostrożność, błędy w ocenie sytuacji czy nieprzestrzeganie przepisów ruchu drogowego.

Podsumowano również wyniki dotyczące występowania poszczególnych determinant mających wpływ na bezpieczeństwo na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej, przedstawione poniżej dane odnoszą się sumarycznie do 100 wypadków drogowych z udziałem pieszych.



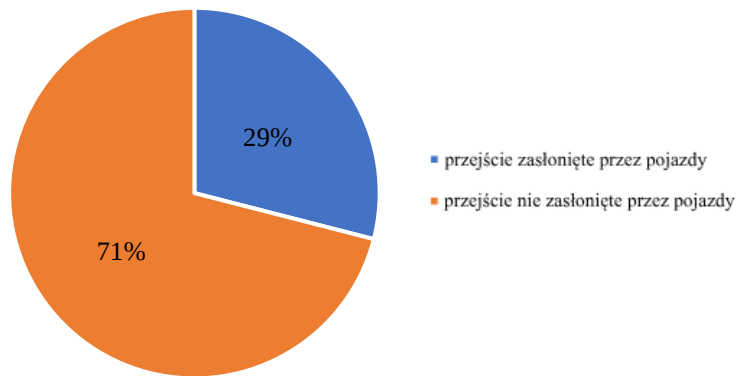
Wykres 14. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia - zbyt długie przejście dla pieszych
Źródło: opracowanie własne bazy danych Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

Analiza 100 wypadków na przejściach bez sygnalizacji wskazuje, że zbyt duża długość przejścia dla pieszych była czynnikiem występującym w 26% zdarzeniach, podczas gdy w 74% przypadków determinanta ta nie została zidentyfikowana. Dane te sugerują, że wydłużony czas przebywania pieszego na jezdni jest istotnym czynnikiem ryzyka, co wskazuje na potrzebę stosowania środków uspokojenia ruchu, takich jak azyle dla pieszych.



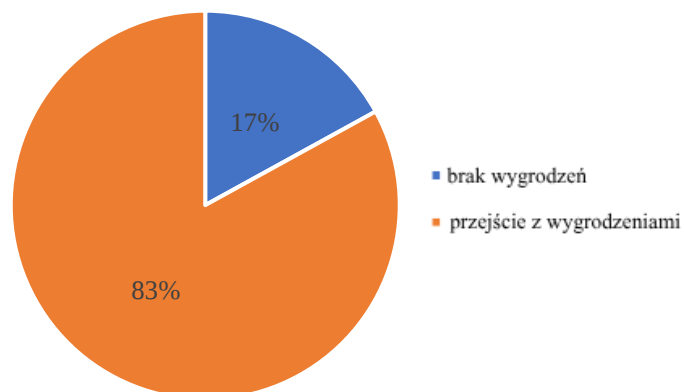
Wykres 15. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – pasy zużyte, niewyraźne
Źródło: opracowanie własne bazy danych Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

Analiza przedstawiona na wykresie nr 15 wykazała, że w 41% przypadków oznakowanie poziome było zużyte lub niewyraźne, podczas gdy w 59% stan pasów był prawidłowy. Wysoki odsetek nieczytelnego oznakowania wskazuje, że zły stan infrastruktury jest istotnym czynnikiem ryzyka, opóźniającym reakcję kierowców.



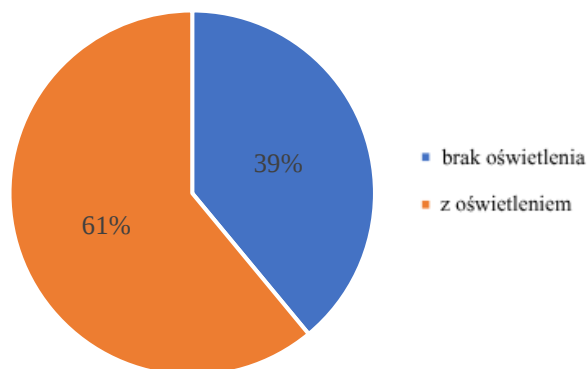
Wykres 16. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – przejście zasłonięte przez pojazdy
Źródło: opracowanie własne bazy danych Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

Otrzymane wyniki wskazują, że choć zasłonięcie przejścia przez pojazdy nie stanowiło dominującej okoliczności w analizowanej próbie, to jednak występowało w niemal co trzecim wypadku, co może świadczyć o istotnym znaczeniu tej determinanty w kontekście bezpieczeństwa pieszych.



Wykres 17. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – brak wygrodzeń, zbyt mały azyl
Źródło: opracowanie własne bazy danych Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

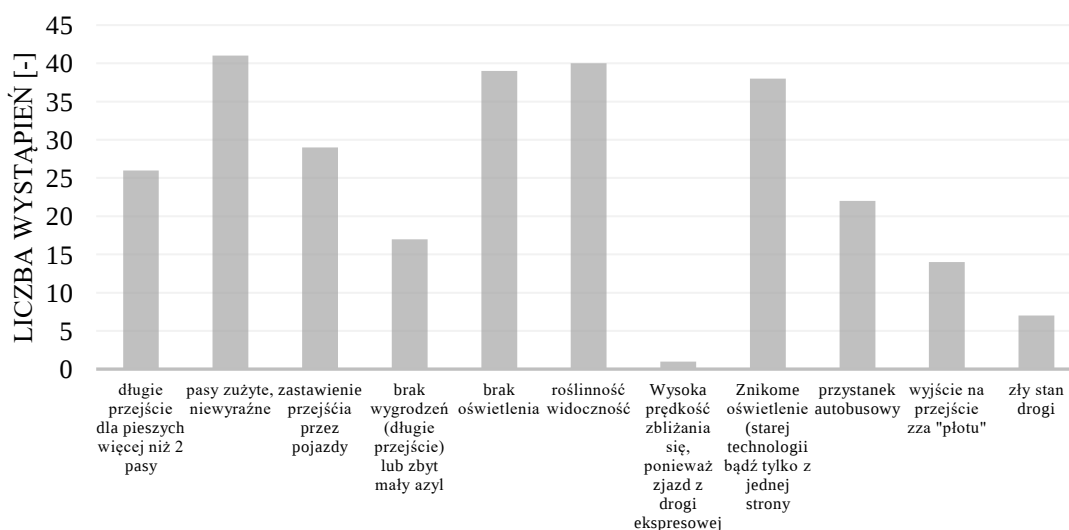
Uzyskane rezultaty wskazują, że brak wygrodzeń lub zbyt mały azyl nie stanowiły dominującej przyczyny wypadków w badanej próbie, jednak ich obecność w niemal co szóstym zdarzeniu może świadczyć o znaczeniu właściwego kształtowania infrastruktury drogowej w kontekście poprawy bezpieczeństwa pieszych.



Wykres 18. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – brak oświetlenia

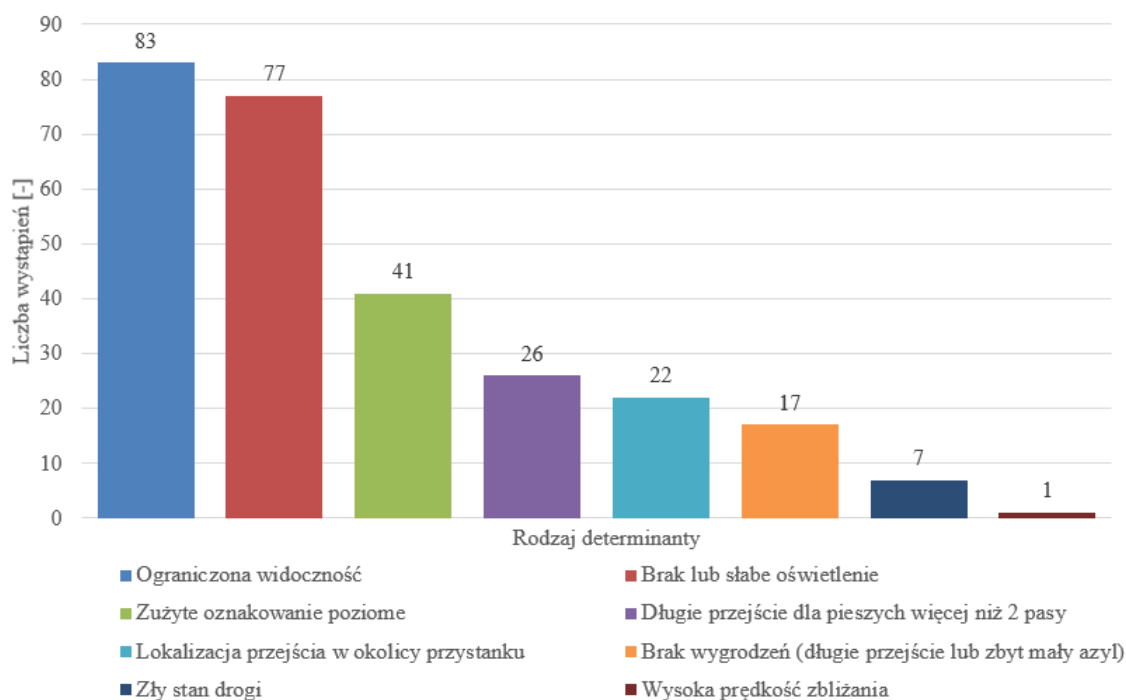
Źródło: opracowanie własne bazy danych Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

Otrzymane wyniki wskazują, że brak oświetlenia był czynnikiem obecnym w blisko dwóch piątych analizowanych wypadków, co może świadczyć o jego istotnym znaczeniu w kontekście widoczności pieszych oraz poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego w porze nocnej i w warunkach ograniczonej percepcji wzrokowej.



Wykres 19. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – zestawienie sumaryczne

Źródło: opracowanie własne bazy danych Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.



Wykres 20. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – zestawienie sumaryczne determinant bezpieczeństwa

Źródło: opracowanie własne bazy danych Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji.

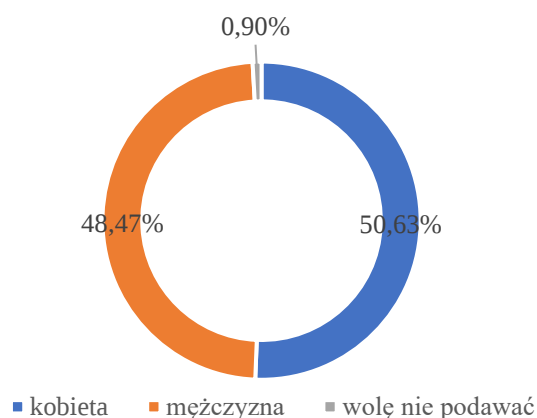
6.3 Wywiady bezpośrednie - badanie dotyczące wpływu urządzeń elektronicznych na występowanie wypadków w ruchu drogowym

W badaniach dotyczących zachowań ludzi, istotnym elementem jest wybór odpowiedniej grupy respondentów, ponieważ próba badawcza ma znaczący wpływ na otrzymane wyniki i ich wiarygodność. Odnosi się to zarówno do liczebności badanej populacji oraz doboru ankietowanych.

Badanie zostało przeprowadzone metodą sondażową za pośrednictwem internetowego kwestionariusza ankiety (CATI).

W przeprowadzonym badaniu wzięło udział 555 osób. Ankieta zawierała pytania zamknięte z kafeterią odpowiedzi (jedno i wielokrotnego wyboru) i była anonimowa. Wystąpiło również skalowanie niewymuszające, pozwalające respondentowi zająć stanowisko neutralne. Kwestionariusz ankiety dołączony został w załączniku. Przedmiotowe badanie zostało przeprowadzone na grupie reprezentatywnej.

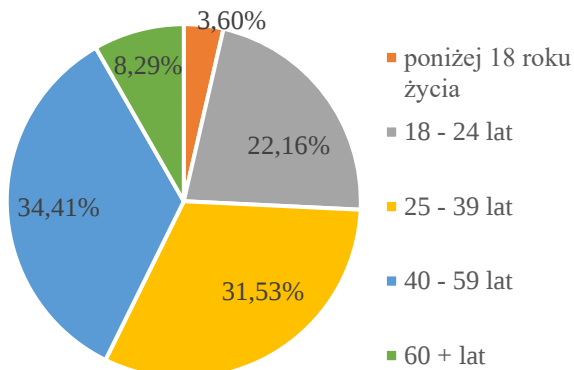
W przeprowadzonym badaniu wzięło udział 281 kobiet i 269 mężczyzn. Kobiety stanowią 50,63% wszystkich badanych, natomiast mężczyźni 48,47%.



Wykres 21. Płeć respondentów

Źródło: opracowanie własne.

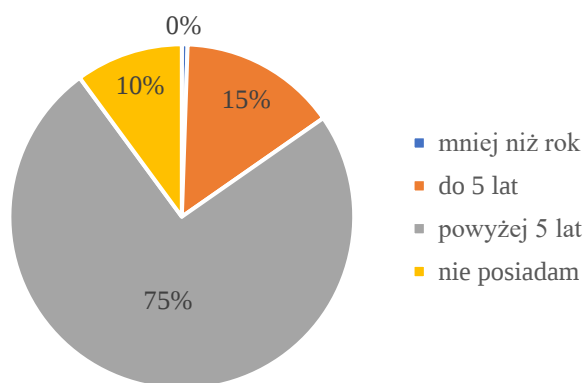
Najwięcej respondentów znajduje się w przedziale wiekowym 40-59 lata, stanowią oni 34,41% wszystkich badanych. Osoby znajdujące się w przedziale wiekowym 25-39 lat stanowią 31,53% badanej grupy. Najmniej liczną grupę stanowią osoby poniżej 18 roku życia, stanowią oni zaledwie 3,60% wszystkich respondentów.



Wykres 22. Wiek respondentów

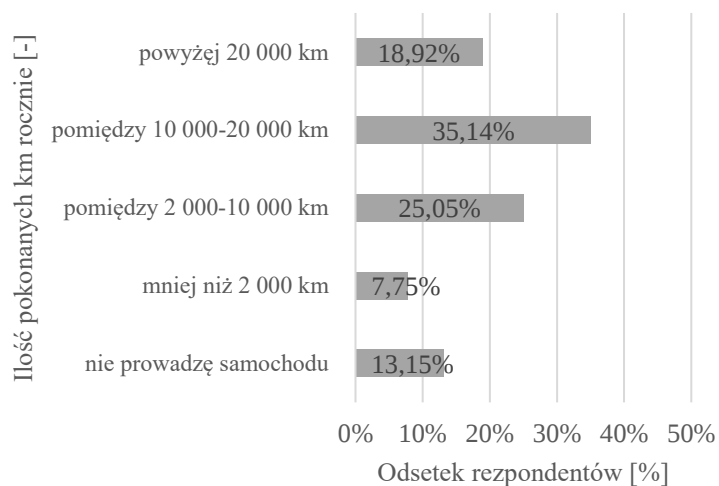
Źródło: opracowanie własne.

Największą grupę respondentów stanowią osoby, które posiadają prawo jazdy powyżej 5 lat, stanowią oni 75% badanych. Osoby posiadające prawo jazdy do 5 lat stanowią 15% badanej grupy. Natomiast 10% badanych nie posiada prawa jazdy.



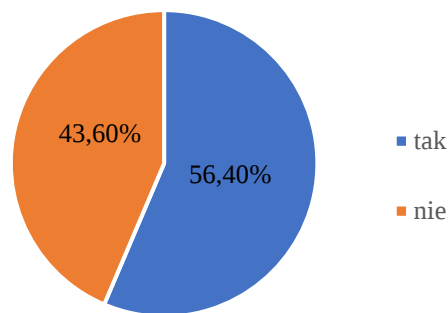
Wykres 23. Status respondentów posiadających uprawnienia do kierowania pojazdami
Źródło: opracowanie własne.

Większość respondentów to osoby, które przejeżdżają pomiędzy 10 000 a 20 000 kilometrów rocznie, stanowią oni 35,14% wszystkich badanych. Natomiast powyżej 20 000 km przejeżdża 18,92% badanych. 13,15% respondentów nie prowadzi samochodu



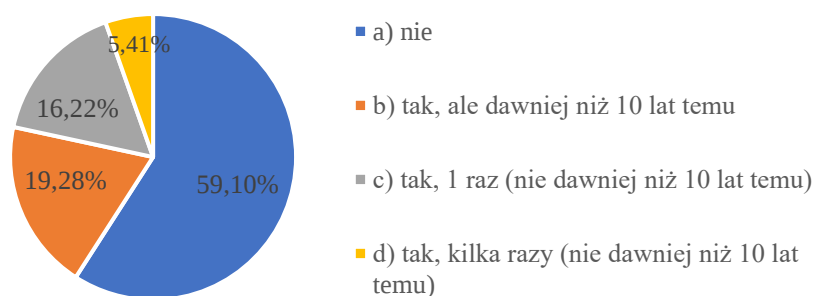
Wykres 24. Liczba pokonanych kilometrów rocznie przez respondentów jako kierowców
Źródło: opracowanie własne.

Wyniki ankiety wskazują, że aż 56,40% respondentów z 555 badanych posiada wadę wzroku.



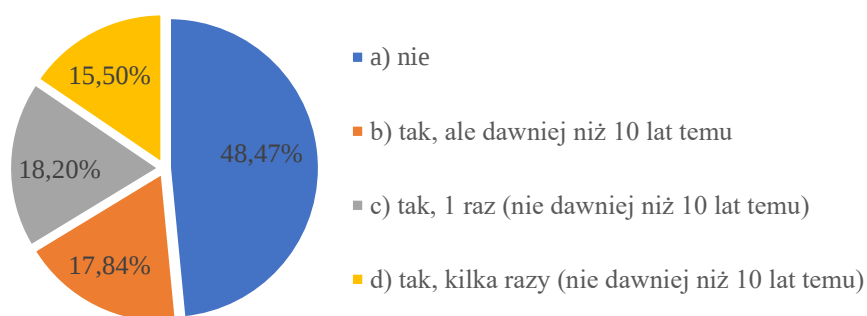
Wykres 25. Występowanie wady wzroku u respondentów
Źródło: opracowanie własne.

Następnie respondenci zostali zapytani o doświadczenie udziału w wypadku drogowym. 59,1% respondentów z 555 badanych zadeklarowało, że nie brało udziału w wypadku drogowym. 19,28% ankietowanych brało udział w wypadku drogowym, ale miało to miejsce dawniej niż 10 lat temu. Osoby, które brały udział w wypadku jeden raz, ale nie dawniej niż 10 lat temu, stanowią 16,22% wszystkich respondentów. Zaledwie 5,41% osób zadeklarowało, że brały udział w wypadku kilka razy, nie dawniej niż 10 lat temu.



Wykres 26. Doświadczenie udziału w wypadku drogowym wśród respondentów
Źródło: opracowanie własne.

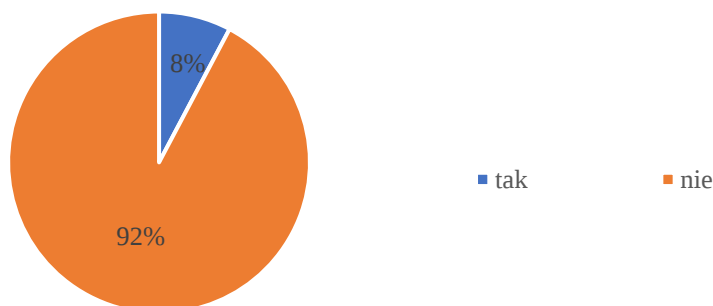
Respondenci zostali także zapytani o to, czy byli kiedykolwiek naocznymi świadkami wypadków drogowych. 48,47 % badanych osób odpowiedziało, że nie było nigdy naocznym świadkiem wypadku drogowego. 18,20 % respondentów było naocznym świadkiem wypadku drogowego jeden raz, natomiast 17,84% respondentów było świadkiem wypadku drogowego kilka razy i miało to miejsce nie dawniej niż 10 lat temu. 15,50% respondentów przyznało, że byli naocznymi świadkami wypadku kilka razy, ale było to dawniej niż 10 lat temu.



Wykres 27. Odsetek respondentów będących naocznymi świadkami wypadków drogowych

Źródło: opracowanie własne.

Większość respondentów to osoby, które nie wykonują zawodu jako kierowca zawodowy i stanowią 92% badanych. 8% respondentów stanowią kierowcy zawodowi.

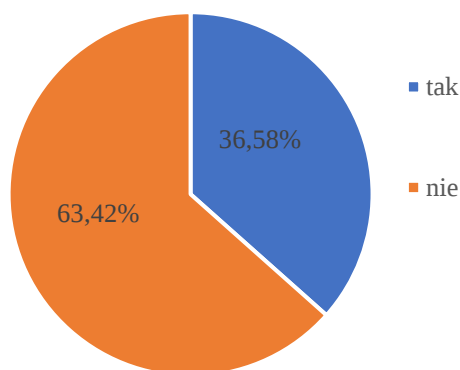


Wykres 28. Odsetek respondentów będących kierowcami zawodowym

Źródło: opracowanie własne.

6.3.1 Wyniki badania

Wyniki badań wskazują, że respondenci którzy chociaż raz w życiu mieli kolizję lub wypadek (liczba 227 respondentów na 555 badanych) w większości negatywnie oceniają wpływ zmiany przepisów dotyczących pierwszeństwa pieszych na przejściach dla pieszych, postrzegając ją jako czynnik zmniejszający poziom bezpieczeństwa (63,42 %). Zaledwie 36,58% respondentów pozytywnie oceniło wpływ zmiany przepisów dotyczących pierwszeństwa pieszych na poprawę bezpieczeństwa na przejściach dla pieszych.

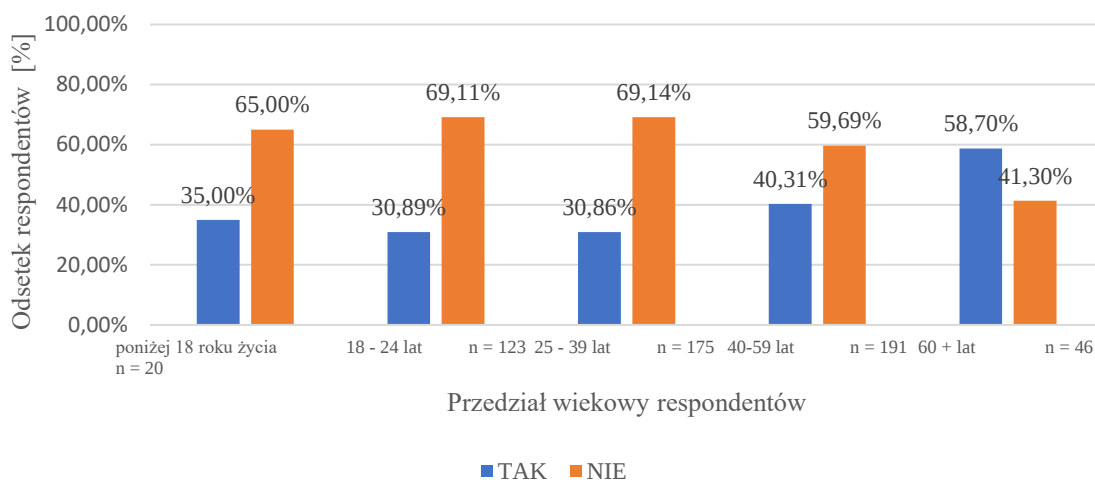


Wykres 29. Struktura odpowiedzi na pytanie o pozytywny wpływ zmiany przepisów dotyczących pierwszeństwa pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej – dotyczy respondentów, którzy chociaż raz w życiu mieli kolizję/wypadek (n=227).

Źródło: opracowanie własne.

Respondenci zostali zapytani o ocenę wpływu zmian przepisów dotyczących pierwszeństwa pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej na bezpieczeństwo. Analiza wyników według grup wiekowych wskazuje na wyraźne zróżnicowanie opinii.

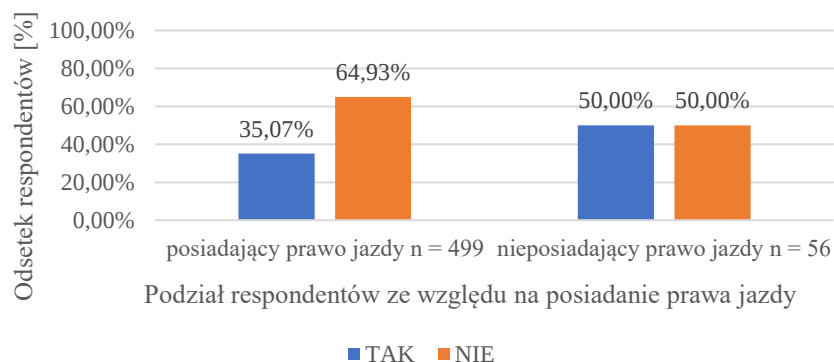
Wśród osób poniżej 18 roku życia jedynie 35% oceniło zmiany pozytywnie, a 65% negatywnie. Podobny rozkład odpowiedzi odnotowano w grupach wiekowych 18-24 lata, gdzie 30,89% badanych oceniło zmiany jako poprawiające bezpieczeństwo, natomiast 69,11% jako pogarszające sytuację bezpieczeństwa pieszych, oraz 25-39 lat, w której 30,86% wyraziło opinię pozytywną, 69,14% negatywną. Może to wynikać z postrzegania nowych przepisów przez młodsze grupy jako niejednoznacznych i trudnych do stosowania w dynamicznym ruchu drogowym. W grupie 40-59 lat odsetek ocen pozytywnych wzrósł do 40,31% co może świadczyć o większym doświadczeniu i ostrożności tej grupy. Najbardziej przychylnie zmiany zostały ocenione przez osoby powyżej 60 roku życia, gdzie 58% respondentów uznało zmiany przepisów za poprawiające bezpieczeństwo. Prawdopodobnie wynika to z częstszego poruszania się tej grupy w roli pieszych oraz większej potrzeby ochrony w ruchu drogowym.



Wykres 30. Ocena wpływu zmiany przepisów dotyczących pierwszeństwa pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej według wieku respondentów
Źródło: opracowanie własne.

Uzyskane wyniki badań wskazują, że jedynie 35,07 % respondentów posiadających prawo jazdy (499 z 555 badanych) oceniło pozytywnie wpływ zmian przepisów dotyczących pierwszeństwa pieszych na przejściach dla pieszych, natomiast 64,93% respondentów wyraziło negatywną ocenę. Taki rozkład odpowiedzi może wynikać z odmiennej percepcji bezpieczeństwa przez osoby posiadające prawo jazdy, wynikającej z ich doświadczeń w roli kierujących pojazdami. Kierowcy mogą postrzegać wprowadzone regulacje jako zwiększające zakres odpowiedzialności oraz wymagające większej koncentracji i przewidywania zachowań pieszych. Wiąże się to z koniecznością dostosowania zachowań do nowych regulacji oraz zwiększeniem czujności i reakcji na sytuacje drogowe.

Odmienne rozkłady wyników zaobserwowano wśród osób nieposiadających prawa jazdy (56 z 555 badanych), wśród których odsetek ocen pozytywnych i negatywnych był równy i wyniósł po około 50%, co może świadczyć o bardziej zróżnicowanym podejściu do oceny wprowadzonych zmian, wynikającym z braku doświadczeń związanych z prowadzeniem pojazdu.

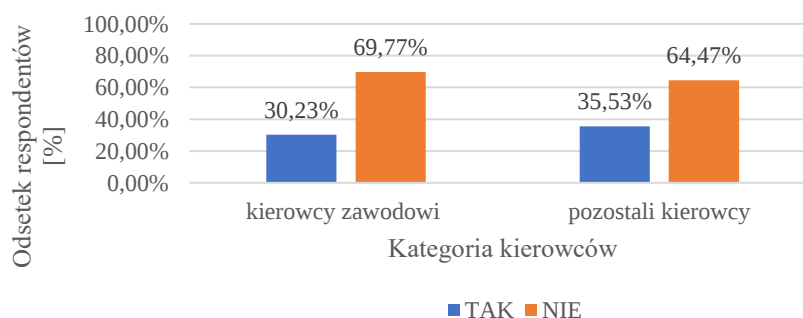


Wykres 31. Ocena pozytywnego wpływu zmiany przepisów dotyczących pierwszeństwa pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej w zależności od posiadania prawa jazdy

Źródło: opracowanie własne.

Z analizy badań wynika, że jedynie 30,23 % respondentów będących kierowcami zawodowymi oceniło pozytywnie wpływ zmian przepisów dotyczących pierwszeństwa pieszych, na bezpieczeństwo na przejściach dla pieszych, natomiast 69,77% respondentów wyraziło ocenę negatywną. Wśród pozostałych kierowców 35,53% respondentów oceniło zmiany pozytywnie, a 65% negatywnie. Zbliżony rozkład odpowiedzi może oznaczać, że zmiany w przepisach są postrzegane jako istotne dla bezpieczeństwa pieszych, niezależnie od doświadczenia w prowadzeniu pojazdów. W grupie respondentów nieposiadających prawa jazdy (n=56) odsetek odpowiedzi był taki sam i wyniósł po 50%, co wskazuje na równomierny rozkład opinii.

Negatywna ocena kierowców dotycząca zmiany przepisów w kwestii bezpieczeństwa pieszych na przejściach dla pieszych, może wynikać ze zwiększonego obciążenia w ruchu drogowym, konieczności częstszego hamowania, zwiększonej odpowiedzialności za zachowanie pieszych.



Wykres 32. Ocena wpływu zmiany przepisów dotyczących pierwszeństwa pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej – porównanie kierowców zawodowych i pozostałych osób

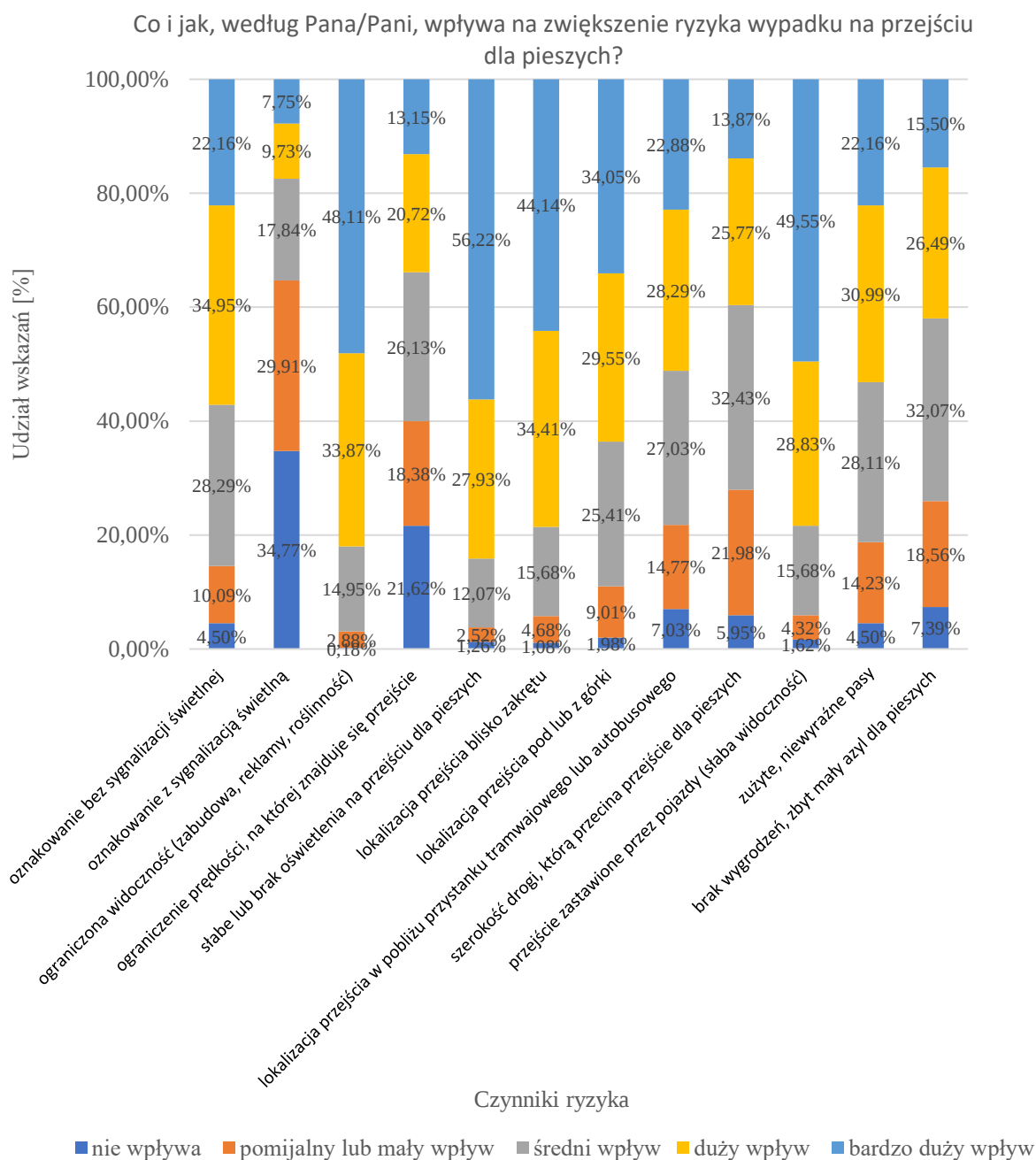
Źródło: opracowanie własne.

Respondenci zostali zapytani o ocenę wpływu poszczególnych czynników infrastrukturalnych i organizacyjnych na zwiększenie ryzyka wypadków na przejściach dla pieszych. Uzyskane wyniki wskazują na wyraźne zróżnicowanie postrzeganego poziomu zagrożenia, przy czym najwyżej oceniane były czynniki bezpośrednio związane z widocznością i warunkami oświetleniowymi.

Za czynnik o bardzo dużym wpływie na ryzyko wypadków najczęściej uznawano słabe lub brak oświetlenia przejść dla pieszych (56,22%), a także ograniczoną widoczność wynikającą z zabudowy, reklam lub roślinności (48,11%) oraz przejścia zastawione przez pojazdy, powodujące ograniczenie pola widzenia (49,55%). Wysokie odsetki odpowiedzi „duży wpływ” w tych kategoriach (od 27% do ponad 33%) potwierdzają, że czynniki ograniczające widoczność są postrzegane jako kluczowe zagrożenia dla bezpieczeństwa pieszych. Istotne znaczenie przypisano również lokalizacji przejścia w pobliżu zakrętu, gdzie 44,14% respondentów wskazało bardzo duży wpływ, a 34,41% duży wpływ na ryzyko wypadku. Podobnie oceniano lokalizację przejścia na wzniesieniu lub spadku drogi.

Czynniki związane z organizacją ruchu były oceniane umiarkowanie, jednak nadal jako istotne. Oznakowanie przejścia bez sygnalizacji świetlnej zostało uznane za mające duży lub bardzo duży wpływ na ryzyko wypadku przez ponad połowę respondentów, natomiast oznakowanie z sygnalizacją świetlną było postrzegane jako element neutralny lub o niewielkim znaczeniu, 34,77% badanych uznało, że nie wpływa na zwiększenie ryzyka wypadku na przejściu dla pieszych. Oznacza to, że obecność sygnalizacji świetlnej postrzegana jest, jako skuteczne narzędzie poprawiające bezpieczeństwo pieszych.

Mniejszy, ale nadal zauważalny wpływ przypisano takim czynnikom jak szerokość drogi, którą przecina przejście dla pieszych, zużyte i niewyraźne oznakowanie poziome oraz brak wygrodzeń lub zbyt mały azyl dla pieszych, które najczęściej oceniano jako mające średni wpływ lub duży. Lokalizacja przejścia w pobliżu przystanku komunikacji miejskiej również była postrzegana jako czynnik ryzyka, co może wynikać z większej liczby pieszych oraz nagłego pojawienia się pieszych na jezdni.



Wykres 33. Czynniki zwiększające ryzyko wypadku na przejściu dla pieszych – opinia respondentów

Źródło: opracowanie własne.

Analiza danych wypadkowych (analiza 100 wypadków) oraz wyniki ankiety wskazują na zgodność w ocenie czynników ryzyka. Największa spójność dotyczy ograniczonej widoczności oraz słabego oświetlenia, które zarówno w danych rzeczywistych, jak i percepcji respondentów uznawane są za kluczowe determinanty wypadków. Pozostałe czynniki wykazują umiarkowaną, lecz zauważalną zgodność między rzeczywistą strukturą zdarzeń, a ocenami respondentów. Wyniki wskazują, że

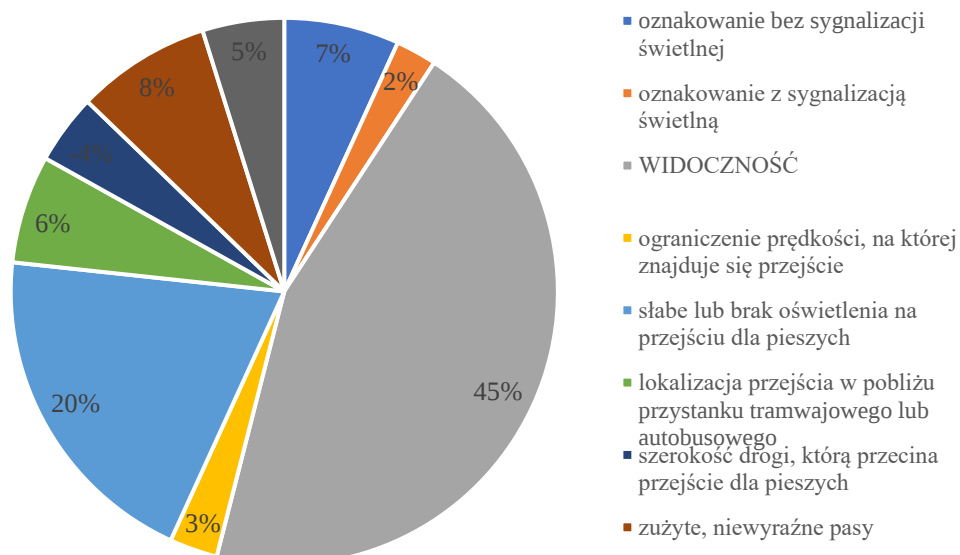
respondenci trafnie identyfikują większość istotnych elementów infrastruktury wpływających na ryzyko wypadków.

Tabela 14. Zestawienie wyników analizy 100 wypadków oraz badań ankietowych

Rodzaj czynnika	Wskaźnik danych wypadkowych	Ocena czynników w badaniu ankietowym
Ograniczona widoczność (ogółem)	83%	48,11% (bardzo duży wpływ)
Słabe lub brak oświetlenia	77%	56,22% (bardzo duży wpływ)
Zużyte lub niewyraźne oznakowanie poziome	41%	30,99% (duży wpływ)
Długie przejście dla pieszych (>2 pasy ruchu)	26%	32,43% (średni wpływ)
Lokalizacja przejścia w pobliżu przystanku komunikacji miejskiej	22%	28,29% (duży wpływ)
Brak wygrodzeń / niewystarczający azyl dla pieszych	17%	32,07 % (średni wpływ)
Zły stan nawierzchni drogi	7%	30,99% (duży wpływ)

Źródło: opracowanie własne.

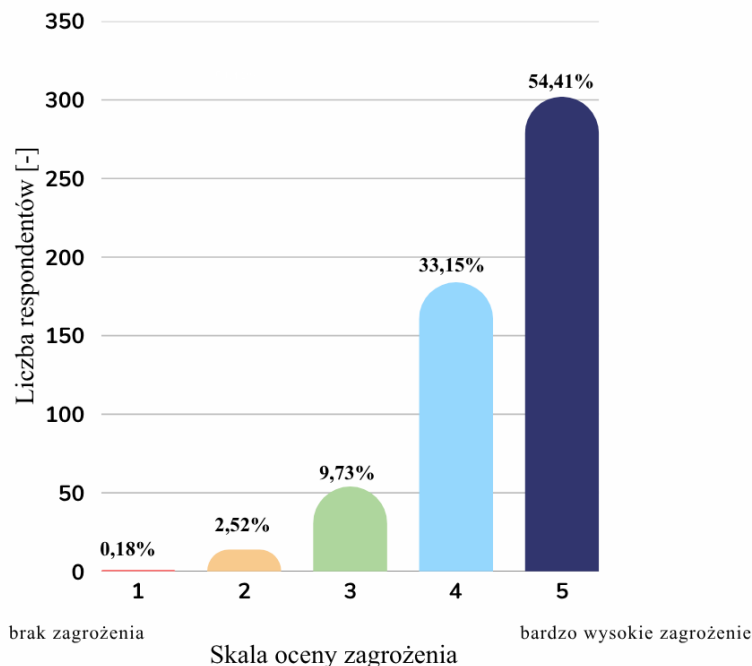
Respondenci, którzy przynajmniej raz uczestniczyli w kolizji lub wypadku drogowym (227 osób z 555 badanych), wskazali czynniki zwiększające ryzyko wypadków na przejściach dla pieszych. Najczęściej wymienianym zagrożeniem była zła widoczność (45%) , co podkreśla jej kluczowe znaczenia dla bezpieczeństwa pieszych. Kolejnym istotnym czynnikiem było słabe lub brak oświetlenia przejścia (20%), szczególnie niebezpieczne po zmroku. Rzadziej wskazywano na zużyte lub niewyraźne oznakowanie poziome (8%) oraz brak sygnalizacji świetlnej (7%). Pozostałe czynniki, takie jako lokalizacja przejścia w pobliżu przystanku komunikacji miejskiej (6%), brak wygrodzeń lub zbyt mały azyl dla pieszych (5%), szerokość drogi (4%), czy obowiązujące ograniczenie prędkości (3%), miały mniejsze znaczenie w ocenie respondentów. Oznakowanie z sygnalizacją świetlną zostało uznane za czynnik ryzyka jedynie przez 2% badanych, co sugeruje, że jest ono postrzegane jako element poprawiający bezpieczeństwo.



Wykres 34. Czynniki zwiększające ryzyko wypadków na przejściach dla pieszych – opinia respondentów, którzy chociaż raz w życiu brali udział w kolizji, wypadku drogowym n=227, 704 wskazania przez tą grupę, wskazania te mają istotny wpływ na zwiększenie ryzyka.

Źródło: opracowanie własne.

Respondenci oceniali w skali od 1-5 zagrożenie wystąpienia wypadku związanego z korzystaniem z telefonu podczas prowadzenia pojazdu mechanicznego. Wyniki wskazują, że ponad połowa badanych (54,41%) uznała takie zachowanie za bardzo wysokie zagrożenie. Kolejne 33,15% respondentów zaznaczyło 4 punkt na skali, co można interpretować jako wysokie zagrożenie. 9,73% respondentów przyznało ocenę 3, co sugeruje brak jednoznacznej opinii lub umiarkowane postrzeganie ryzyka. 2,52 % badanych oceniło korzystanie z telefonu jako niskie zagrożenie, a zaledwie 0,18% uznało całkowity brak zagrożenia. Wyniki jednoznacznie wskazują, że większość uczestników badania postrzega korzystanie z telefonu podczas prowadzenia pojazdu jako istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa. Uzyskane dane podkreślają znaczenie utrzymywania wysokiego poziomu edukacji i świadomości kierowców na temat ryzyka związanego z korzystaniem z telefonu podczas prowadzenia pojazdu mechanicznego (wykres 35).



Wykres 35. Ocena zagrożenia wystąpienia wypadku związanego z korzystaniem z telefonu podczas prowadzenia pojazdu mechanicznego
Źródło: opracowanie własne.

Respondenci zostali zapytani o używanie telefonu komórkowego w formie trzymania go w dłoniach podczas prowadzenia pojazdu w ciągu ostatnich 30 dni. Wyniki wskazują, że 59% badanych zadeklarowało, że nie korzystało z telefonu podczas jazdy, natomiast 31% przyznało się do takiego zachowania. Pozostałe 10% badanych nie posiadało prawa jazdy, co wykluczało ich z udziału w tym aspekcie badania. Większość kierowców deklaruje, że stosuje się do zasad ograniczających używania telefonu podczas jazdy, co wskazuje na świadome podejście do bezpieczeństwa na drodze. Natomiast problem niebezpiecznych zachowań w ruchu drogowym pozostaje nadal istotny i wymaga kontynuacji działań edukacyjnych, świadczy o tym fakt, że aż 31% badanych przyznało się do korzystania z telefonu komórkowego podczas prowadzenia pojazdu.

W grupie osób, które chociaż raz w życiu miały kolizję/wypadek (227 badanych) liczba osób, która wskazała zagrożenie związane z używaniem telefonu na 5 podczas jazdy wynosiła 59%.

Kierowcy wykazują wysoką świadomość zagrożeń związanych z korzystaniem z urządzeń mobilnych podczas prowadzenia pojazdów mechanicznych, jednak mimo to często bagatelizują to i dopuszczają się takich działań.

Analizując dostępną literaturę nie odnaleziono informacji w temacie dotyczącym badań w Polsce, których zakres dotyczył głównie jednego zagadnienia, a mianowicie tego

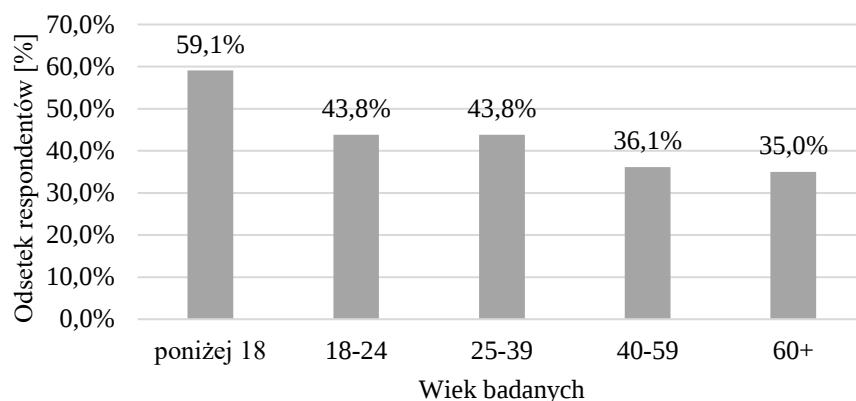
jaki procent szans na przeżycie ma pieszy w momencie potrącenia przez samochód osobowy poruszający się z prędkością 70 km/h. Analogicznie jak było to w przypadku badań dla grupy 555 osób, zwrócono się o pomoc w tej kwestii do tej samej grupy osób z wyłączeniem uczestników określonych jako „pozostałe”, ponieważ w toku pozyskiwania danych nie zebrano tak dużej liczby osób jak miało to miejsce w przypadku badań początkowych. Nie zdecydowano się na dodanie tej kwestii w początkowych pierwszych badaniach ze względu na to, iż kwestia dotycząca świadomości społecznej pojawiła się w trakcie procesu analizy pozyskanych wyników badań się w trakcie procesu badawczego.



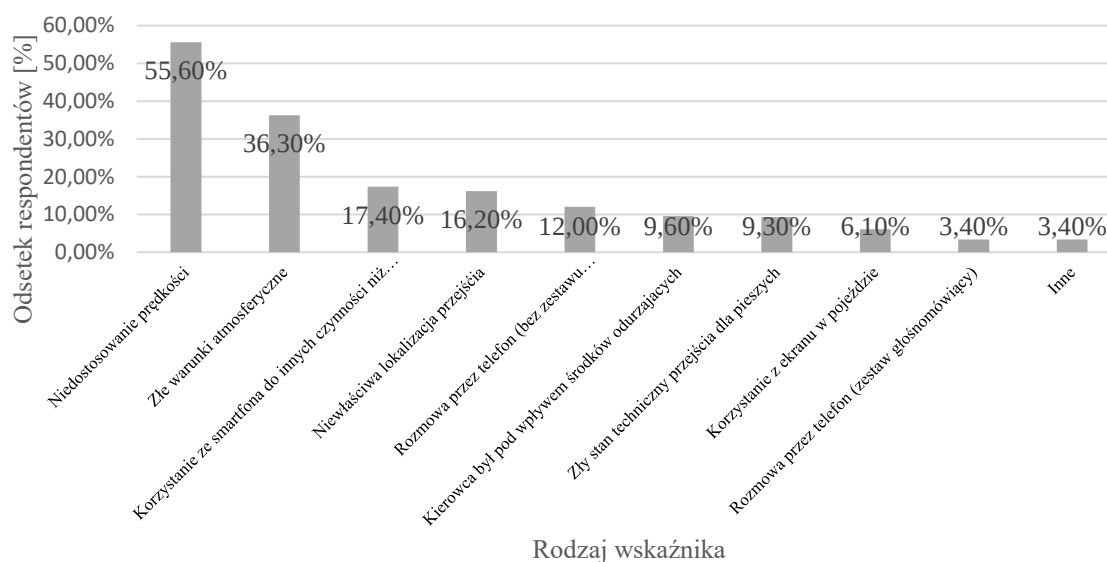
Rysunek 47. Zależności prędkości do skutków najechania kierowcy kierującego pojazdem mechanicznym na niechronionego uczestnika ruchu drogowego

Źródło: opracowanie własne na podstawie Biura Ruchu Drogowego Komendy Głównej Policji.

Zgodnie z danymi Biura Ruchu Drogowego Komendy Głównej Policji w Warszawie Kwestie związane z zagrożeniami odnoszącymi się do konsekwencji wystąpienia najechania pojazdu na niechronionego uczestnika ruchu drogowego zostały podzielone na trzy główne filary. Pierwszy odnosi się do prędkości bezpiecznej, to jest takiej przy której w przypadku wystąpienia kolizji pomiędzy pojazdem i pieszym, ten drugi ma 90% szans na przeżycie wypadku. Drugi odnosi się do prędkości 50 km/h, w tym przypadku gdy zaistnieje sytuacja kolizyjna pieszy ma od 40% do 60% szans na przeżycie wypadku. Trzeci, ostatni odnosi się do prędkości zagrażającej życiu pieszego w momencie potrącenia przez pojazd mechaniczny. Przy prędkości od 70 km/h pieszy ma tylko 10% szans na przeżycie wypadku.



Wykres 36. Badania świadomości polskich uczestników ruchu drogowego w odniesieniu do prędkości i potencjalnych konsekwencji najechania pojazdem na niechronionego uczestnika ruchu drogowego
Źródło: opracowanie własne.



Wykres 37. Pytanie dotyczące badania świadomości i doświadczeń w ruchu drogowym, grupa 555 uczestników
Źródło: opracowanie własne.

Analizując powyższe wykresy stwierdza się, iż uczestnicy badania składający się z grupy 555 respondentów byli świadomi tego, że największym zagrożeniem związanym z możliwością wystąpienia sytuacji niebezpiecznej jest prędkość pojazdu mechanicznego, jednak porównując te wyniki z badaniem przeprowadzonym na innej grupie 336 osób wskazujących, że w przypadku potrącenia przez pojazd niechronionego uczestnika ruchu drogowego takiego jak pieszy przy prędkości 70 km/h, pieszy ten ma aż 50% szans na przeżycie. W rzeczywistości niechroniony uczestnik ruchu drogowego ma

tylko 10% szans na przeżycie. Zauważa się, że osoby biorące udział w badaniu są świadome zagrożeń wynikających z poruszania się z nadmierną prędkością, jednak nie są świadome realnych zagrożeń związanych z takim zajściem, w rozumieniu konsekwencji w stosunku do osób poszkodowanych w potencjalnym wypadku drogowym.

6.4 Badania z wykorzystaniem pełnowymiarowego symulatora samochodu osobowego

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki badań zrealizowanych z wykorzystaniem pełnowymiarowego symulatora samochodu osobowego. Badania zostały przeprowadzone w celu odniesienia się do zidentyfikowanych problemów badawczych dotyczących złożoności adaptacji zachowań uczestników ruchu drogowego, hierarchizacji bodźców oraz zróżnicowania reakcji kierowców w strefach dojazdu do przejść dla pieszych. Zastosowanie środowiska symulacyjnego umożliwiło analizę wskazanych zjawisk w warunkach kontrolowanych i powtarzalnych, co pozwoliło na uzyskanie danych stanowiących podstawę do odpowiedzi na postawione problemy badawcze.

W tabeli nr 15 przedstawiono zestawienie tabelaryczne wyników popełnionych wykroczeń. Poszczególne kolumny oraz wiersze opisane są w sposób następujący.

- kolumna próba: oznaczenie „P01-SO2” oznacza, że był to uczestnik badania numer 1 oraz wykonywał on przejazd dla scenariusza 2.
- kolumna nr: dla numeru 1 oznacza to, że dany scenariusz był wykonywany jednokrotnie dla danego uczestnika, 2 oznacza wykonanie analogicznego scenariusza dwukrotnie,
- kolumna czas scenariusza: oznacza czas podczas wykonywania scenariusza, w którym doszło do wypadku,
- kolumna prędkość-zdarzenia-kmh: oznacza prędkość z jaką poruszał się uczestnik w czasie wystąpienia wypadku,
- kolumna zweryfikowane - zdarzenie: oznacza, że nie był to błąd przyrządów tylko potwierdzony wypadek spowodowany przez uczestnika badania.

Tabela 15. Wybrane wypadki i wykroczenia popełnione przez uczestników badań

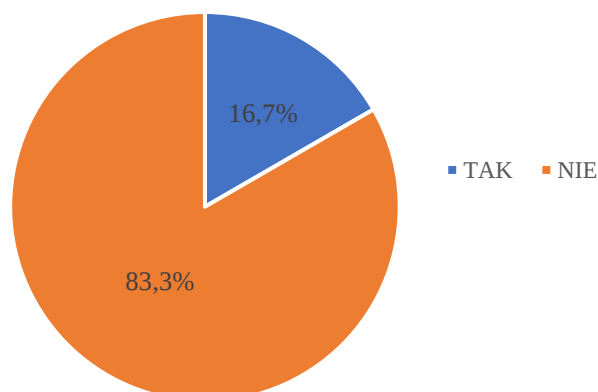
Próba	Nr	Czas scenariusza	Prędkość zderzenia kmh	Zweryfikowane zderzenie	Komentarze
P01-S02	1	369,54	0	0	Falsz - po zatrzymaniu
P01-S03	1	452,25	35,6	0	Falsz - 90 SURT+krawężnik=poślizg+asfaltowy garb (Prawda, ale niezwiązane z pieszymi lub przejściami)
P02-S02	1	331,16	0	0	Falsz - po zatrzymaniu
P02-S03	1	732,77	0	0	Falsz - po zatrzymaniu
P03-S03	1	70,92	23,4	0	Falsz - po zatrzymaniu (rozproszony przez SURT - Prawda?)
P04-S01	1	95,57	57,6	1	Prawda - 90 D6 + idące dziecko
P05-S03	1	57,43	0	0	Falsz - po zatrzymaniu
P05-S03	2	225,9	0	0	Falsz - po zatrzymaniu
P06-S03	1	399,77	17,6	0	Falsz - po zatrzymaniu
P08-S01	1	127,05	35,9	1	Prawda - 90 PS + biegacz
P08-S01	2	331,83	29,8	1	Prawda - 90 D6 + rowerzysta
P08-S03	1	100,85	16,3	1	Prawda - 50 D6 + rowerzysta + nback
P08-S03	2	428,42	49,9	0	Falsz -50 prędkość+zakręt+hamowanie=asfaltowy garb (Prawda, ale niezwiązane z pieszymi lub przejściami)
P10-S03	1	511,1	2,6	0	Falsz - po zatrzymaniu (rozproszony przez SURT - Prawda?)
P10-S03	2	777,81	0	0	Falsz - po zatrzymaniu
P11-S01	1	593,25	32,5	1	Prawda - 70 D6 + biegacz
P11-S02	1	103,71	23,8	1	Prawda - 90 D6 + pieszy (zatrzymujący się) + surt
P12-S01	1	74,55	34,9	1	Prawda - 90 SS + biegacz
P12-S01	2	288,18	10,3	1	Prawda - 90 D6 + rowerzysta

Źródło: opracowanie własne.

Ogólna liczba wypadków podczas wykonywanych badań to 17, są to wypadki dotyczące przejść dla pieszych, będące zawinionymi przez uczestników badania.

Podczas pierwszego przejazdu, było to 8 wypadków, jednak trzeba wziąć pod uwagę fakt, iż podczas przejazdu adaptacyjnego piesi oraz rowerzyści nie pojawiali się

na przejściu dla pieszych oraz podczas tej próby nie implementowano do scenariusza rozpraszaczy w formie zadania N-back lub SuRT.



Wykres 38. Porównanie odczuć jazdy na symulatorze w stosunku do poruszania się konwencjonalnym samochodem osobowym (grupa badanych z wypadkiem)

Źródło: opracowanie własne.

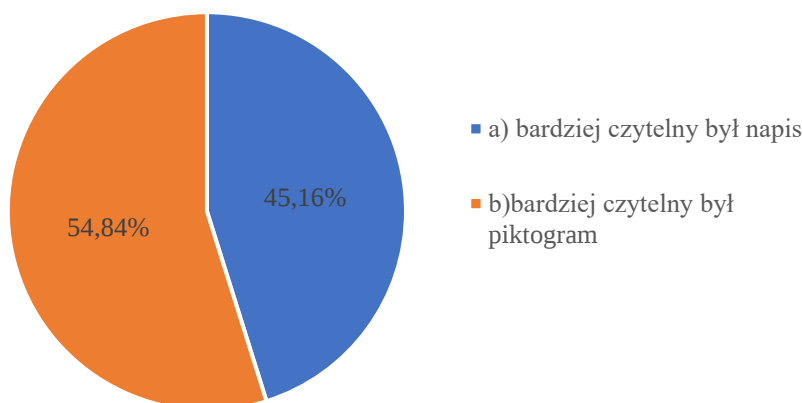
Z uzyskanych danych wynika, że zdecydowana większość respondentów 83,3% odpowiedziała „nie”, wskazując, że ich zdaniem jazda na symulatorze nie była porównywalna z prowadzeniem rzeczywistego samochodu osobowego. Jedynie 16,7% badanych uznało, że odczucia z jazdy na symulatorze były zbliżone do warunków rzeczywistych. Wyniki te sugerują, że osoby, które doświadczyły wypadku w środowisku symulowanym, w przeważającej mierze postrzegały symulator jako narzędzie nie w pełni oddające realne warunki drogowe. Może to mieć znaczenie przy interpretacji wyników badań.

Analiza dotycząca pytania w odniesieniu do odczuć podczas jazdy na symulatorze potwierdza, że grupa ta była podzielona po równo, 50% odpowiedziało „tak”, a 50% „nie”. Oznacza to, że połowa badanych uznała symulator za realistyczny pod względem odczuć podczas gdy druga połowa dostrzegła różnice w stosunku do prowadzenia rzeczywistego pojazdu. W porównaniu do grupy, która miała wypadek (gdzie aż 83,3% odpowiedziało „nie”), widać wyraźną zależność między doświadczeniem wypadku a oceną realizmu. Osoby, które nie doświadczyły wypadku, częściej oceniały symulator jako realistyczny. To sugeruje, że wrażenie „nie realizmu” może być częściowo subiektywne i związane z trudnościami podczas jazdy, a nie tylko z samym symulatorem.

W grupie osób z najlepszymi wynikami badań z rozpraszaczami – badanie SURT (wynik do 1,4% błędów), osoby które podczas próby nie doświadczyły wypadku drogowego w trakcie trwania badania - 5 na 6 badanych odpowiedziało, że jazda symulatorem o 6 stopniach swobody odzwierciedla odczucia jazdy podczas prowadzenia

klasycznego samochodu osobowego. Jeśli chodzi o grupę, która podczas badania miała wypadki odpowiedzi były odwrotne 5 na 6 badanych odpowiedziało, że symulator nie odzwierciedla warunków prowadzenia klasycznego samochodu osobowego.

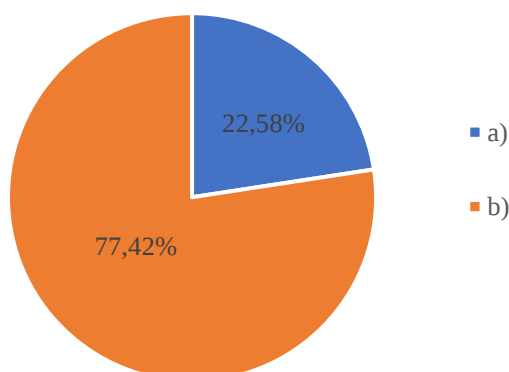
W ramach badań opracowano również symulację w zakresie przejść dla pieszych z różnym oznakowaniem np. jako napis lub graficzny piktogram (wykres 39).



Wykres 39. Czytelność piktogramu i napisu podczas badania

Źródło: opracowanie własne.

Z analizy wynika, że 54,84% respondentów uznało, że bardziej czytelny był piktogram, natomiast 45,16% wskazało na napis. Wyniki te pokazują, że piktogramy mają nieco większą czytelność i łatwiej przyciągają uwagę uczestników badania, choć odsetek osób preferujących napisy jest również wysoki, co sugeruje, że oba sposoby komunikacji informacji są ważne. Podsumowując, piktogramy mogą być skuteczniejszym narzędziem wizualnym w systemach bezpieczeństwa dla pieszych, ale dla części użytkowników czytelność tekstowa również pozostaje istotna.



Wykres 40. Wybór pomiędzy piktogramem lub napisem

Źródło: opracowanie własne.

W tabeli nr 16 przedstawiono kompletne zestawienie czasów reakcji pozyskanych z zapisów pomiarowych symulatora jazdy wykorzystanego do badania. Dane dotyczą badań N-back oraz SURT dla prędkości k90 lub k70 dla każdego z uczestników badania.

Tabela 16. Kompletne zestawienie czasów reakcji

Próba	Początek pomiaru (140 m)	Odległość reakcji [m]	Znacznik czasowy podjęcia działania	Czas reakcji [S]
p01s2k70	153,52	-60	158,25	4,73
p02s2k90	236,81	-35	241,01	4,2
p03s1k70	337,08	-85	340,11	3,03
p04s1k90	240,41	-50	244,12	3,71
p05s2k90	153,54	-20	158,86	5,32
p06s2k70	240,3	-55	245,11	4,81
p07s3k90	556,2	-40	560,35	4,15
p08s1k90	241,11	-45	245,21	4,1
p09s3k70	551,1	-75	554,8	3,7
p10s3k90	556,35	-45	560,5	4,15
p11s2k90	157,98	-30	162,9	4,92
p12s1k90	240,5	-55	244,2	3,7
p13s2k90	237,1	-25	242,2	5,1
p14s2k90	241,05	-30	245,95	4,9
p15s2k90	158,2	-25	163,3	5,1
p16s1k90	242,1	-50	245,85	3,75
p17s2k90	157,4	-35	162,1	4,7
p18s1k70	338,15	-90	341,05	2,9
p19s2k90	239,9	-25	245,2	5,3
p20s2k90	158,88	-10	164,53	5,65
p21s2k70	241,15	-50	246,25	5,1
p22s1k90	240,8	-45	244,95	4,15
p23s2k90	158,4	-20	163,8	5,4
p24s3k90	555,1	-35	559,95	4,85
p25s1k70	342,05	-80	345,25	3,2
p26s2k90	159,1	-15	164,65	5,55
p27s2k70	241,3	-40	246,85	5,55
p28s1k90	240,95	-55	244,75	3,8
p29s2k90	158,15	-25	163,35	5,2
p30s2k90	153,24	-25	158,11	4,87
p31s2k90	238,4	-30	243,35	4,95
Średnia		42,0968		4,5335
Odchylenie standardowe		20,0714		0,7653

Źródło: opracowanie własne.

Kluczowe wnioski dotyczące badania odnoszą się do tak zwanej bariery 5 sekund, określającej ekstremalne opóźnienie, które przy 90 km/h oznacza pokonanie przez uczestnika badania 125 metrów bez reakcji. Uczestnicy p05, p13, p15, p19, p20, p23, p26, p27, p29 przekroczyli barierę 5 sekund dla parametru RT. Co oznacza brak możliwości zatrzymania pojazdu przed przejściem dla pieszych. Zauważono korelację dotyczącą wieku oraz czasów reakcji dla badania N-back, najdłuższe czasy reakcji powyżej 5,5 sekund korelują z najwyższym wiekiem. Jest to dowód na to, że dystrakcja poznawcza N-back niemal całkowicie wyłącza funkcje obronne u starszych kierowców. Czasy reakcji dla zadania wizualnego są stabilniejsze i krótsze średnio o ok. 3,5 s niż dla zadania pamięciowego, średnio ok. 4,8 s. Zauważono, że w większości przypadków dla badania N-back (s2) odległość, w którym kierowca reaguje i rozpoczyna proces hamowania to przedział pomiędzy -40, a -10 metrów. Przy prędkościach rzędu 70-90 km/h droga hamowania wynosi do 60 metrów. Oznacza to, że niemal każdy z kierowców uderzyłby w pieszego z ogromną prędkością. Na podstawie zgromadzonych danych wyznaczono średni czas reakcji, który wyniósł 4,53 s, co odzwierciedla przeciętną wartość uzyskaną we wszystkich próbach. Odchylenie standardowe czasu reakcji równe 0,77 s wskazuje na umiarkowane zróżnicowanie wyników wokół średniej. Natomiast średnia odległość reakcji wynosząca 42,10 m przy odchyleniu standardowym 20,07m świadczy o znacznie większym rozproszeniu wartości tego parametru pomiędzy poszczególnymi pomiarami.

W tabeli nr 17 przedstawiono podsumowanie zestawienia dla wszystkich wykonanych prób.

Tabela 17. Sumaryczne zestawienie prób przejazdów wszystkich uczestników w odniesieniu do czasów reakcji

Uczestnik	Wiek	Przejazd 1 (s1)	Przejazd 2 (s2)	Przejazd 2 - rodzaj dystraktora	Przejazd 3 (s3)	Przejazd 3 - rodzaj dystraktora
P03	25	70 km/h: RT 2,8s	50 km/h: RT 2,1s	nback	30 km/h: RT 1,4s	surt
P22	31	50 km/h: RT 2,5s	30 km/h: RT 2,2s	nback	90 km/h: RT 4,1s	surt
P23	31	70 km/h: RT 3,4s	90 km/h: RT 5,4s	surt	50 km/h: RT 3,4s	nback
P20	34	90 km/h: RT 3,4s	30 km/h: RT 2,1s	nback	50 km/h: RT 2,8s	surt
P04	37	90 km/h: RT 3,7s	50 km/h: RT 2,5s	nback	70 km/h: RT 3,1s	surt
P17	39	30 km/h: RT 2,3s	50 km/h: RT 3,1s	surt	90 km/h: RT 4,7s	nback
P07	40	70 km/h: RT 4,0s	30 km/h: RT 2,1s	nback	90 km/h: RT 4,1s	surt
P21	40	30 km/h: RT 2,8s	70 km/h: RT 4,9s	surt	50 km/h: RT 3,1s	nback
P02	41	50 km/h: RT 2,8s	90 km/h: RT 4,2s	nback	70 km/h: RT 3,9s	surt
P01	42	30 km/h: RT 1,9s	70 km/h: RT 3,8s	nback	90 km/h: RT 4,7s	surt
P06	42	50 km/h: RT 2,9s	70 km/h: RT 4,2s	nback	30 km/h: RT 2,4s	surt
P08	43	90 km/h: RT 4,1s	30 km/h: RT 2,0s	surt	50 km/h: RT 3,0s	nback
P19	43	70 km/h: RT 3,7s	30 km/h: RT 2,1s	surt	90 km/h: RT 4,7s	nback
P24	44	90 km/h: RT 4,8s	70 km/h: RT 4,3s	nback	30 km/h: RT 2,4s	surt
P05	45	30 km/h: RT 2,3s	90 km/h: RT 5,3s	nback	50 km/h: RT 3,2s	surt
P09	45	30 km/h: RT 1,8s	50 km/h: RT 2,9s	surt	70 km/h: RT 3,4s	nback
P18	45	50 km/h: RT 2,4s	70 km/h: RT 3,8s	nback	30 km/h: RT 1,8s	surt
P31	45	70 km/h: RT 4,7s	30 km/h: RT 2,8s	surt	50 km/h: RT 4,2s	nback
P10	46	50 km/h: RT 3,1s	30 km/h: RT 2,2s	nback	90 km/h: RT 4,1s	surt
P16	46	90 km/h: RT 3,7s	50 km/h: RT 3,2s	surt	70 km/h: RT 3,6s	nback
P28	46	90 km/h: RT 3,8s	50 km/h: RT 3,2s	surt	70 km/h: RT 3,7s	nback
P26	47	50 km/h: RT 3,2s	90 km/h: RT 5,5s	nback	70 km/h: RT 5,3s	surt
P27	47	70 km/h: RT 5,2s	50 km/h: RT 3,1s	nback	30 km/h: RT 3,1s	surt
P30	51	50 km/h: RT 2,7s	70 km/h: RT 4,6s	surt	30 km/h: RT 2,7s	nback
P13	52	30 km/h: RT 2,6s	90 km/h: RT 5,1s	surt	70 km/h: RT 4,7s	nback
P12	53	90 km/h: RT 3,7s	70 km/h: RT 3,5s	surt	30 km/h: RT 1,7s	nback
P11	56	70 km/h: RT 4,6s	90 km/h: RT 4,9s	surt	50 km/h: RT 3,5s	nback
P25	56	30 km/h: RT 1,8s	70 km/h: RT 3,4s	surt	90 km/h: RT 3,2s	nback
P29	56	30 km/h: RT 2,9s	90 km/h: RT 5,2s	surt	50 km/h: RT 4,7s	nback
P14	60	50 km/h: RT 3,4s	90 km/h: RT 4,9s	nback	70 km/h: RT 4,4s	surt
P15	64	70 km/h: RT 4,8s	50 km/h: RT 4,0s	nback	30 km/h: RT 2,7s	surt

Źródło: opracowanie własne.

Z danych zaprezentowanych w tabeli 17 wynika, że dystrakcja N-back jest najgroźniejsza, średnio we wszystkich grupach wiekowych, sesje oznaczone jako N-back generują RT od 0,9 – 1,5 s dłuższe niż sesje SURT, nawet przy tej samej prędkości. Prędkość 90 km/h jest krytyczna i eliminuje margines błędu, ze względu na to iż średni czas reakcji RT to 4,4 s. W tym czasie kierowca pokonuje 25 m/s co stanowi 110 metrów bez uruchomienia dźwigni hamowania. Uczestnikowi badania pozostaje margines 30 metrów by wykonać zatrzymanie, co jest fizycznie niewykonalne. Wiek ma wpływ na bazowy czas reakcji RT, osoby z grupy 45-65 (np. p14, p15, p29) startują z wyższego pułapu RT nawet przy 30 km/h (średnio o 0,5 s wolniej niż młodszy uczestnicy badania), co przy 90 km/h kumuluje się do rekordowych 5,6 sekundy czasu reakcji RT. Przy 30

km/h RT trwa średnio 2,1 s, daje to ogromny margines bezpieczeństwa w porównaniu z prędkością 90 km/h, gdzie margines ten przesuwa się do średniej wynoszącej 4,4 s. Powodem takiej zależności może być kwestia przetwarzania większej ilości bodźców wizualnych na sekundę. Implementując dodatkowo badanie N-back następuje całkowity paraliż decyzyjny. Dystrakcja kognitywna N-back przesuwa punkt rozpoczęcia hamowania średnio o 24 metry dalej niż dystrakcja wizualna SURT przy prędkości 90 km/h. Wiek powyżej 45 lat potęguje skutki dystrakcji, wydłużając RT o dodatkową sekundę, co przy 90 km/h oznacza uderzenie w pieszego z energią wyższą o około 40%. Istnieje korelacja między liczbą błędów w zadaniu dodatkowym, a czasem reakcji, im bardziej kierowca stara się poprawnie rozwiązać zadanie, tym gorsze są jego parametry jazdy.

Tabela 18. Średni czas reakcji dla przejścia dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej

Parametr Statystyczny	Scenariusz znak D6	Scenariusz znak D6(N-back/SURT)
Średni Czas Reakcji (RT)	3,62 s	4,58 s
Średni Dystans Reakcji (k90)	90,5 m	114,5 m
Prędkość Kolidzi (przy k90)	~55 km/h	~78 km/h

Źródło: opracowanie własne.

W tabeli nr 18 przedstawiono średni czas reakcji RT dla klasycznego przejścia dla pieszych ze znakiem D6 bez dystrakcji oraz implementacją zadań. Średnia prędkość kolidzi dla scenariusza k90 bez implementowanych zadań dodatkowych oraz dla klasycznego znaku D6 wynosi 55km/h. Dla tej samej prędkości, jednak z zastosowaniem zadań rozpraszających oraz klasycznego znaku D6, średnia prędkość kolidzi to aż 78 km/h. Zgodnie z przeprowadzonymi badaniami świadomości kierowców dotyczących potrącenia pieszego z prędkością 70 km/h wynika, że w opisane sytuacji z dystraktorami piesi nie mają szansy na przeżycie potencjalnego wypadku.

Analizując dostępne dane przedstawiono dwa skrajne profile, które obrazują gradient redukcji prędkości. Standardowa analiza czasu reakcji RT zakłada zero-jedynkowy model działania kierowcy. Brak reakcji lub pełne hamowanie. Analiza zapisów pomiarowych prędkości w funkcji dystansu, pozwoliła na obalenie tego założenia. Zidentyfikowano zjawisko wahania siły nacisku na dźwignię hamulca, wynikające prawdopodobnie przez zadanie dodatkowe (dystraktor uwagi). By w pełni zilustrować przedmiotowe zjawisko wyodrębniono dwa skrajne przypadki. Profil A wykazuje pełną gotowość motoryczną, jest to uczestnik p03 w wieku 25 lat, przejazd s3k30 (30 km/h, bodziec świetlny). Brak głębokiej dystrakcji. Profil B wykazuje

zamrożenie poznawczo-motoryczne. Uczestnik p26, w wieku 47 lat, przejazd s2k90 (90 km/h, zadanie N-back).

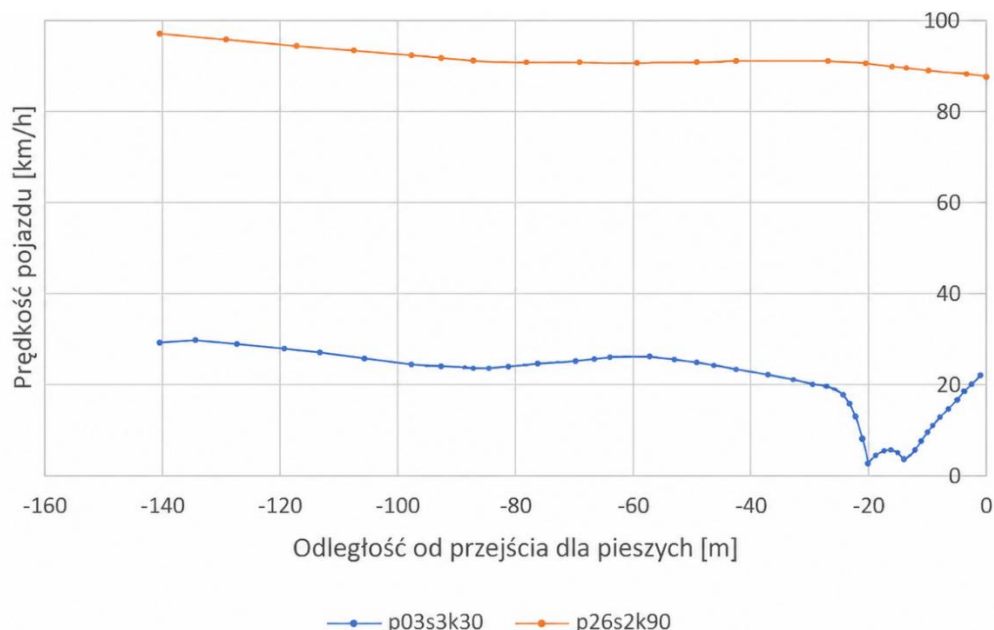
Poniżej przedstawiono tabelę, by porównać profile w strefie krytycznej, czyli ostatnie 40 metrów przed przejściem dla pieszych.

Tabela 19. Porównanie profili prędkości w strefie krytycznej

Dystans do pieszego (x)	Profil A (P03 - k30, brak N-back)	Profil B (P26 - k90, zadanie N-back)	Analiza zachowania
40 metrów	30 km/h (Utrzymuje V)	90 km/h (Utrzymuje V)	Brak reakcji obu kierowców.
30 metrów	30 km/h	90 km/h	Profil A zaczyna proces decyzyjny.
20 metrów	15 km/h (Gwałtowny spadek)	88 km/h (Minimalna redukcja)	P03 uruchamia hamulec. P26 naciska dźwignię hamulca, kora mózgowa nadal liczy N-back.
10 metrów	0 km/h (Pojazd zatrzymany)	81 km/h (Łagodne zwalnianie)	P03 bezpieczny. P26 orientuje się w sytuacji za późno.
0 metrów (Przejście)	0 km/h	74 km/h (KOLIZJA)	Uderzenie przy 74 km/h ze względu na zbyt słaby gradient hamowania.

Źródło: opracowanie własne.

Z danych zaprezentowanych w tabeli 19 wynika, że obciążenie pamięci operacyjnej N-back prowadzi do upośledzenia tzw. jakości hamowania. Uczestnik p26 mimo fizycznego uruchomienia dźwigni hamowania na około 25 metrów przed przeszkodą nie wygenerował maksymalnego hamowania.



Wykres 41. Krzywa redukcji prędkości

Źródło: opracowanie własne.

Analizując wyniki czasów reakcji, zauważono niezwykle ciekawe zależności dotyczące bezpieczeństwa ruchu drogowego. W badaniach nad bezpieczeństwem ruchu drogowego (BRD) wskaźnik odstępu czasowego (Time headway - TH) jest jedną

z najważniejszych miar proaktywnego bezpieczeństwa. Pozwala on ocenić nie tyle samą prędkość pojazdu, ale margines czasowy jaki został kierowcy do uderzenia w przeszkodę. TH to czas jaki upłynie, zanim przód pojazdu osiągnie aktualną pozycję pieszego, przy założeniu że aktualna prędkość zostanie niezmienna.

W odniesieniu do wskaźnika TH wyróżnia się trzy poziomy determinujące szanse na uniknięcie wypadku:

- strefa bezpieczna $TH > 2$ s, gdzie kierowca posiada pełną kontrolę nad sytuacją, czas ten pozwala na zauważenie pieszego, podjęcie decyzji i łagodne wyhamowanie pojazdu bez narażenia pasażerów na przeciążenia. W odniesieniu do analizowanych danych to dystans powyżej 60 m przy 90 km/h,
- strefa ostrzegawcza $1 \text{ s} < TH < 2 \text{ s}$, margines błędu gwałtownie się kurczy, wymagana jest natychmiastowa reakcję motoryczna, każda mili sekunda zwłoki przesuwą kierowcę do strefy czerwonej, punktu w którym nie będzie możliwości uniknięcia wypadku,
- strefa krytyczna, punkt nieodwracalności $TH < 1$ s, jest to strefa zderzenia nieuchronnego dla większości populacji, średni czas reakcji RT człowieka to ok. 0,8-1,2 s. Jeśli TH wynosi 0,8 s, a kierowca dopiero zauważył pieszego uderzy w niego z pełną prędkością.

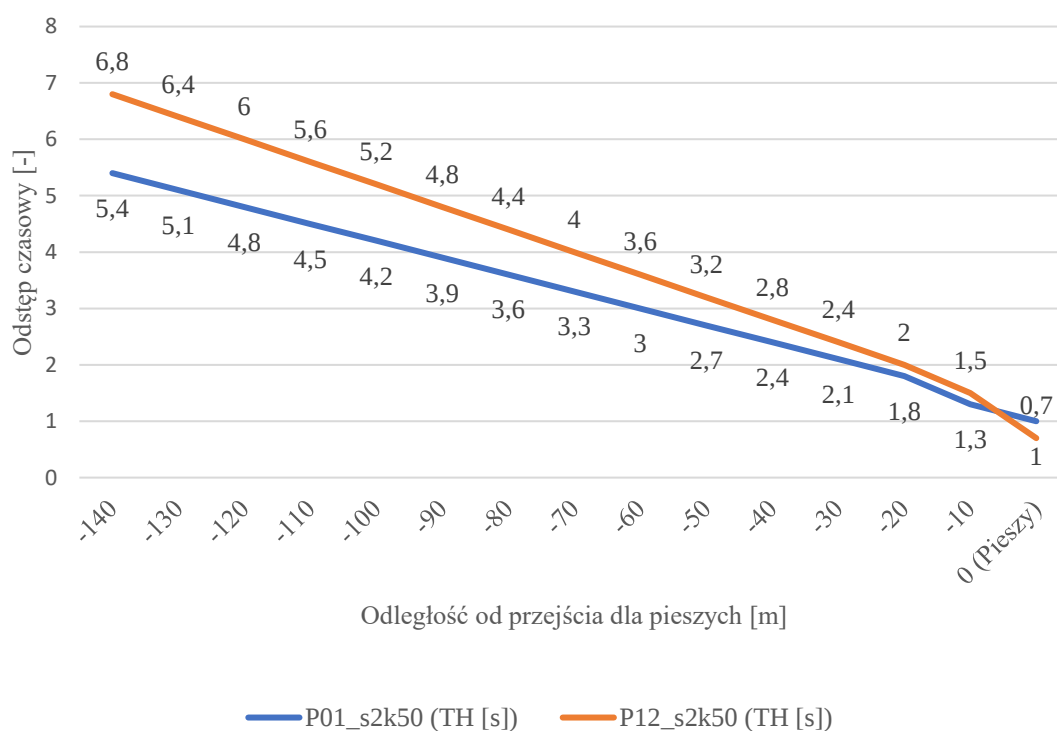
W tabeli nr 20 przedstawiono analizę dostępnych danych dla dwóch kierowców w kontekście wskaźnika TH. Zestawienie zawiera dane dotyczące przejazdu kierowcy młodego p01 oraz seniora p12. Uczestnicy zostali wybrani ze względu na paradygmat skrajnych projektowych grup użytkowników. Jeśli infrastruktura bezpieczeństwa ruchu drogowego ma być efektywna, musi być czytelna oraz efektywna dla grup o skrajnych możliwościach percepcyjnych.

Tabela 20. Porównanie przykładowych uczestników badania w odniesieniu do wskaźnika TH

Dystans [m]	P01_s2k70 (TH [s])	P12_s2k70 (TH [s])
-140	7,2	7,2
-130	6,85	6,69
-120	6,55	6,17
-110	6,2	5,66
-100	5,82	5,14
-90	5,45	4,63
-80	5,15	4,11
-70	4,8	3,6
-60	4,4	3,08
-50	4,15	2,57
-40 (D6)	3,85	2,05
-30	3,2	1,54
-20	2,85	1,02
-10	1,9	0,51
0 (Pieszy)	0,9	0

Źródło: opracowanie własne.

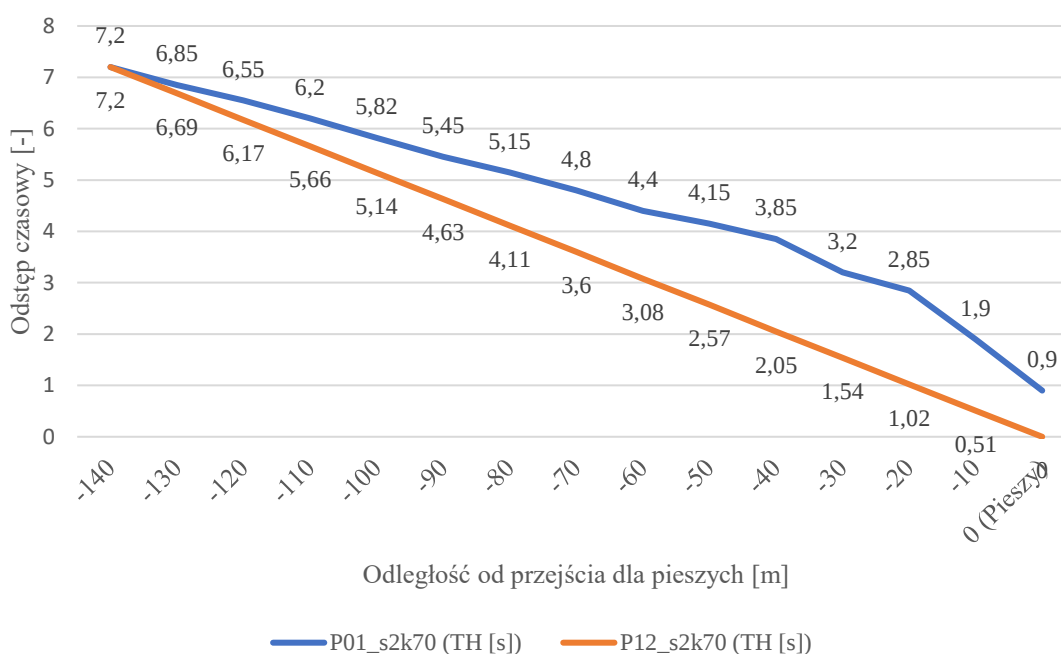
Dane przedstawione w tabeli 20, stanowią dowód na całkowitą degradację marginesu czasu u kierowcy p12. Co zostało zaprezentowane na wykresie nr 42.



Wykres 42. Porównanie marginesu czasu do zderzenia dla kierowców p01 oraz p12 (50 km/h)

Źródło: opracowanie własne.

Dla prędkości 50 km/h kierowca mężczyzna (30 lat) utrzymywał umiarkowany margines błędu, podczas zbliżania się do przejścia dla pieszych następował stopniowy spadek wartości TH. Świadczy to o prawidłowej ocenie sytuacji w jakiej znajdował się kierowca, jednak dodatkowo wskazuje na większą skłonność do utrzymywania krótszego odstępu od potencjalnego zagrożenia. Kierowca mężczyzna (52 lata) prezentował odmienny profil zachowania, jak również utrzymywał wyższe wskaźniki TH, oznacza to że stosował bardziej zachowawczą strategię podczas zbliżania się do przejścia dla pieszych. Z danych wynika, że zachowywał on większy odstęp czasowy. Taka strategia jest charakterystyczna dla kierowców z większym doświadczeniem, w kontekście prowadzenia pojazdów.

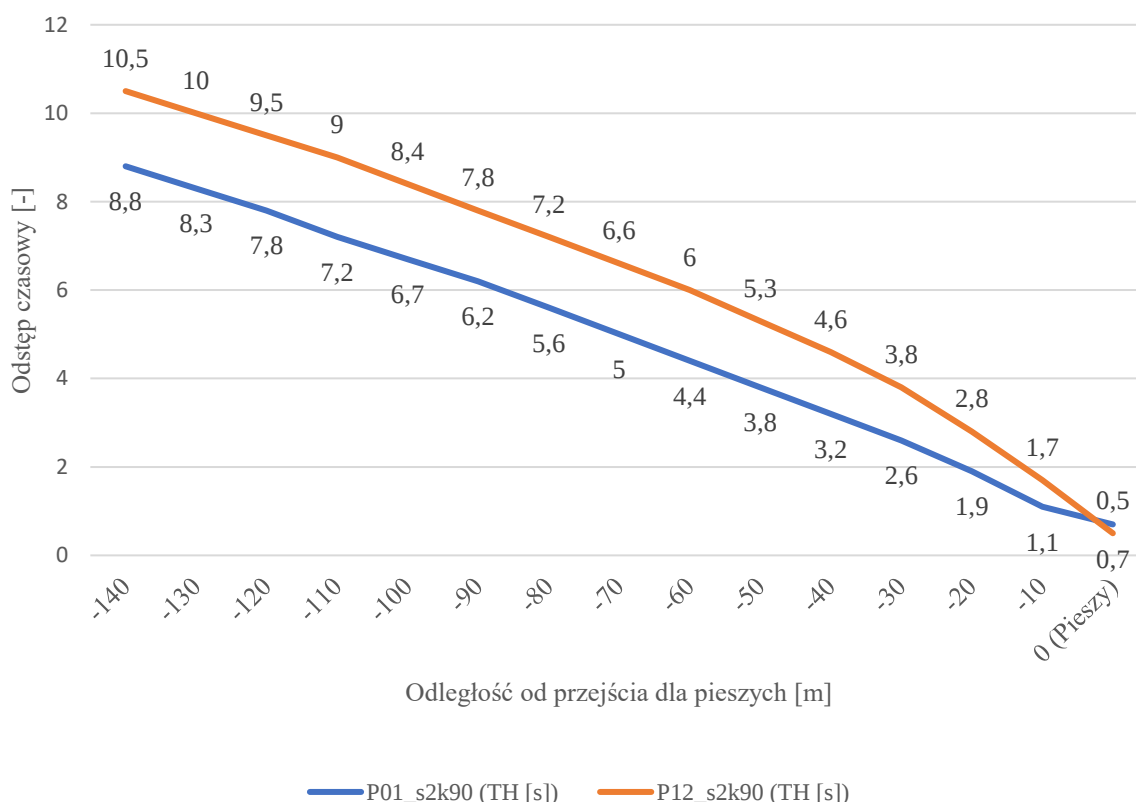


Wykres 43. Porównanie marginesu czasu do zderzenia dla kierowców p01 oraz p12 (70 km/h)

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki dla prędkości 70 km/h wskazują, że kierowca mężczyzna (30 lat), w porównaniu do kierowcy mężczyzna (52 lata) zachowywał bardziej stabilny przebieg wskaźnika niż kierowca starszy. Spadek wartości TH następował w sposób równomierny. Wyniki te sugerują, skuteczniejszą adaptację do warunków ruchu oraz większą możliwość wykorzystania pozyskanych informacji wzrokowych podczas obserwacji otoczenia przez kierowcę młodszego.

Kierowca starszy w początkowej fazie zachował margines błędu dla wskaźnika TH, jednak zbliżając się do przejścia dla pieszych odnotowano gwałtowny spadek w porównaniu z kierowcą młodszym. Może to wskazywać na późniejsze rozpoznanie konieczności podjęcia działania i oceną sytuacji ruchowej.



Wykres 44. Porównanie marginesu czasu do zderzenia dla kierowców p01 oraz p12 (90 km/h)

Źródło: opracowanie własne.

Pomimo znacznego wzrostu ryzyka związanego z wysoką prędkością zbliżania się do przejścia dla pieszych kierowca młodszy utrzymywał niskie wartości TH. Oznacza to, że był on w pełni skłonny akceptować wysokie ryzyko, czego konsekwencją jest podjęcie działań przy niskim marginesie bezpieczeństwa. Jest to charakterystyczne zachowanie cechujące młodszych kierowców.

W odniesieniu do kierowcy mężczyzna (52 lata) wyniki dotyczące prędkości 90 km/h wskazują na zachowawcze podejście do próby, w odniesieniu do TH dla analizowanego odcinka. Wskazuje to, że wzrost prędkości był przez niego interpretowany jako czynnik zwiększający ryzyko potrącenia pieszego, co skutkowało świadomym zwiększeniem marginesu błędu.

Przeprowadzona analiza wskaźnika TH (Time Headway) wykazała istotne różnice pomiędzy kierowcą młodszym i starszym podczas przejazdu w środowisku symulatorowym. Kierowca młodszy charakteryzował się bardziej dynamicznym stylem jazdy i częściej utrzymywał niższe wartości TH, co wskazuje na większą akceptację ryzyka oraz mniejszy margines bezpieczeństwa. Z kolei kierowca starszy wykazywał tendencję do utrzymywania większych odstępów czasowych, co świadczy o bardziej defensywnej strategii prowadzenia pojazdu.

Wyniki sugerują, że wiek kierowcy wpływa nie tylko na sposób obserwacji otoczenia rejestrowany, ale również na proces podejmowania decyzji związanych z oceną zagrożenia. Kierowca starszy częściej kompensował wzrost ryzyka poprzez zwiększanie odstępu czasowego, natomiast kierowca młodszy opierał się bardziej na własnych możliwościach szybkiej reakcji. Reakcje kierowców analizowane były pod kątem tożsamych warunków ruchowych.

Dla poszczególnych scenariuszy osoby wyzwalały w podobnych odległościach do przejścia dla pieszych. Poniżej przedstawiono zależność wzbudzenia:

- dla 90 km/h pieszy pojawia się około 50-60 m przed przejściem dla pieszych,
- dla 70 km/h pieszy pojawia się około 40-45 m przed przejściem dla pieszych,
- dla 50 km/h pieszy pojawia się około 25-30 m przed przejściem dla pieszych,
- dla 30 km/h pieszy pojawia się około 15-20 m przed przejściem dla pieszych.

W tabeli 21 przedstawiono moment pojawienia się przeszkody podczas wykonywania badania.

Tabela 21. Dystans pojawienia się przeszkody podczas wykonywania badania

Uczestnik	Wariant k30	Wariant k50	Wariant k70	Wariant k90
P01	19 m	—	44 m	62 m
P02	—	32 m	42 m	60 m
P03	20 m	31 m	45 m	—
P04	—	33 m	46 m	64 m
P05	19 m	34 m	—	61 m
P06	21 m	32 m	44 m	—
P07	18 m	—	43 m	63 m
P08	20 m	35 m	—	65 m
P09	19 m	31 m	45 m	—
P10	22 m	33 m	—	60 m
P11	—	34 m	44 m	62 m
P12	18 m	—	45 m	63 m
P13	20 m	—	44 m	61 m
P14	—	32 m	45 m	64 m
P15	19 m	31 m	43 m	—
P16	—	33 m	—	65 m
P17	21 m	32 m	—	62 m
P18	19 m	—	44 m	61 m
P19	—	34 m	45 m	63 m
P20	18 m	32 m	46 m	—
P21	20 m	33 m	—	62 m
P22	19 m	31 m	44 m	—
P23	—	34 m	45 m	61 m
P24	21 m	—	43 m	64 m
P25	20 m	32 m	44 m	—
P26	19 m	—	43 m	60 m

Źródło: opracowanie własne.

Badanie zostało zaplanowane w taki sposób, że we wszystkich wariantach maksymalny czas reakcji kierowcy to od 2,3 do 2,5 sekundy od pojawienia się pieszego do potencjalnego uderzenia. W przedmiotowym badaniu trudność była identyczna dla każdego uczestnika niezależnie od prędkości. Jednak analizując wyniki nie każdy z kierowców dostosowywał prędkość (pomimo tego, że jechał według nakazanej prędkości dla scenariusza) do panujących warunków i różna była reakcja dla poszczególnych sygnałów ostrzegawczych informujących o możliwej kolizji z niechronionym uczestnikiem ruchu drogowego.

Dodatkowo widoczność znaków podczas przeprowadzonych badań była różna a jej wpływ był zależny od zadanej prędkości. Znak D-6 ustawiony był bezpośrednio przy przejściu dla pieszych i jego widoczność dla kierowcy było to 80-100 metrów przed znakiem. Potwierdzają to dane, gdzie rejestrowano korekcję prędkości co sugeruje

rozpoznanie i zrozumienie znaku. Znaki zmiennej treści VMS widoczne były już z odległości 100-120 metrów.

Kierowcy widząc i rozumiejąc znak na 100 metrów przed przejściem dla pieszych mają proporcjonalnie różny czas reakcji na sytuację. Dla prędkości 30 km/h aż 12 sekund, prędkość 50 km/h - 7,2 sekundy. Dla prędkości 70 km/h czas to 5,1 sekundy i jest to krótki czas na analizę treści znaku, jednak przy 90 km/h kierowca ma tylko 4 sekundy na analizę sytuacji i podjęcie decyzji. W praktyce oznacza, że jeśli kierowca spojrzy na sekundę na dystraktor uwagi może minąć znak nie rejestrując go.

W odniesieniu do zapisów pomiarowych otrzymanych z symulatora jazdy przeprowadzono analizę krzyżową z kilku zestawów danych. Pozyskano informacje o potwierdzonych potrąceniach z winy kierowcy oraz prędkości uderzenia. Następnie ustalono faktyczną prędkość wjazdu w strefę pomiarową dla punktu 140 metrów przed przejściem dla pieszych, co pozwoliło zweryfikować skrajne przypadki gdzie kierowcy łamali narzucone limity. Przykładem takiego zachowania był uczestnik numer P26.

Wyniki badań potwierdzają skuteczność znaków aktywnych. W ich przypadku jeśli dochodziło do zderzenia, to prędkość uderzenia była zazwyczaj o 20-30 km/h niższa niż w odniesieniu do znaku D-6. Oznacza to, że znaki aktywne wymuszają na kierowcy formę reakcji zanim kierowca zobaczył pieszego lub innego uczestnika ruchu drogowego. Jeśli w badaniu implementowano zadanie typu N-back, powodowało to ignorowanie znaku D-6. Przy zastosowaniu analogicznego zadania przykładowo przypadek P19-S03 (znak aktywny VMS), kierowca zdołał zredukować prędkość z 80 km/h do 21 km/h i dzięki temu w przypadku sytuacji w warunkach rzeczywistych pieszy miałby 90% szans na przeżycie. W przypadku potrącenia z prędkością 80 km/h śmierć pieszego byłaby pewna.

Poniżej procentowo przedstawiono różnicę w prędkości początkowej, a tej z jaką kierowca potrącił niechronionego uczestnika ruchu drogowego.

Kluczowym parametrem w tabeli nr 22 jest przewencyjna redukcja prędkości, która wskazuje o ile km/h kierowca zwolnił między 140 m przed przejściem dla pieszych do około ostatnich 40 metrów.

Tabela 22. Prewencyjna redukcja prędkości w strefie pomiarowej od 140 m

ID Przejazdu	Typ znaku	V wjazd (-140m)	V przed pasami (-40m)	Redukcja Prewencyjna [%]	V uderzenia (0m)	Redukcja Całkowita [%]	Kontekst / Distraktor
P15-S01	Aktywny	64,4	54,4	15,50%	13,4	79,20%	Pieszy
P16-S01 (1)	Aktywny	72,4	34,6	52,20%	28,7	60,40%	Rowerzysta
P16-S01 (2)	Aktywny	72,4	33	54,40%	28,7	60,40%	Pieszy
P19-S03	Aktywny	79,8	39,4	50,60%	21	73,70%	n-back (rozproszenie)
P23-S01	Aktywny	55,6	17,4	68,70%	3,1	94,40%	Pieszy
P29-S02	Aktywny	77,5	37,6	51,50%	32,1	58,60%	SURT (rozproszenie)
P22-S01	Aktywny	46,8	45,4	3,10%	38,2	18,40%	Pieszy
P08-S01 (1)	Aktywny	91,8	88,8	3,20%	35,9	60,90%	Pieszy
P12-S01	Aktywny	70,4	67,7	3,80%	34,9	50,40%	Pieszy
P26-S02	Aktywny	80,8	74,4	8,00%	53,8	33,50%	n-back + Pieszy
P04-S01	Standard	76,5	78,4	-2,5% (przyp.)	57,6	24,70%	Pieszy
P12-S01	Standard	70,4	67,7	3,80%	10,3	85,30%	Rowerzysta
P08-S01 (2)	Standard	91,8	88,8	3,20%	29,8	67,50%	Rowerzysta
P11-S01	Standard	66,1	54,8	17,10%	32,5	50,90%	Pieszy
P08-S03	Standard	54,3	43,7	19,50%	16,3	70,00%	Rowerzysta n-back
P11-S02	Standard	92,5	37,9	59,00%	23,8	74,30%	Pieszy SURT

Źródło: opracowanie własne.

W tabeli nr 23 przedstawiono wyniki potwierdzające większą skuteczność znaków aktywnych nad znakiem klasycznym D-6.

Tabela 23. Analiza skuteczności znaków aktywnych

Parametr Porównawczy	Znak Standardowy (D-6)	Znaki Aktywne (VMS)	Wniosek
Średnia Redukcja Prewencyjna	16,66%	32,55%	Kierowcy przy VMS zwalniają 2x mocniej przed dojazdem do pasów.
Działanie przy dystrakcji	Często brak (np. P04)	Skuteczne (np. P19, P29)	Bodziec świetlny „budzi” kierowcę z n-back/SURT.
Charakter hamowania	Reaktywne (na pieszego)	Proaktywne (na znak)	VMS daje czas na błąd; D-6 go zabiera.

Źródło: opracowanie własne.

Dla znaku D-6 P04-SO1, kierowca nie wykonał procesu hamowania i nie zwolnił przed przejściem dla pieszych, dane wskazują że przyspieszył o 2,5%. Dopiero pojawienia się pieszego (dziecka), spowodowało gwałtowne hamowanie, które zakończyło się potrąceniem przy prędkości 57 km/h. Dla znaków aktywnych dla prób P16, P19, P23 kierowcy redukowali prędkość od 50-68% jeszcze zanim niechroniony uczestnik ruchu drogowego pojawił się na przejściu dla pieszych. Oznacza to, że w momencie faktycznego zagrożenia ich prędkość bazowa byłaby na tyle niska, że skutki wypadku byłyby istotnie mniejsze.

Wyniki analiz dowodzą, że znaki aktywne korygują zachowanie kierowcy już na etapie zbliżania się do przejścia, zwiększając margines bezpieczeństwa o ponad 100%

w stosunku do oznakowania pasywnego D-6. Kierowcy przy znakach aktywnych (VMS) średnio wytracają ponad połowę (54%) swojej prędkości wjazdu przed zderzeniem. Przy znaku D-6 redukcja jest mniejsza (43%), co sugeruje, że kierowca albo nie widzi pieszego, albo widzi go zbyt późno, by siła hamowania przyniosła efekt. Średnia prędkość wjazdu dla VMS była niższa (70,9 km/h) niż dla D-6 (75,3 km/h). Oznacza to, że same znaki aktywne skłaniają kierowców do zmniejszenia prędkości jeszcze zanim pojawi się fizyczne zagrożenie. W przypadku znaków D-6 uderzenie następuje z prędkością bliską 45 km/h. Przy znakach aktywnych średnia spada do 32 km/h. W medycynie wypadkowej to granica między ciężkimi obrażeniami a ryzykiem zgonu. W grupie VMS, nawet przy wysokim obciążeniu poznawczym (n-back), kierowcy wciąż osiągalili redukcje rzędu 33-51%. Świadczy to o tym, że bodziec świetlny jest skuteczniejszy w wybudzeniu kierowcy ze stanu „zamyślenia” niż tradycyjne oznakowanie.

6.5 Wyniki terenowych badań z wykorzystaniem eyetrackingu w rzeczywistych warunkach ruchowych – badania in-situ

Badania z wykorzystaniem technologii eyetrackingu w warunkach ruchowych stanowiły kluczowy element analizy zachowań pieszych i kierowców. Badania te umożliwiły ocenę sposobu obserwacji otoczenia drogowego, identyfikację miejsc koncentracji uwagi oraz określenie wpływu infrastruktury i czynników rozpraszających na zachowania kierowców oraz niechronionych uczestników ruchu drogowego. Przeprowadzone badania odnosiły się do problemu badawczego polegającego na parametryzacji wpływu strategii przeszukiwania wizualnego na efektywność identyfikacji pieszego i poprawność reakcji kierowcy. Ich głównym celem było poznanie postrzegania otoczenia przez pieszych oraz kierowców w rzeczywistych warunkach ruchowych. Uzyskane wyniki pozwoliły na weryfikację tezy rozprawy, zgodnie z którą pogłębiona analiza zachowań niechronionych uczestników ruchu i kierowców w bezpośrednim otoczeniu przejść dla pieszych, umożliwia opracowanie dodatkowych elementów systemu wspierającego bezpieczeństwo przejść dla pieszych.

W badaniu eyetrackingowym wzięło udział pięć osób, dobranych w sposób umożliwiający odzwierciedlenie zróżnicowanych profili kierowców pod względem doświadczenia oraz sposobem radzenia sobie w typowych sytuacjach drogowych. Każdy z uczestników reprezentował inną grupę kierowców. W grupie uwzględniono osoby,

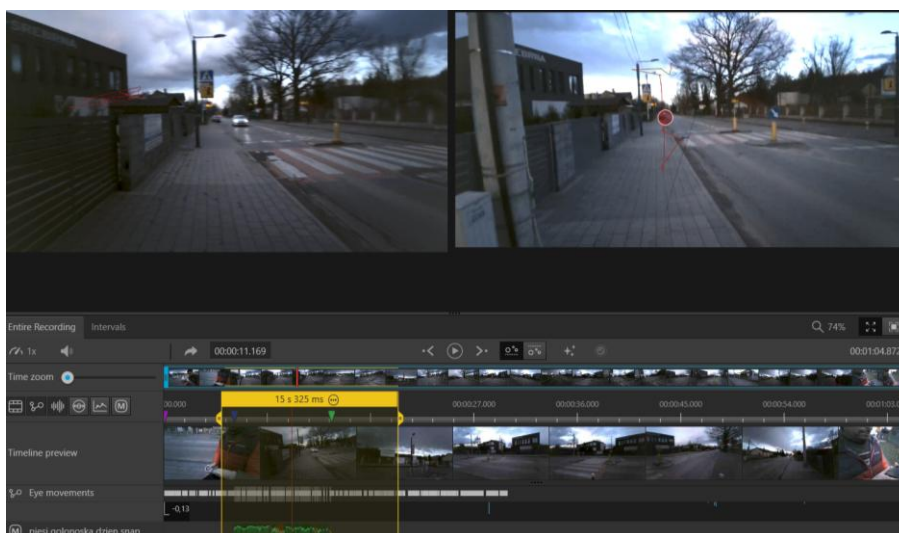
które od wielu lat regularnie poruszają się pojazdami i posiadają utrwalone nawyki dotyczące obserwacji otoczenia drogowego, oraz uczestnicy u których doświadczenie w prowadzeniu pojazdu jest mniejsze. Uwzględniono również zróżnicowanie płci, co pozwoliło dodatkowo poszerzyć zakres obserwowanych zachowań wzrokowych. Taki dobór uczestników badania pozwolił na analizę różnic w sposobie odbioru i interpretacji informacji wzrokowych w zależności od doświadczenia oraz wypracowanych wzorców zachowań kierowców.

Na rysunku nr 48 przedstawiono dokumentację terenowych badań eksperymentalnych z wykorzystaniem mobilnego systemu śledzenia ruchu gałek ocznych (eyetracker). Celem badania była analiza zachowań wzrokowych uczestników ruchu drogowego pieszych oraz kierowców pojazdów w rejonie przejść dla pieszych. Na zdjęciach zaprezentowano zarówno pieszych wyposażonych w okulary z wbudowanym eyetrackerem podczas pokonywania przejścia dla pieszych, jak i kierowców pojazdów uczestniczących w badaniu z użyciem analogicznego systemu rejestracji ruchów gałek ocznych. Fotografie ilustrują rzeczywiste warunki prowadzenia badań, sposób montażu urządzeń pomiarowych oraz kontekst przestrzenny realizowanych pomiarów. Materiał fotograficzny stanowi uzupełnienie części metodologicznej pracy i pozwala na lepsze zobrazowanie organizacji badania, przebiegu procedury pomiarowej oraz środowiska, w którym rejestrowano dane okulograficzne.



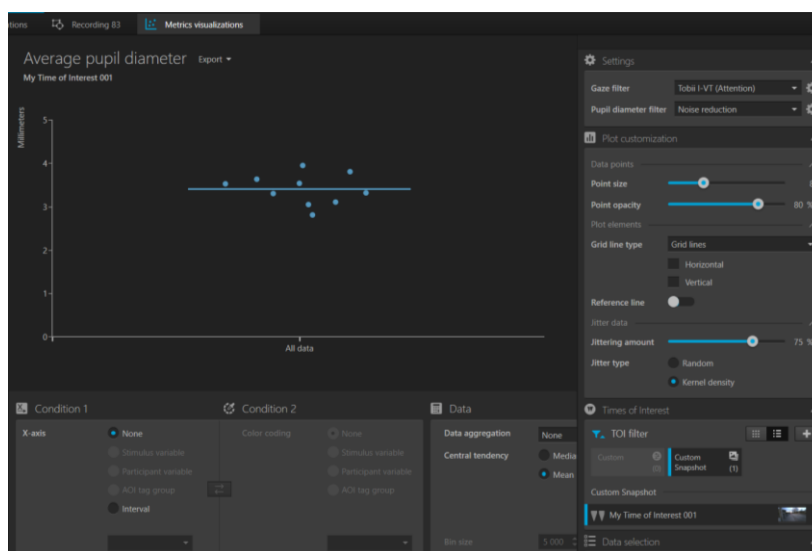
Rysunek 48. Zdjęcie poglądowe – terenowe badania eyetrackingowe
Źródło: opracowanie własne.

Poniżej zaprezentowano zapisy z urządzenia eyetrackingowego TOBII PRO. Przedstawiono wyniki pomiarów dla pory dziennej w miejscowości Dąbrowa Górnicza, ulica Gołonoska, dla grupy uczestniczących w badaniu pieszych zbliżających się oraz przechodzących przez przejście dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej. Na rysunku 49 przedstawiono rejestrację wideo badanego przejścia dla pieszych.



Rysunek 49. Badane przejście dla pieszych ul. Gołonoska w Dąbrowie Górniczej
Źródło: opracowanie własne.

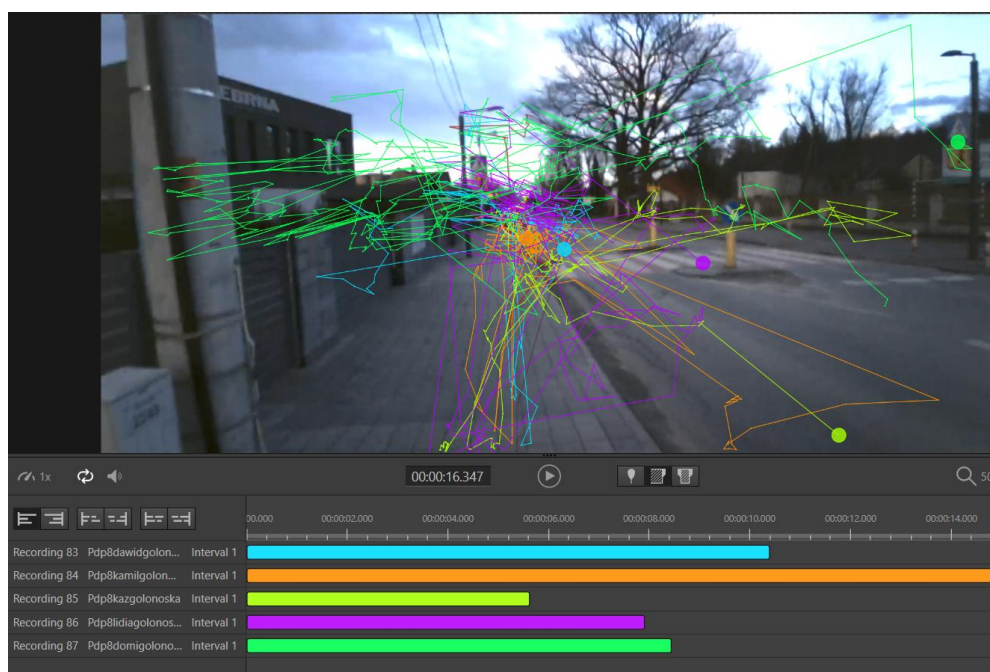
Analizując wyniki pomiarów dla badanej grupy pieszych zbliżających się do przejścia dla pieszych zgodnie z informacjami przekazanymi przez uczestników badań stwierdza się, że osoby biorące udział w badaniu w momencie prowadzonych prac były w dobrej kondycji fizycznej. Stan ten został potwierdzony w czasie badania, gdyż średnica źrenic znajdowała się w granicach ogólnie przyjętych norm, powyżej 3mm, bez większych odchylek w obu kierunkach.



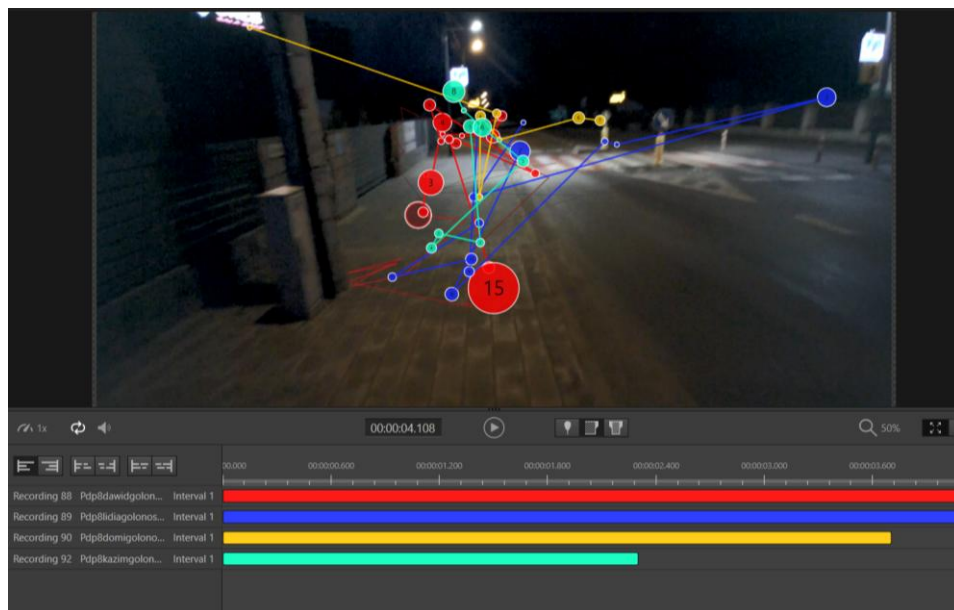
Rysunek 50. Średnia wartość średnicy źrenicy
Źródło: opracowanie własne.

Analizując wyniki dla pory nocnej oraz daytime w odniesieniu do ruchów sakkadowych warto poszerzyć informacje na temat przedmiotowego zjawiska.

Analizując wyniki sakkad (ścieżki śledzenia wzroku) dla przejścia dla pieszych w miejscowości Dąbrowa Górnicza w porze daytime jak i nocnej zauważa się znaczącą różnicę w liczbie punktów fiksacji wzroku, w porze nocnej co zaprezentowano na rysunkach 51 oraz 52. Obserwuje się znaczące zagęszczenie punktów oraz ograniczoną liczbę fiksacji, co oznacza większe skupienie na mniejszej powierzchni sceny ruchowej, w której znajdowali się uczestnicy badania. Dla porównania w porze daytime zauważa się znacząco większą aktywność przeszukiwania sceny ruchowej w stosunku do pory nocnej.

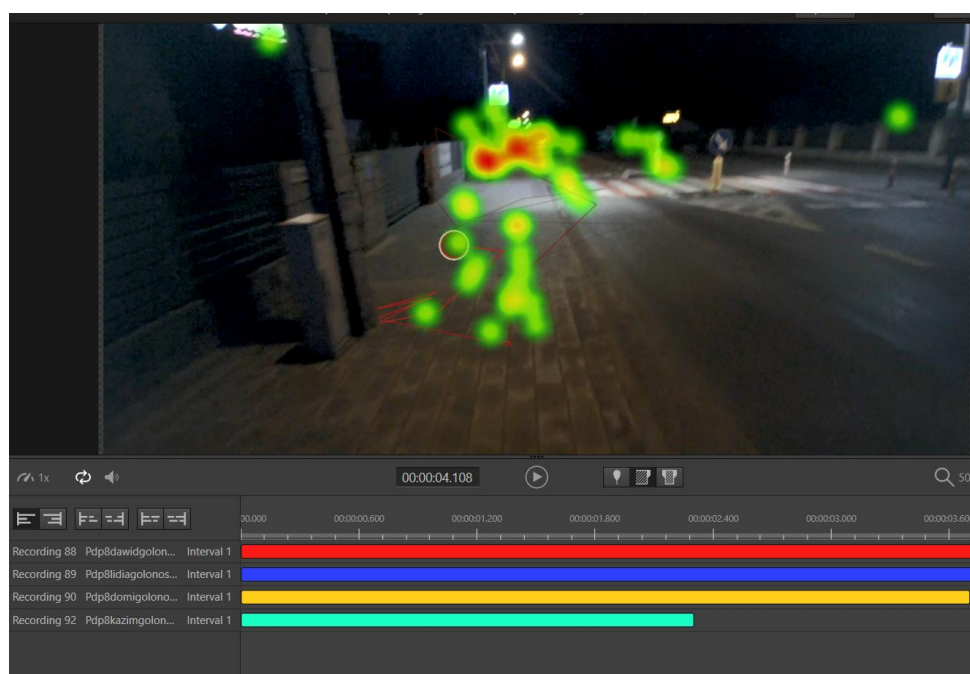


Rysunek 51. Ruchy sakkadowe – przejście dla pieszych ul. Gołonoska w Dąbrowie Górniczej – pora daytime
Źródło: opracowanie własne.

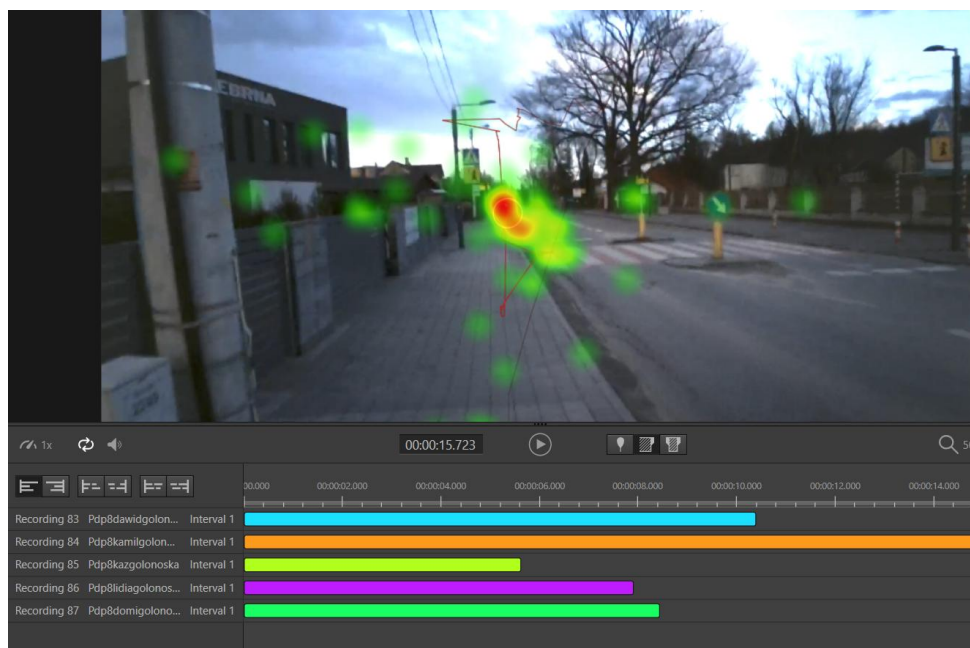


Rysunek 52. Ruchy sakkadowe – przejście dla pieszych ul. Gołonoska w Dąbrowie Górniczej – pora nocna
Źródło: opracowanie własne.

Powyższe potwierdza również obraz uzyskany dla pory dziennej oraz nocnej z wykorzystaniem map cieplnych, można zauważyć znacząco większą liczbę punktów fiksacji wzroku, większą aktywność uczestników badania w porze dziennej w porównaniu do pory nocnej.

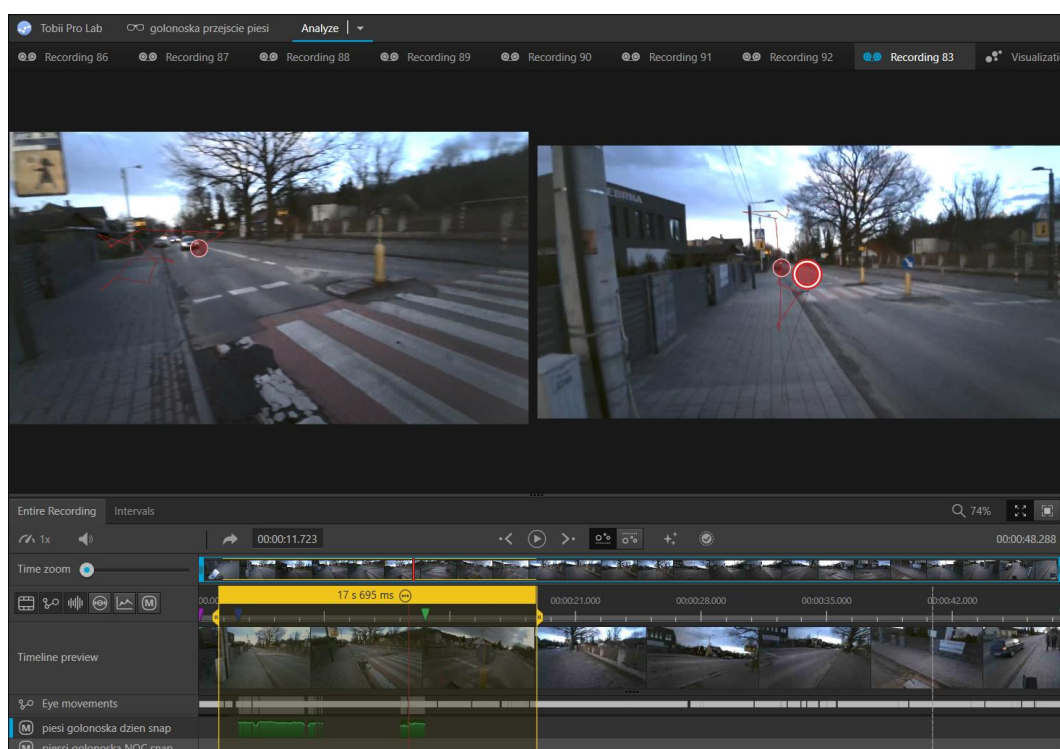


Rysunek 53. Mapa cieplna – przejście dla pieszych ul. Gołonoska w Dąbrowie Górniczej – pora nocna
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 54. Mapa cieplna – przejście dla pieszych ul. Gołonoska w Dąbrowie Górniczej – pora dzienna
Źródło: opracowanie własne.

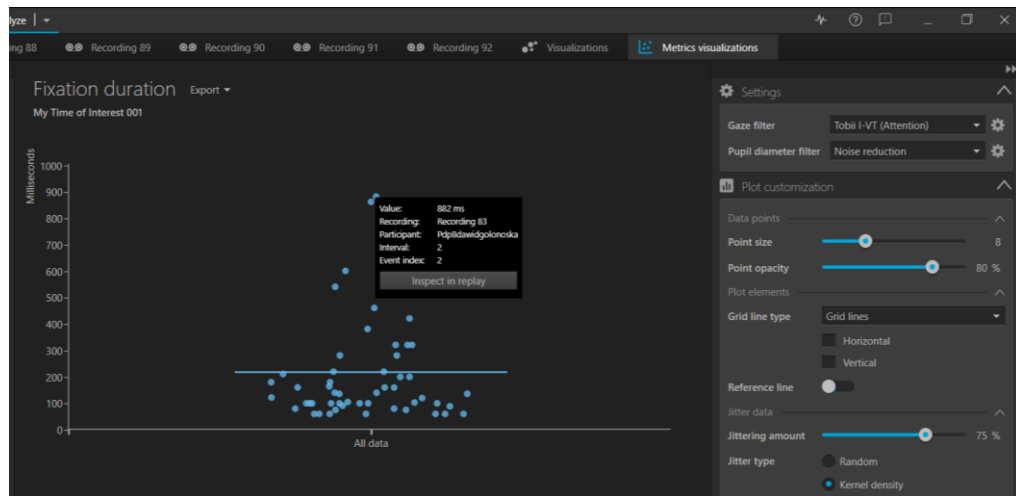
Na rysunku 55 przedstawiono sytuację podczas, której do przejścia dla pieszych zbliżał się pojazd mechaniczny.



Rysunek 55. Analiza fiksacji pieszy – pojazd ul. Gołonoska w Dąbrowie Górniczej
Źródło: opracowanie własne.

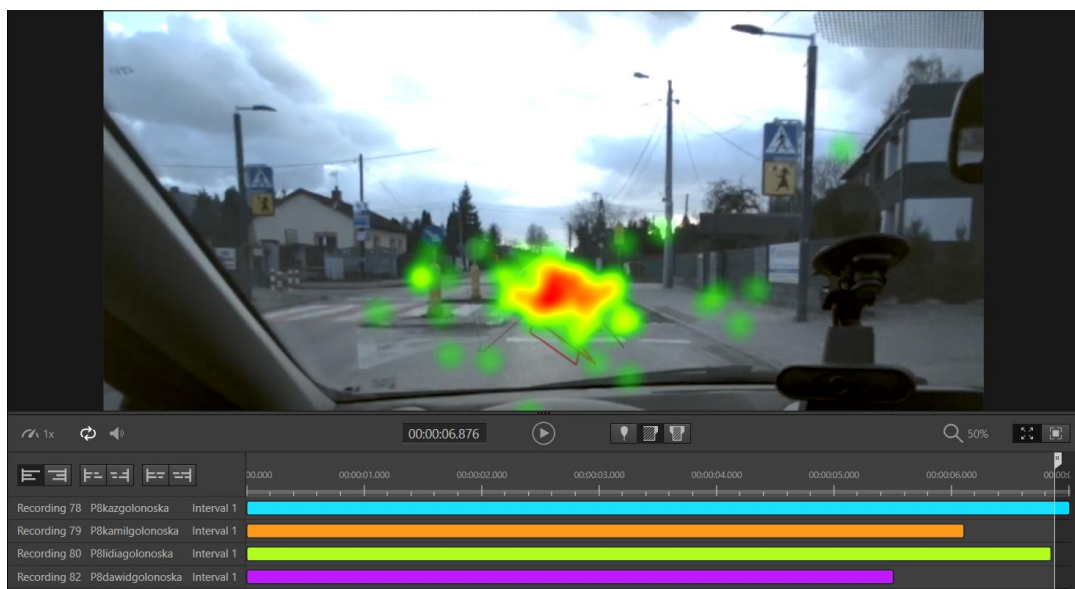
Analizując przykład związany ze zbliżającym się pojazdem mechanicznym, jak również porównując go z innymi przypadkami, w których pojazd w momencie zbliżania

się pieszego do przejścia dla pieszych nie zbliżał się, można stwierdzić że uczestnik badania w momencie zbliżania się do przejścia dla pieszych, co zostało potwierdzone na powyższej grafice, zbliżając się do przejścia dla pieszych fiksował wzrok na pojeździe.

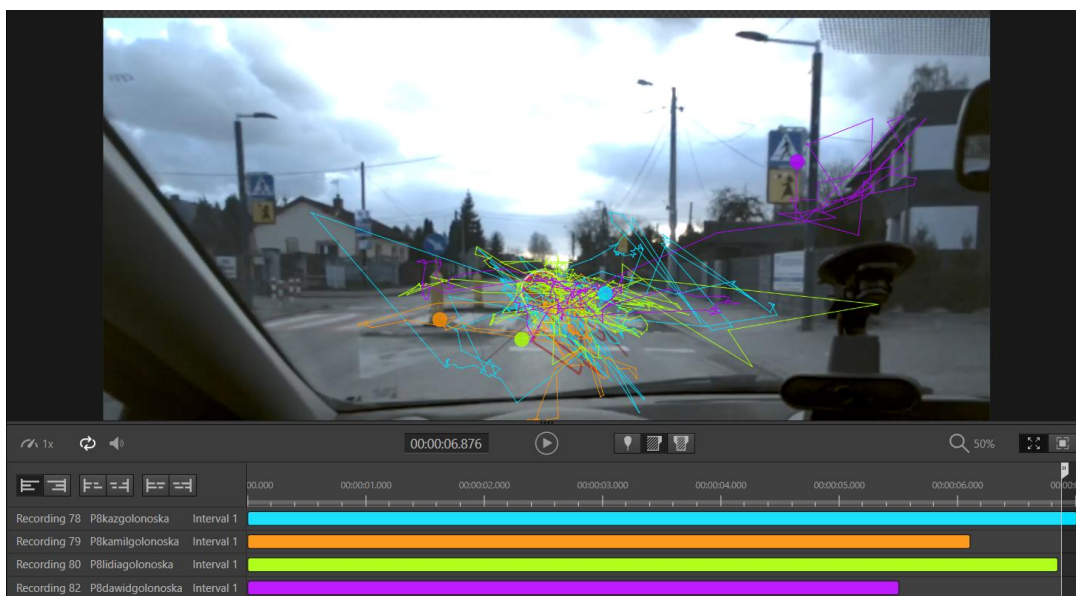


Rysunek 56. Czasy trwania fiksacji - potwierdzenie komunikacji pieszy - pojazd
Źródło: opracowanie własne.

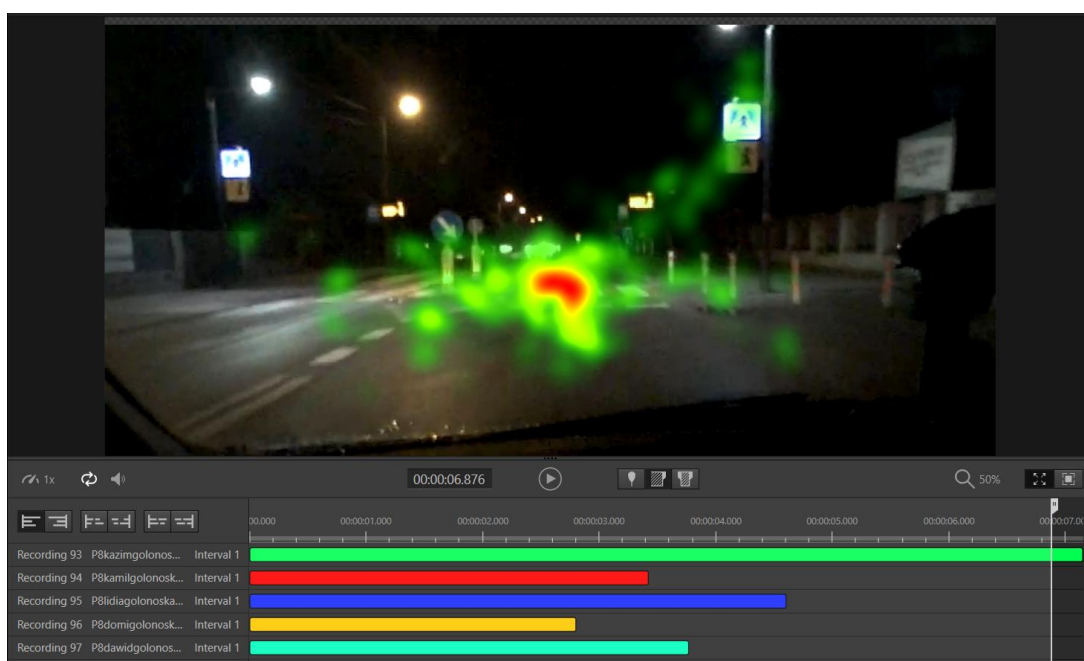
Potwierdzają to czasy trwania fiksacji wzroku umieszczone poniżej w czasie 882 ms oraz 862 ms dla pomiarów skrajnych, oznacza to że wykonano próbę komunikacji celem upewnienia się, że kierowca zbliżający ma świadomość o obecności pieszego. Pozostałe wyniki znajdujące się zdecydowanie poniżej średniej odnosiły się do przypadków, w których podczas zbliżania się pieszych do przejść dla pieszych żaden pojazd mechaniczny nie zbliżał się do przejścia dla pieszych.



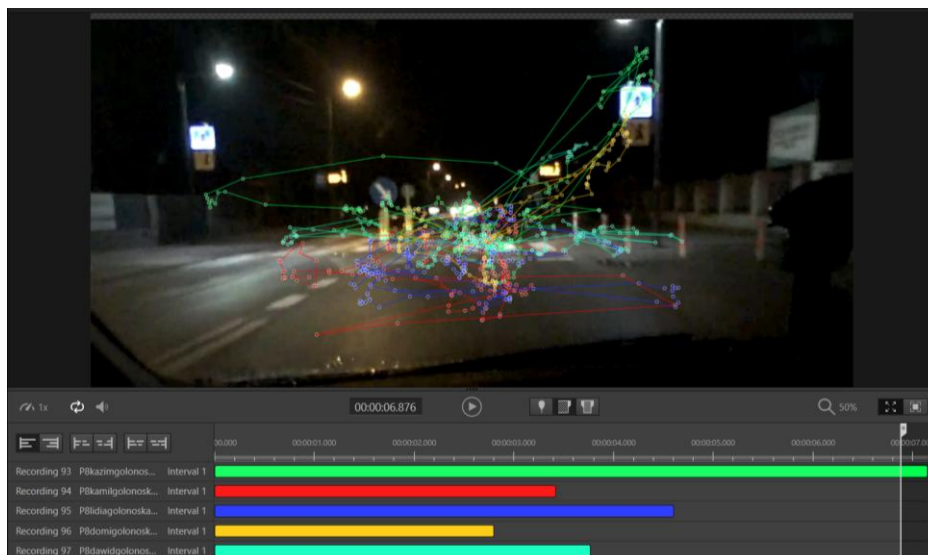
Rysunek 57. Mapy ciepła – przejazdy badanych Dąbrowa Górnicza – pora dzienna
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 58. Ruchy sakkadowe – przejazdy badanych Dąbrowa Górnicza – pora dzienna
 Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 59. Mapy ciepła – przejazdy badanych Dąbrowa Górnicza – pora nocna
 Źródło: opracowanie własne.



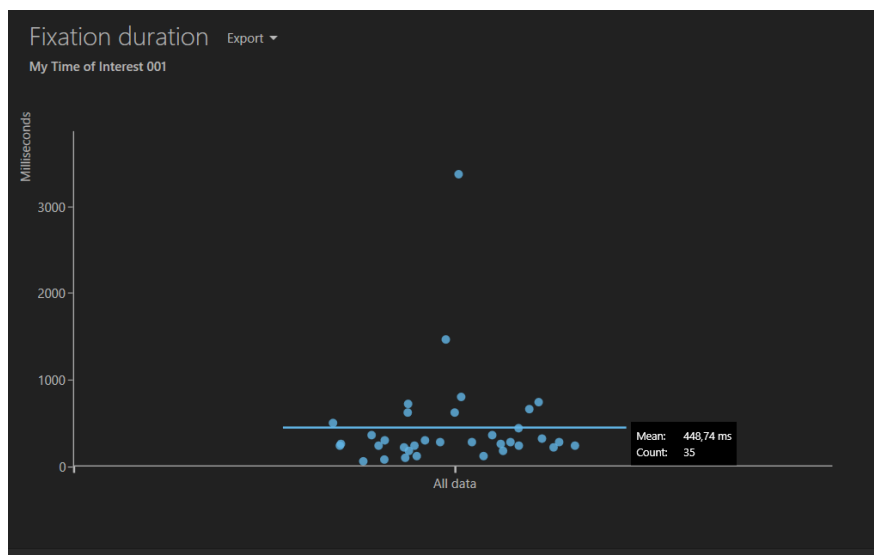
Rysunek 60. Ruchy sakkadowe – przejazdy badanych Dąbrowa Górnicza – pora nocna
Źródło: opracowanie własne.

Dla wyników badań zawartych na rysunkach 60 oraz 61 stwierdzono wzorzec „centralnej fiksacji” dla pory nocnej ze względu na to, iż zgodnie z literaturą w związku z wysokim poziomem obciążenia percepcyjnego w porze nocnej, kierowcy koncentrują wzrok na centralnej części jezdni aby utrzymać tor jazdy. Wynikiem tego jest niska eksploracja otoczenia. Ograniczone skanowanie pobocza, zmniejsza skuteczność wykrywania pieszych oraz znaków. Jednak dla wyników badań zauważa się, że większa aktywność przeszukiwania sceny ruchowej miała miejsce w porze nocnej aniżeli porze dziennej. Warto dodać, że podczas wykonywania prób grupa kierowców przejeżdżała przez przedmiotowe przejście dla pieszych po raz pierwszy oraz, że pierwsze w kolejności były przejazdy w porze dziennej, a następnie w porze nocnej. Przejścia dla pieszych podczas badań nie były znane wcześniej grupie biorącej udział w przedmiotowych badaniach. Co ciekawe dla klasycznych badań eyetrackingowych typowym jest silne skupienie wzroku na środku jezdni oraz zanik eksploracji bocznej, w badanym przypadku sytuacja była odwrotna. W ciągu dnia eksploracja boczna była mniejsza aniżeli nocą.

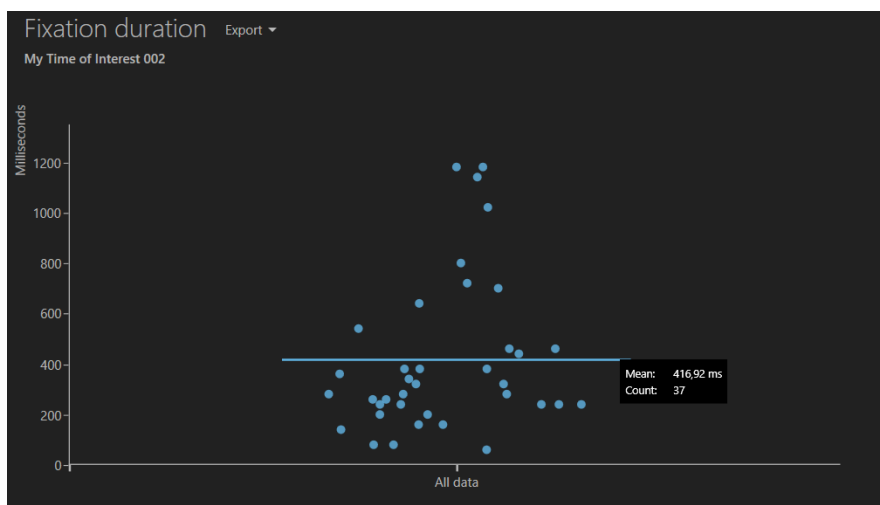
Kolejny wniosek dotyczy fiksacji wzroku na znakach. Wyniki powyższego badania wskazują, że kierowcy wykazywali większe skupienie wzroku na znakach informujących o przejściu dla pieszych w porze nocnej aniżeli dziennej. Jednakże porównując wyniki z dostępną literaturą doświadczeni kierowcy wykonują więcej fiksacji krótkich, ponieważ są w stanie przewidywać zagrożenia z pobocza, natomiast kierowcy mniej doświadczeni długo skupiają wzrok w jednym miejscu.

Kierowcy kontrolowali sytuację na poboczu twierdząc, że „kątem oka” byli świadomi sytuacji na przejściu dla pieszych, jednak badania eyetrackingowe dowodzą, że bez fiksacji mózg nie przetwarza kluczowych detali, szczególnie w porze nocnej. Oznacza to, że brak lub mała liczba fiksacji pobocza wiąże się z ryzykiem niewykrycia pieszego, co potwierdza również wynik badania przedstawionego poniżej, gdzie kierowca oświadczył, że był świadomy obecności pieszego, jednak jego reakcja oraz brak punktów fiksacji wskazuje brak potwierdzenia tej deklaracji.

Wysokie zagęszczenie fiksacji wzroku na jezdni może wskazywać na efekt „overfocusingu”, który spowalnia reakcję kierowcy w sytuacjach nagłych. Zjawisko to polega na nadmiernej koncentracji kierowcy na jednym bodźcu lub bardzo wąskim obszarze sceny ruchowej, kosztem monitorowania otoczenia.



Rysunek 61. Czas fiksacji wzroku dla pory dziennej w odniesieniu do kierowców
Źródło: opracowanie własne.

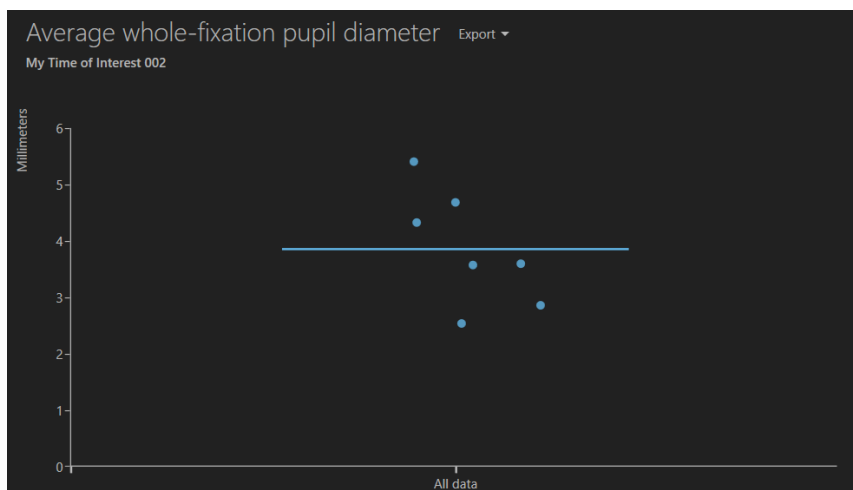


Rysunek 62. Czas fiksacji wzroku dla pory nocnej w odniesieniu do kierowców
Źródło: opracowanie własne.

Krótszy czas fiksacji wzroku w porze nocnej wskazuje na zwiększony poziom czujności i bardziej dynamiczne próbkowanie wzrokowe. W literaturze krótsze fiksacje wzrokowe kojarzone są z szybszym skanowaniem sceny, zwiększoną potrzebą aktualizacji informacji, jak również zwiększonym napięciem poznawczym. Kierowcy szybciej przetwarzali informacje nocą, co sugeruje wzrost percepcyjnego wysiłku kompensacyjnego. Analogicznie, dłuższy czas fiksacji w porze dziennej oznaczał, że informacje były przetwarzane z większym komfortem i mniejszym wysiłkiem poznawczym. Średnia 448 ms w dzień jest wyższa niż typowe czasy fiksacji kierowców, ponieważ zazwyczaj jest to od 200-300 ms. Może to oznaczać wyższy poziom szczegółowej analizy wzrokowej, większe poczucie bezpieczeństwa oraz mniejszą presję czasową wynikającą z warunków oświetleniowych. Dla badanej próby bardzo podobna liczba fiksacji, tj. 35 oraz 37 oznacza, że kierowcy nie zmienili strategii eksploracji przestrzeni, a jedynie tempo przetwarzania. Jest to bardzo istotne, ponieważ kierowcy wykonywali podobną liczbę fiksacji, oznacza to zmianę jakościową, a nie ilościową. Podobna liczba fiksacji przy zmianie czasu oznacza zmianę tempa przetwarzania. Krótszy czas fiksacji nocą świadczy o pogorszeniu zdolności do wykrywania bodźców peryferyjnych. Jest to kluczowe dla badań, ponieważ krótsze fiksacje nocą oraz zagęszczenie na osi jezdni zwiększa znacząco ryzyko niezauważenia pieszych wchodzących na przejście dla pieszych.

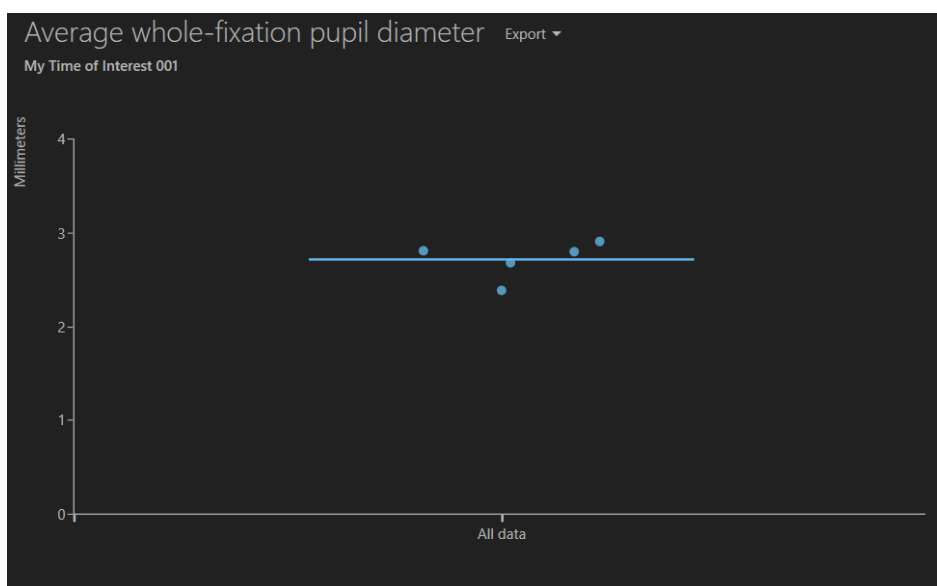
Wyższy średni czas fiksacji w porze dziennej sugeruje bardziej stabilny, kontrolowany sposób prowadzenia pojazdu. Dłuższe fiksacje łączone są z większą pewnością sytuacyjną, co przekłada się na mniejszą potrzebę ciągłych korekt.

Różnice w czasie fiksacji mogą wpływać na rzeczywisty czas reakcji, krótsze fiksacje oznaczają szybsze przetwarzanie, jednak większe ryzyko przeoczeń, dłuższe fiksacje stabilniejsze rozpoznawanie szczegółów, ale mniejszą częstotliwość skanowania sceny ruchowej. Na rysunku 63 przedstawiono średnie wartości średnic źrenic w odniesieniu do pełnych fiksacji wzroku w porze nocnej.



Rysunek 63. Średnie wartości średnic źrenic w odniesieniu do pełnych fiksacji wzroku w porze nocnej
Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 64 przedstawiono średnie wartości średnic źrenic w odniesieniu do pełnych fiksacji wzroku w porze dziennej.



Rysunek 64. Średnie wartości średnic źrenic w odniesieniu do pełnych fiksacji wzroku w porze dziennej
Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 65 przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych dla przejścia dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej, wyposażone w dodatkowe urządzenia wspierające bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego w miejscowości Mysłowice, ulica Mikołowska. Zaprezentowano zdjęcie miejsca realizacji badania dla grupy uczestników zarówno w porze dziennej, jak również w porze nocnej. Jest to

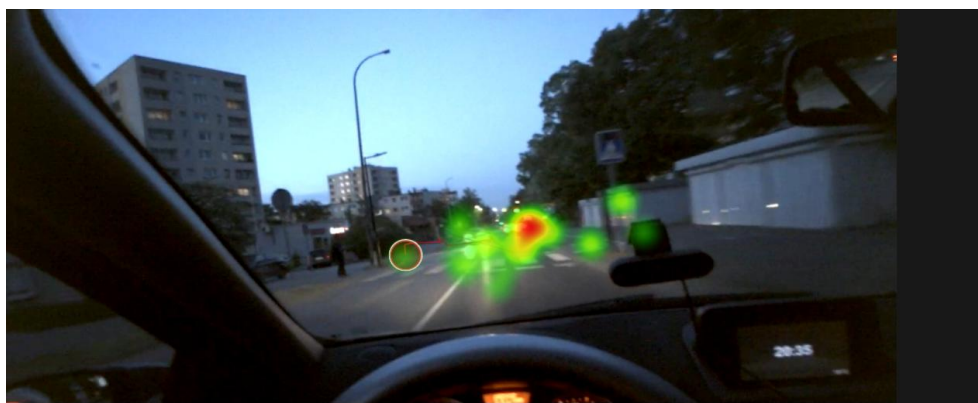
przejście newralgiczne ze względu na dużą liczbę pojazdów oraz pieszych poruszających się w bezpośrednim sąsiedztwie cmentarza. Przejście mające w swej historii sytuacje wypadkowe.



Rysunek 65. Badane przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach

Źródło: opracowanie własne.

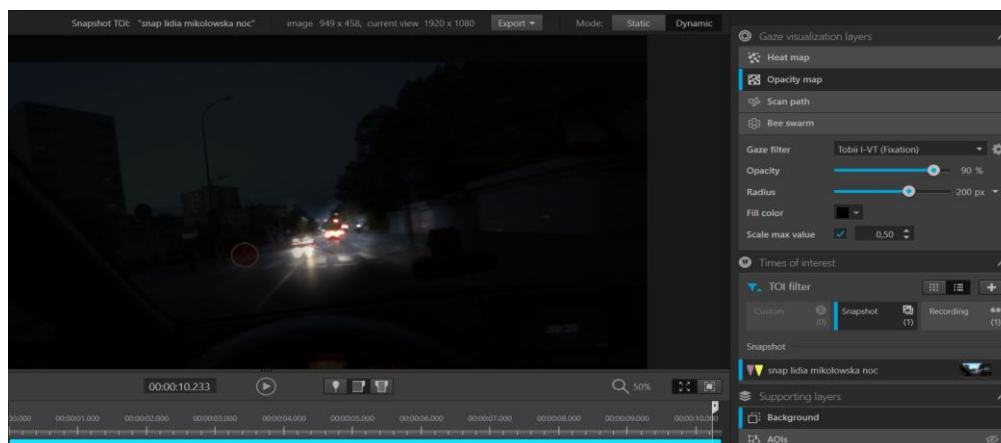
Podczas prowadzenia badań dla przedmiotowego przejścia dla pieszych zaobserwowano kilka bardzo niepokojących aspektów związanych z bezpieczeństwem ruchu drogowego. Podsumowując pięć prób przejazdów przez wskazane przejście dla pieszych, tylko dla jednej osoby odnotowano, co zostało potwierdzone nagraniem wideo, sytuację w której w bezpośrednim otoczeniu przejścia dla pieszych znajdował się niechroniony uczestnik ruchu drogowego.



Rysunek 66. Mapa ciepła – przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach

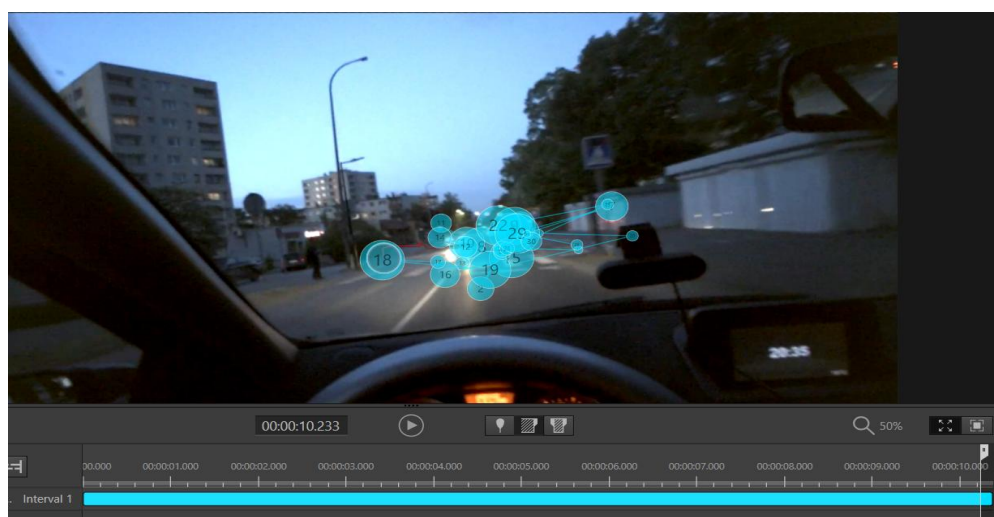
Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 66 przedstawiono sytuację, w której kierowca zbliża się do przejścia dla pieszych, a po lewej stronie znajduje się osoba oczekująca by wejść na przejście dla pieszych, dodatkowo na rysunku 66 zawarto pomiar z okularów eyetrackingowych odnoszący się do pomiaru punktów fiksacji wzroku, gdzie zauważa się brak reakcji kierowcy na znajdującą się osobę na przejściu dla pieszych.



Rysunek 67. Wskazanie strefy obserwowanej przez kierowcę - przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach
Źródło: opracowanie własne.

Ponownie sytuację zobrazowano za pośrednictwem przedstawienia punktów fiksacji wzroku jako „mapy przezroczystości” gdzie wyraźnie wskazano jaka strefa sceny ruchowej była interesująca dla kierowcy.



Rysunek 68. Ścieżka śledzenia wzroku - przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach
Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie pomiarów ruchów sakkadowych zaprezentowanych w postaci śledzenia ścieżki wzroku, zauważa się że żaden z punktów fiksacji wzroku uczestnika badania nie znajdował się w strefie, w której przebywał niechroniony uczestnik ruchu drogowego, dodatkowo zauważa się brak punktów fiksacji na znaku informującym o fakcie zbliżania się do przejścia dla pieszych. Samo przejście dla pieszych wyposażone jest w dodatkowe urządzenia wspomagające bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego. W momencie zbliżania się oraz oczekiwania pieszego na przejściu dla pieszych, czujniki powinny zainicjować swoją pracę, a tym samym powinny

zostać wzbudzone elementy świetlne na przejściu dla pieszych, jednak w tym przypadku, co zostało również zarejestrowane, przejście to nie uruchomiło się w sposób prawidłowy co mogło wpłynąć na zwiększony poziom zagrożenia na przejściu dla pieszych.

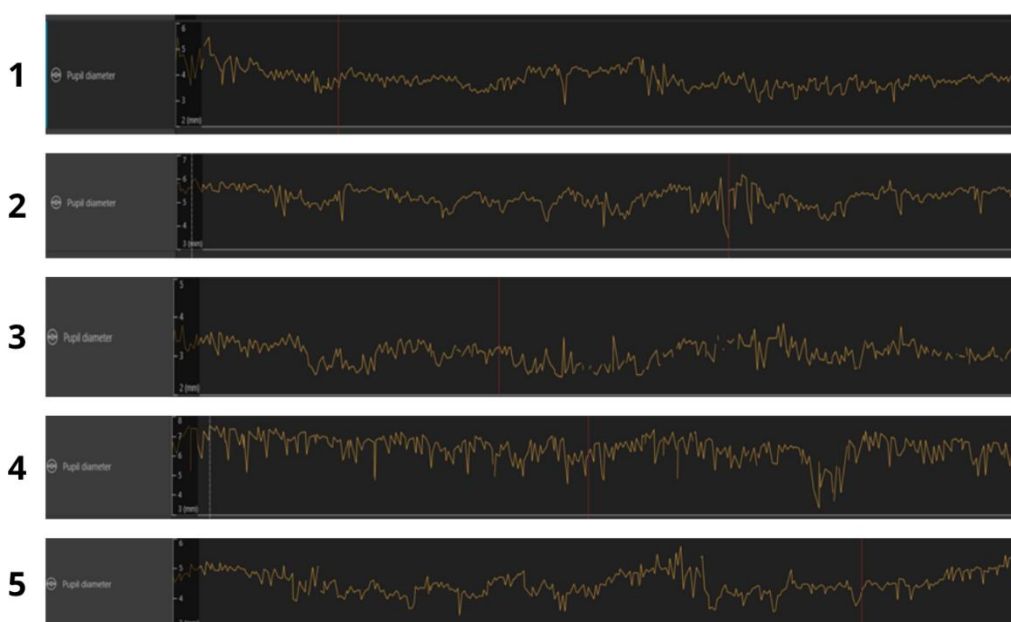
Zagrożenie to może wzrastać z dwóch powodów. Pierwszy z nich to możliwość przyzwyczajenia mieszkańców do prawidłowo funkcjonującego systemu. W sytuacji w której system ten nie uruchamia się poprawnie podczas korzystania przez pieszego z przejścia dla pieszych, osoba taka może automatycznie, z „przyzwyczajenia” wejść na przejście. Zakładałaby ona, że system działa prawidłowo. Jest to szczególnie istotne w kontekście aktualnych przepisów dotyczących pierwszeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej. Z drugiej strony zagrożenie mogłoby pojawić się ze strony kierowców, w sytuacji gdy kierowcy również zakładając poprawne funkcjonowanie systemu, w sposób przypadkowy skupili by się na systemie świetlnym, nie rozglądając się dokładnie w okolicy przejścia i zakładając, że skoro system nie inicjuje pracy oznacza to, iż pieszy lub inny uczestnik ruchu drogowego nie znajduje się w strefie przejścia dla pieszych. Co ciekawe w opisanej sytuacji również kierowca zbliżający się z przeciwległej strony przejścia dla pieszych, w zarejestrowanej sytuacji nie ustąpił pierwszeństwa pieszemu oczekującemu na wejście na przejście dla pieszych. Kolejnym aspektem dotyczącym zarejestrowanej sytuacji jest aspekt ubioru pieszego, w porze nocnej nie posiadał elementów odblaskowych, a jego ubiór posiadał jednolity kolor czarny.

Oczywiście nie ma wymogów dotyczących korzystania z elementów odblaskowych w terenie zabudowanym jednak zgodnie z przeprowadzonymi badaniami znajdującymi się w niniejszym opracowaniu, używanie wspomnianych elementów odblaskowych przynosi ogromne korzyści i w sposób diametralny zwiększa możliwość wystąpienia reakcji poprawnej kierowcy w stosunku do niechronionego uczestnika ruchu drogowego.

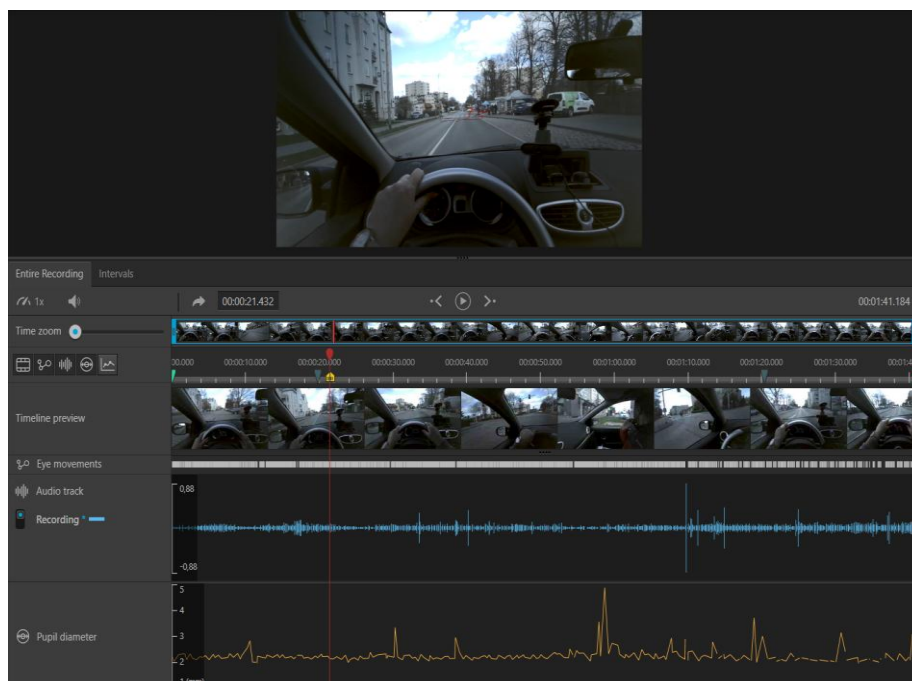
W odniesieniu do przedmiotowej próby przeanalizowano również średnice źrenic uczestników badania. Zgodnie z przeprowadzonym kwestionariuszem przed wykonaniem badań, które miały miejsce w porze dziennej oraz nocnej w tym samym dniu kalendarzowym osoby biorące udział w badaniu zostały zapytane o ogólne samopoczucie przed przystąpieniem do badań. Jedna z osób biorąca udział w badaniu ze względu na wykonywanie pracy zawodowej w porze nocnej poprzedniego dnia określiła swoje samopoczucie w skali 1-5 na 3 (było to w godzinach popołudniowych), zgodnie z literaturą naukową poprawny rozmiar średnicy źrenicy dla osoby w porze dziennej

wynosi od 2-4 mm, w porze nocnej jest to od 4-8 mm. Uczestnik badania, który podczas wykonywania swojej próby nie zauważył pieszego oczekującego na przejściu dla pieszych była to osoba, która podczas wypełniania kwestionariusza zgłosiła niepełną dyspozycyjność tego dnia. Pomiary średnic źrenic dla wszystkich uczestników badania zaprezentowano poniżej.

Zauważa się dużą różnicę w stosunku do szerokości średnicy źrenicy dla uczestnika numer 3 w stosunku do pozostałych uczestników badania. W przypadku uczestników 1, 2, 4 oraz 5 średnia wartość średnicy źrenicy oscylowała w granicach od 4-7 mm, dla uczestnika numer 3 średnia wartość nawet w przypadku pików nie osiągnęła minimum, czyli 4 mm, co zgodnie z literaturą mogło oznaczać niedyspozycję oraz duże zmęczenie.



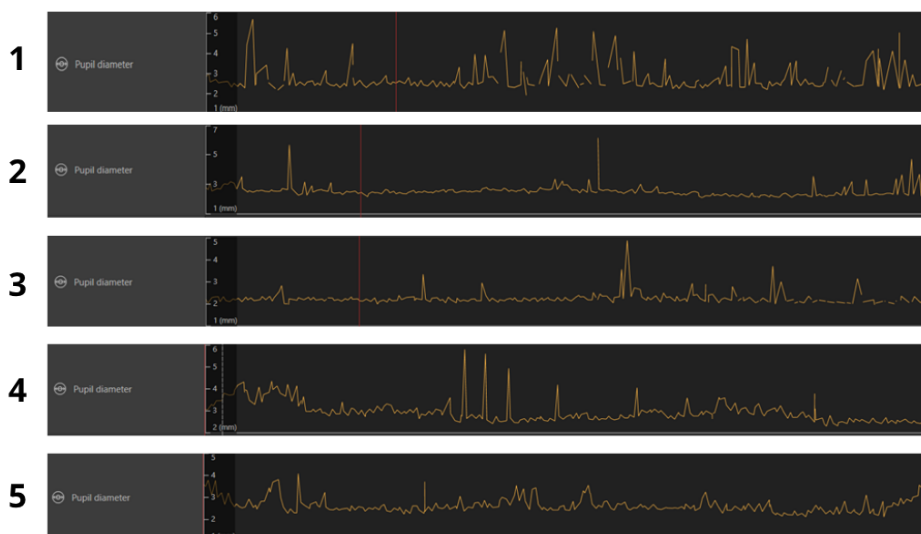
Rysunek 69. Porównanie średnic źrenicy badanych kierowców – pora dzienna
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 70. Przejazd Mysłowice ulica Mikołowska – pora dzienna

Źródło: opracowanie własne.

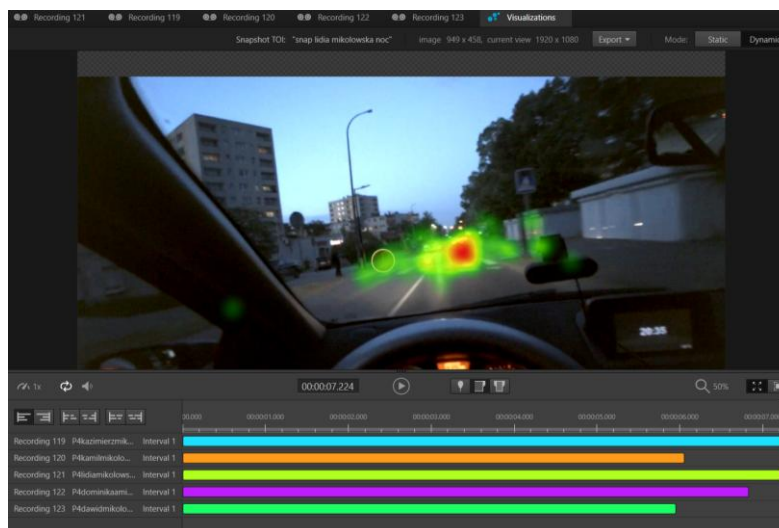
Analizując wyniki dla tej samej grupy uczestników w porze dziennej również zauważa się różnice uzyskanych wyników przez uczestnika numer 3 w stosunku do pozostałych. Średnie wartości średnicy źrenic dla uczestników 1, 2, 4 oraz 5 oscylują w granicach około 3mm, dla przejazdu dziennego dla uczestnika numer 3 średnia oscylowała nieco ponad 2mm co zgodnie z literaturą jest minimum i już w porze dziennej mogło oznaczać pewne zmęczenie uczestnika numer 3, co potwierdzało również jego stwierdzenie podczas pytania kwestionariuszowego dotyczącego jego predyspozycji dla danego dnia.



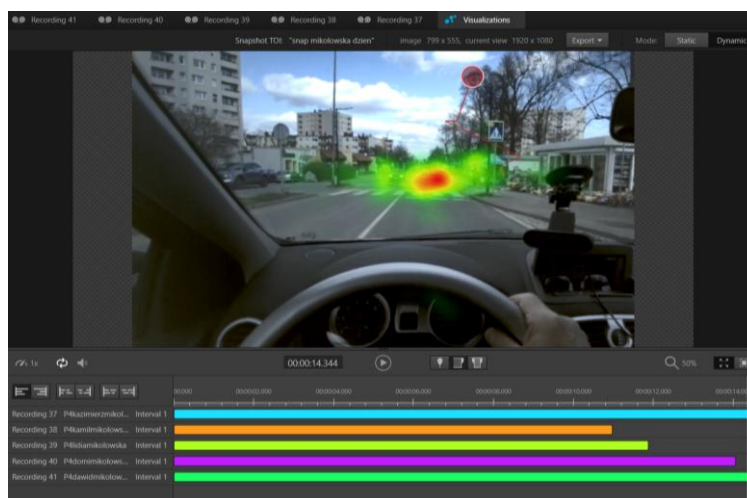
Rysunek 71. Porównanie średnic źrenicy badanych kierowców – pora nocna

Źródło: opracowanie własne.

Dla przedmiotowego testu porównano wyniki pozostałych uczestników badania oraz naniesiono wyniki badań w formie map ciepłych punktów fiksacji wzroku dla zadanej sceny ruchowej. Dla grupy 5 uczestników porównując porę nocną oraz dzienną zauważono bardzo wyraźną tendencję do skupiania wzroku głównie na pasie, na którym znajduje się uczestnik ruchu drogowego, zgodnie z wynikami badań przeprowadzonych na symulatorze jazdy, opisanym w niniejszym opracowaniu znacząca liczba uczestników kwestionariusza wskazywała testowe oznakowanie znajdujące się na powierzchni jezdni jako to, które mogłoby być montowane jako urządzenia wspomagające bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego, ponieważ ułożenie sygnalizatorów w takiej konfiguracji jest naturalnym w odniesieniu do skupiania się wzroku kierowców podczas jazdy pojazdem mechanicznym.

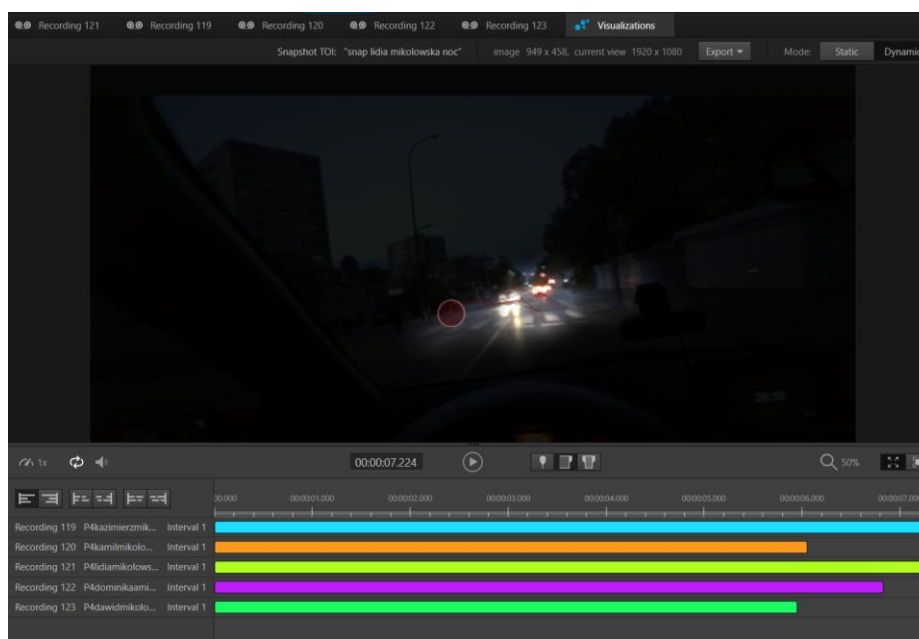


Rysunek 72. Mapa ciepła wszystkich badanych kierowców przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach – pora nocna
Źródło: opracowanie własne.



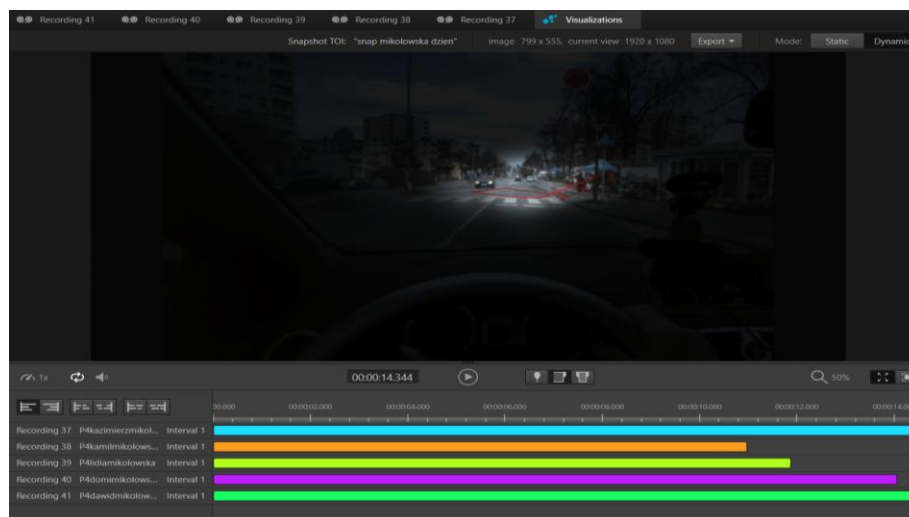
Rysunek 73. Mapa ciepła wszystkich badanych kierowców przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach – pora dzienna
Źródło: opracowanie własne.

Dla szerszej perspektywy zaprezentowano również wyniki dla pory dziennej oraz nocnej dla danych przedstawionych dla grupy 5 uczestników badania za pośrednictwem „map pokrycia”, gdzie w sposób bardzo czytelny zauważa się, które elementy były najciekawsze dla uczestników badania, co bardzo istotne dla przejazdów nocnych pole widzenia jest bardziej zawężone, określono je jako widzenie tunelowe, wzrok w bardzo małej mierze fiksuje się w strefach, w których mogliby znajdować się piesi, to samo dotyczy również samych znaków.



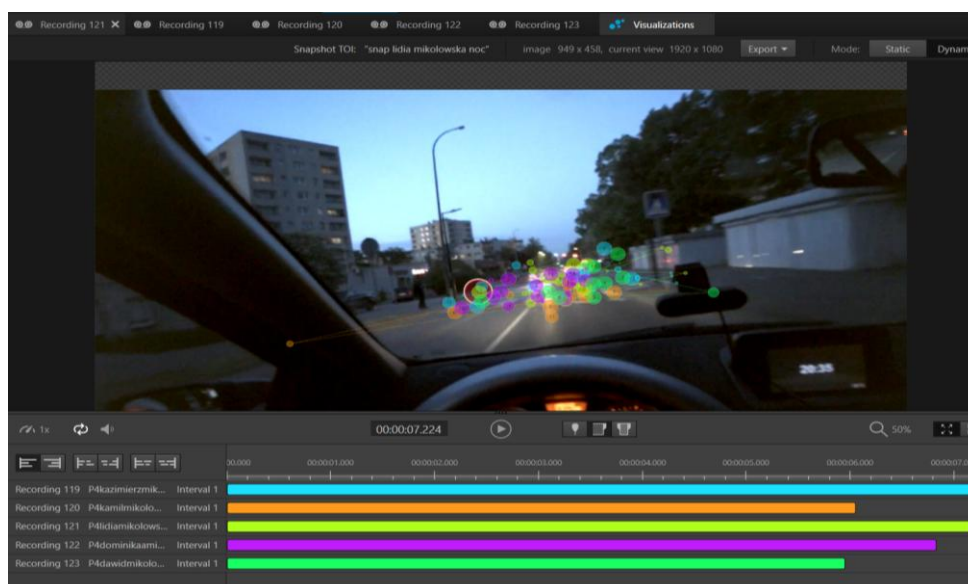
Rysunek 74. Strefa aktywności wzroku wszystkich badanych kierowców przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach – pora nocna
Źródło: opracowanie własne.

Sytuacja ta jest nieco inna w odniesieniu do badań w porze dziennej, tutaj zauważa się znacznie większą aktywność wzroku kierowców w odniesieniu w szczególności do prawej strony przejścia dla pieszych. Jednak stwierdza się, iż lewa strona przejścia dla pieszych znajdująca się po przeciwległej stronie w stosunku do zbliżającego się kierowcy jest strefą martwą, bez aktywności wzrokowej, co może wiązać się z dużym zagrożeniem związanym z bezpieczeństwem ruchu drogowego.

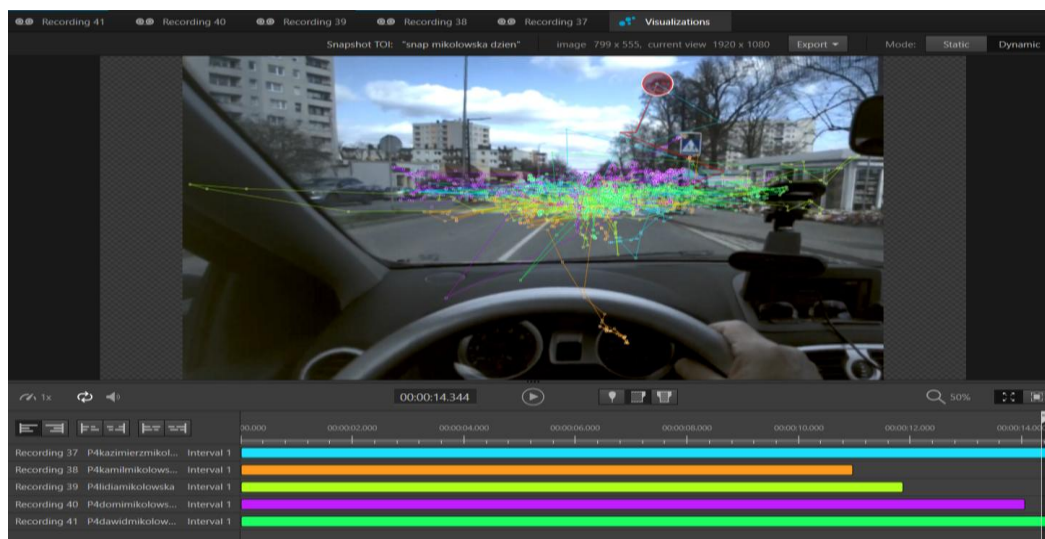


Rysunek 75. Strefa aktywności wzroku wszystkich badanych kierowców przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach – pora dzienna
Źródło: opracowanie własne.

Potwierdzeniem dla powyższych wniosków są ścieżki śledzenia wzroku dla przedmiotowego przykładu, również dla pory dziennej oraz nocnej. Ruchy sakkadowe wraz z punktami fiksacji wzroku wskazują na brak aktywności wzroku grupy badanej w martwym punkcie przejścia dla pieszych, w którym w przypadku jednego z uczestników znajdował się niechroniony uczestnik ruchu drogowego.



Rysunek 76. Ścieżka śledzenia wzroku wszystkich badanych kierowców przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach – pora nocna
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 77. Ścieżka śledzenia wzroku wszystkich badanych kierowców przeście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach – pora dzienna
Źródło: opracowanie własne.

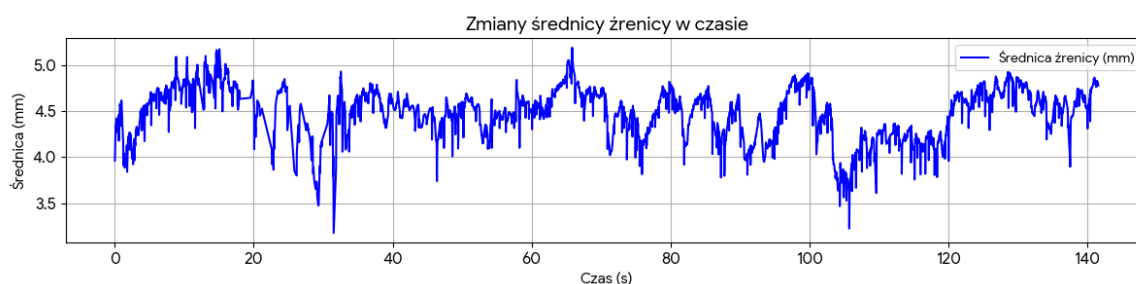
Kolejne badania wykonano na przejściu w miejscowości Chorzów, ul. St. Batorego. Wybrano to przejście ze względu na duże natężenie ruchu pojazdów i pieszych. Lokalizacja ta charakteryzowała się występowaniem licznych interakcji pomiędzy uczestnikami ruchu drogowego, co umożliwiło dogodne warunki do prowadzenia badań. Pozwoliło to na pozyskanie obszernego i zróżnicowanego materiału badawczego niezbędnego do realizacji założonych celów pracy.

Analizując materiał wideo odnoszący się do lokalizacji Chorzów Batory, w porze nocnej zauważa się pewne korelacje dotyczące wielkości średnicy źrenicy, pomiędzy poszczególnymi wydarzeniami, które miały miejsce podczas trasy przejazdu. Dla przykładowego uczestnika: kobieta 26 lat oraz mężczyzna 63 lata przejazdy różniły się od pozostałych przejazdów dla tej trasy. Dla uczestnika - kobieta 26 lat podczas przejazdu w 66 sekundzie, zarejestrowano skrajnie wysoki odczyt wielkości średnicy źrenicy. Oznacza to, pozytywną reakcję na możliwość potencjalnej kolizji z innym uczestnikiem ruchu drogowego. Fakt ten potęguje doświadczenie kierowcy, które jest bardzo małe.

Tabela 24. Analiza materiału wideo – Chorzów Batory

Czas [s]	Materiał wideo	Wnioski z danych (Wykres)
0 – 10 s	Początek nagrania, wzrok skupiony nisko (na desce rozdzielczej/sprzęcie).	Gwałtowny skok pozycji Y (czerwony wykres): Wzrok jest skierowany nisko ($Y \approx 0.68$), co potwierdza fiksację na laptopie lub panelu sterowania na początku sesji.
20 – 40 s	Samochód rusza lub jedzie prosto, wzrok przenosi się na drogę.	Stabilizacja źrenicy: Widać wahania w pozycji Y, gdy kierowca zerka na boki, ale wzrok trzyma się wyżej (bliżej środka drogi).
69 s	Punkt kulminacyjny stresu/skupienia.	Maksymalne rozszerzenie źrenicy (5.19 mm): To moment największego obciążenia poznawczego. Sytuacja stresująca, możliwość kolizji z innym pojazdem (kierowca niedoświadczony)
98 s	Wzrok skierowany bardzo wysoko (ponad linię horyzontu/daleko w przód).	Najniższa wartość Y (0.11): Kierowca patrzy daleko przed siebie na drogę, prawdopodobnie przy większej prędkości lub szukając drogowskazów.
105 – 110 s	Chwilowe zwężenie źrenic.	Nagły spadek średnicy (do ~ 3.2 mm): Prawdopodobnie uczestnik spojrzął na jasny punkt (np. nadjeżdżający samochód z naprzeciwka lub podświetlony ekran laptopa), co wywołało odruch źreniczny.

Źródło: opracowanie własne.



Wykres 45. Zmiany średnicy źrenicy w czasie – przejazd badanego kierowcy Chorzów Batory

Źródło: opracowanie własne.



Wykres 46. Skupienie wzroku badanego kierowcy – przejazd badanego kierowcy Chorzów Batory

Źródło: opracowanie własne.

Kluczowe spostrzeżenie dotyczy drugiego, bardzo mało doświadczonego kierowcy uczestnika - kobieta 26 lat. Gdzie do punktu krytycznego wskaźnika średnicy źrenicy dochodzi dokładnie w tym samym miejscu co dla uczestnika - mężczyzna 63 lata.

Tabela 25. Profil przejazdu wybranego kierowcy badanego – Chorzów Batory

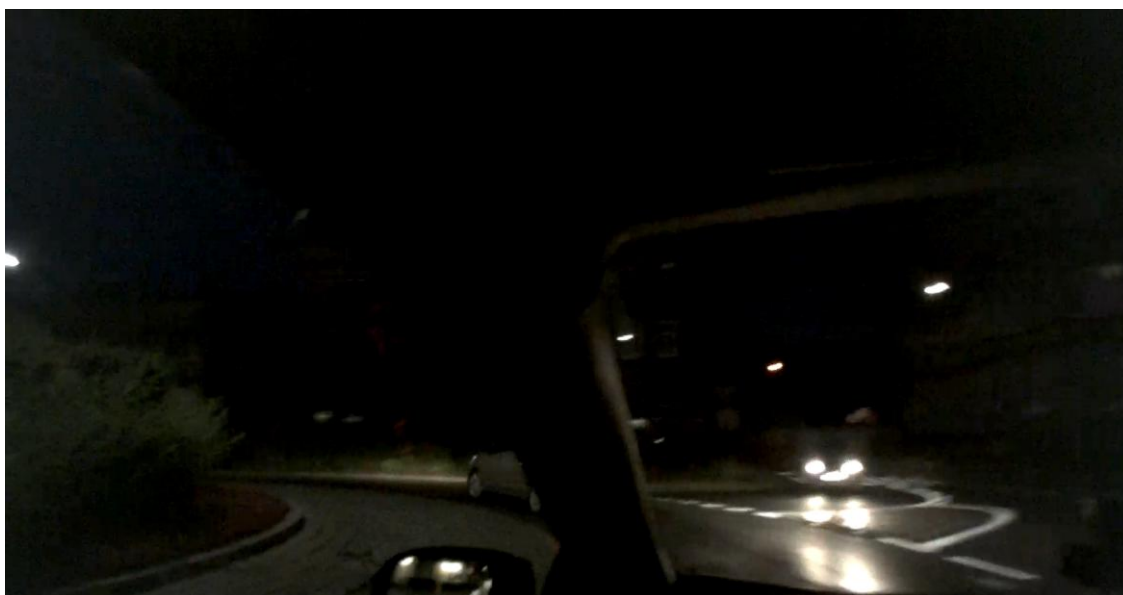
Czas [s]	Materiał wideo	Wnioski z danych (Wykres)
0.0 - 5.0	Start i kalibracja	Intensywne mruganie, wzrok skacze między drogą a deską rozdzielczą. Źrenica startuje od poziomu 6.30 mm.
10.07	Impuls Sync 1	Pierwszy znacznik w eventdata. Kierowca jest skupiony na drodze, czas reakcji wzrokowej na sygnał jest krótki (ok. 0.35 s).
24.0 - 32.0	Faza "Głębokiej Dystrakcji"	Gaze Y utrzymuje się na poziomie 0.75-0.82. Kierowca przez 8 sekund niemal nie patrzy na drogę, skupiając się na dolnej konsoli/laptopie.
40.14	Impuls Sync 4	Sygnał pojawia się, gdy wzrok jest na laptopie. Czas reakcji wydłużony do 1.42 s – tyle zajęło przeniesienie wzroku na horyzont.
51.5 - 55.0	Mijanie pojazdów	W wideo widać światła z naprzeciwka. Źrenica gwałtownie reaguje na zmianę kontrastu, pulsując w zakresie 5.8 - 6.2 mm.
70.23	Impuls Sync 7	Kolejny test uwagi. Kierowca reaguje sprawniej (0.8 s), ale Gaze X pokazuje, że patrzy mocno w prawo (nie centruje wzroku na pasie ruchu).
80.26	Punkt Krytyczny (Max Źrenica)	Maksymalne rozszerzenie źrenicy: 6.87 mm. Kierowca patrzy w dół. To moment najwyższego zmęczenia lub przeciążenia informacyjnego (tzw. overload).
98.0 - 105.0	Skanowanie otoczenia	Seria szybkich ruchów gałek ocznych (sakad). Kierowca szuka punktów orientacyjnych, prawdopodobnie przygotowując się do manewru lub zakończenia sesji.
122.0 - 134.0	Wyhamowanie / Koniec	Stabilizacja wzroku na wprost. Średnica źrenicy zaczyna powoli spadać do poziomu 5.9 mm, co sugeruje lekkie odprężenie po zakończeniu głównego zadania.

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 78 przedstawiono graficznie moment, w którym zarejestrowano największe wartości dla wskaźnika średnica źrenicy.



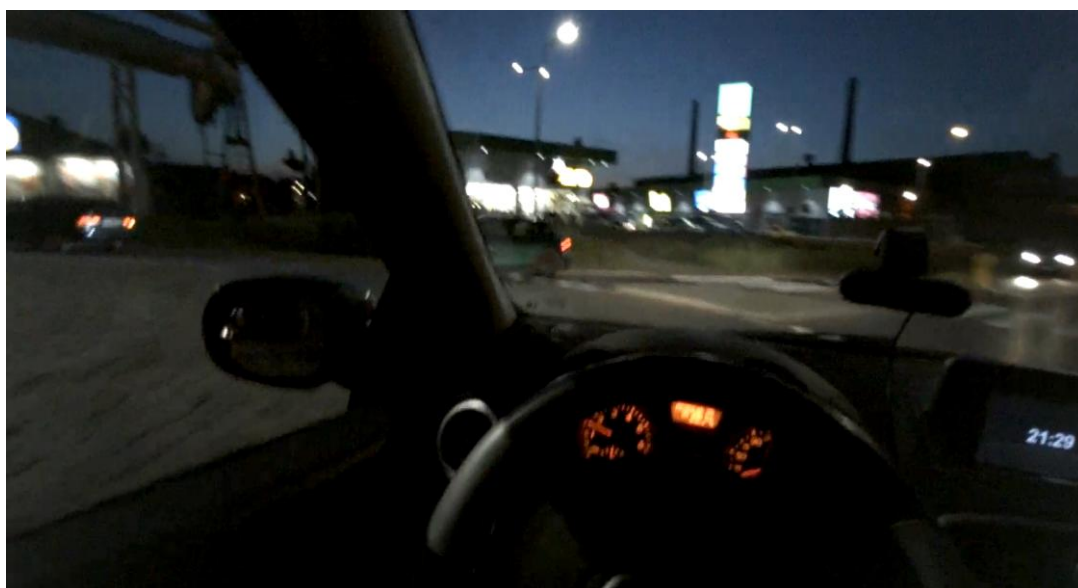
Rysunek 78. Potencjalna sytuacja kolizyjna – przejazd badanego kierowcy Chorzów Batory (kobieta 26 lat)
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 79. Potencjalna sytuacja kolizyjna – przejazd badanego kierowcy Chorzów Batory (kobieta 55 lat)
Źródło: opracowanie własne.

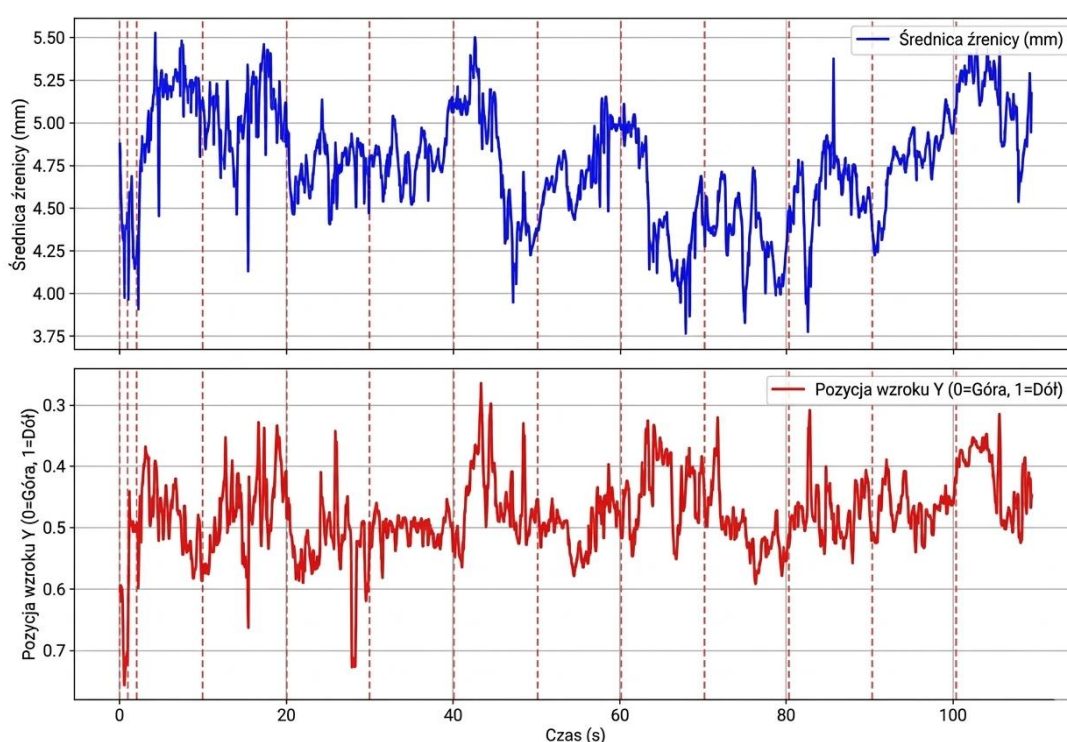
W obu przypadkach maksymalna wartość średnicy źrenicy ma związek z pojazdem, który potencjalnie może wjechać na przedmiotowe rondo, dla obu sytuacji jest to ten sam punkt, jak również obaj kierowcy są kierowcami z niedużym doświadczeniem. Ich reakcja jest prawidłowa, ponieważ wykazują oni podwyższoną czujność stosując metodę ograniczonego zaufania na drodze.

Dla porównania kierowca, który w identycznym miejscu doświadcza wymuszenia ze strony innego pojazdu nie reaguje w ten sam sposób. Urządzenia pomiarowe nie rejestrują zwiększenia czujności kierowcy.



Rysunek 80. Potencjalna sytuacja kolizyjna – przejazd badanego kierowcy Chorzów Batory (mężczyzna 63 lata)

Źródło: opracowanie własne.



Wykres 47. Zmiana średnicy źrenicy oraz pozycji wzroku w czasie – przejazd badanego kierowcy Chorzów Batory (mężczyzna 63 lata)

Źródło: opracowanie własne.

Analizując konkretne skrajne odczyty wskaźników w odniesieniu do potencjalnego ryzyka związanego z możliwością potrącenia niechronionego uczestnika

ruchu drogowego ze względu na brak uwagi, skupienia na drodze wskazuje na dwojaką zależność. Ponieważ powyżej zinterpretowano wyniki i zachowanie ze względu na ogromne doświadczenie uczestnika – mężczyzna 63 lata, w porównaniu z uczestnikami kobieta 26 lat oraz kobieta 55 lat, jednak dla badanej grupy dla identycznych warunków notuje się również najgorsze dla całej grupy wyniki dotyczące rozproszenia uwagi dla tego uczestnika badania.

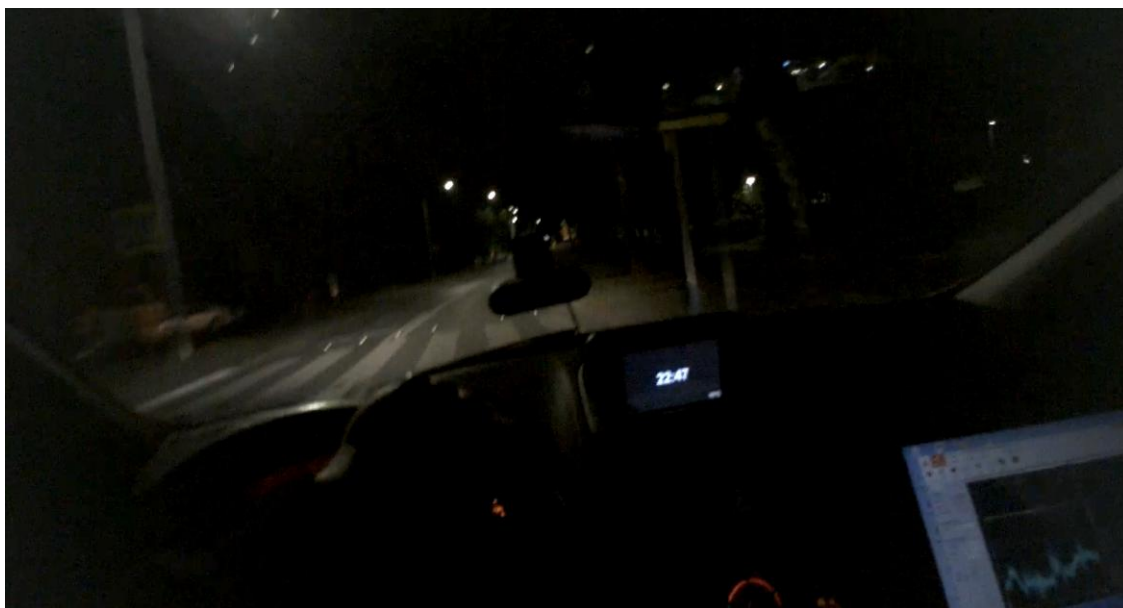
Tabela 26. Profil przejazdu kolejnego kierowcy badanego – Chorzów Batory

Czas (s)	Zdarzenie / Obiekt	Ocena ryzyka	Komentarz
0 - 5 s	Ruszanie, wzrok na laptopie	Średnie	Kierowca zerka na ekran podczas wykonywania pierwszych manewrów.
42 - 45 s	Przejazd przez skrzyżowanie	Niskie	Brak pieszych, ale wzrok kierowcy jest rozproszony (duże wahania na wykresie Gaze Y).
60 s	Piesi na chodniku	Niskie	Widoczne sylwetki osób po prawej stronie, jednak znajdują się one za barierkami/w bezpiecznej odległości.
82 s	Nagłe rozszerzenie źrenic	Wysokie	Źrenice osiągają ponad 5,3 mm. Zbiega się to z momentem powrotu wzroku na drogę po długiej fiksacji na desce rozdzielczej. Może to być reakcja na "odzyskanie orientacji" w przestrzeni.

Źródło: opracowanie własne.

Analizując dane zawarte w tabeli 23 zauważono, że kierowca był podatny na wszelkiego rodzaju rozproszenia podczas próby, średni czas reakcji Gaze Reaction Time wynosi aż 1,035 s. Kierowca poświęca dużo uwagi komputerowi będącemu w kabinie, służącemu do rejestracji danych z przejazdu. W sytuacji gdy pojawia się bodziec zewnętrzny kierowca potrzebuje aż ponad sekundę aby przenieść wzrok z powrotem na drogę i zareagować. Jest to trzykrotnie więcej niż czas podczas pełnego skupienia.

Analizując dane z prób wykonanych w miejscowości Bieruń Stary w porze nocnej zauważa się bardzo niepokojące wnioski dotyczące przedmiotowej analizy. Poniżej przedstawiono pojedyncze przejazdy przez przejście dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej w porze nocnej.



Rysunek 81. Badane przejście dla pieszych Chorzów Batory

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 27. Lokalizacja wzroku badanego kierowcy – mężczyzna 30 lat

Czas przejazdu (s)	Punkty skupienia wzroku [X, Y]	Lokalizacja wzroku	Komentarz
34.512	[0.498, 0.501]	Środek jezdni	Brak zainteresowania otoczeniem.
38.204	[0.315, 0.505]	Lewy chodnik	Sakada kontrolna w lewo.
38.905	[0.505, 0.491]	Środek jezdni	Powrót do centrum, wjazd na pasy.
41.200	[0.510, 0.485]	Środek jezdni	Brak sprawdzenia prawej strony po zjeździe.

Źródło: opracowanie własne.

Kierowca (mężczyzna 30 lat) ani razu podczas zbliżania się do przejścia dla pieszych nie skierował wzroku na prawą stronę (gaze2d [0] nigdy nie przekroczyło 0.55) zagrożenie wynikające z możliwości niezauważenia pieszego wchodzącego na przejście dla pieszych.

Tabela 28. Lokalizacja wzroku badanego kierowcy – kobieta 26 lat

Czas przejazdu (s)	Punkty skupienia wzroku [X, Y]	Lokalizacja wzroku	Komentarz
31.200	[0.520, 0.680]	Wnętrze (Radio/Dół)	Brak skupienia na drodze.
34.850	[0.551, 0.620]	Prawy dół (Lusterko)	Wzrok ucieka z osi jezdni.
35.500	[0.510, 0.495]	Środek (Pasy)	"Zamrożenie" wzroku na pasach, brak skanowania boków.
39.100	[0.495, 0.510]	Środek	Kontynuacja jazdy bez weryfikacji otoczenia.

Źródło: opracowanie własne.

Na dystansie 5 sekund przed przejściem oraz za przejściem dla pieszych kierowca był rozproszony urządzeniami w pojeździe, gdy powrócił wzrokiem na drogę, patrzył tylko przed siebie. Brak ruchu gałek ocznych w osi X.

Tabela 29. Lokalizacja wzroku badanego kierowcy – kobieta 55 lat

Czas przejazdu (s)	Punkty skupienia wzroku [X, Y]	Lokalizacja wzroku	Komentarz
42.100	[0.495, 0.720]	Dół (Smartfon)	Długa fiksacja poza drogą.
45.910	[0.499, 0.501]	Środek	Krótki powrót na drogę (tzw. "rzucone spojrzenie").
46.600	[0.495, 0.650]	Dół (Smartfon)	Utrata kontaktu z drogą na pasach.
50.100	[0.505, 0.510]	Środek	Powrót do prowadzenia po minięciu zagrożenia.

Źródło: opracowanie własne.

Analizowany przejazd był najgroźniejszym z występujących podczas badań. Podczas zbliżania się do przejścia dla pieszych wzrok kierowcy znajdował się poza linią horyzontu $Y > 0,6$ przez łącznie około 4 s.

Tabela 30. Lokalizacja wzroku badanego kierowcy – mężczyzna 63 lata

Czas przejazdu (s)	Punkty skupienia wzroku [X, Y]	Lokalizacja wzroku	Komentarz
47.200	[0.505, 0.490]	Środek	Bardzo stabilna, "szklana" fiksacja.
50.312	[0.710, 0.505]	Prawa strona	Szybka sakada (próba skanowania).
50.365	[0.495, 0.490]	Środek	Natychmiastowy powrót (trwał tylko 53ms).
53.500	[0.502, 0.495]	Środek	Brak dalszej aktywności.

Źródło: opracowanie własne.

Kierowca wykonywał ruchy głową/oczami, ale czas trwania fiksacji bocznej $t < 60$ ms jest poniżej progu świadomej percepcji. Kierowca spoglądał na pobocze jednak jego mózg tego nie rejestrował w kontekście podjęcia ewentualnej akcji celem ustąpienia pierwszeństwa pieszemu.

Tabela 31. Lokalizacja wzroku badanego kierowcy – mężczyzna 23 lata

Czas przejazdu (s)	Punkty skupienia wzroku [X, Y]	Lokalizacja wzroku	Komentarz
38.500	[0.480, 0.405]	Góra (Znaki pionowe)	Wczesna detekcja znaku D-6.
40.810	[0.280, 0.505]	Chodnik Lewy	Głębokie sprawdzenie lewej strony.
41.280	[0.785, 0.510]	Chodnik Prawy	Głębokie sprawdzenie prawej strony.
42.100	[0.510, 0.495]	Środek	Bezpieczny przejazd z pełną wiedzą.

Źródło: opracowanie własne.

Kierowca (mężczyzna 23 lata) był jedynym z grupy badanej, który w pełni zrealizował cykl skanowania otoczenia przed wjazdem na przejście dla pieszych.

Tabela 32. Tabela Podsumowanie dla badanej grupy kierowców

Numer kierowcy	93151	93628	94109	94601	95245
Skanowanie Lewe ($X < 0.35$)	TAK	NIE	NIE	NIE	TAK
Skanowanie Prawe ($X > 0.65$)	NIE	NIE	NIE	ŚLADOWE	TAK
Dystrakcja ($Y > 0.60$)	NIE	TAK	EKSTREMALNA	NIE	NIE
Efekt "Tunelu"	ŚREDNI	WYSOKI	KRYTYCZNY	WYSOKI	BRAK
Weryfikacja Pieszych	50%	0%	0%	10%	100%

Źródło: opracowanie własne.

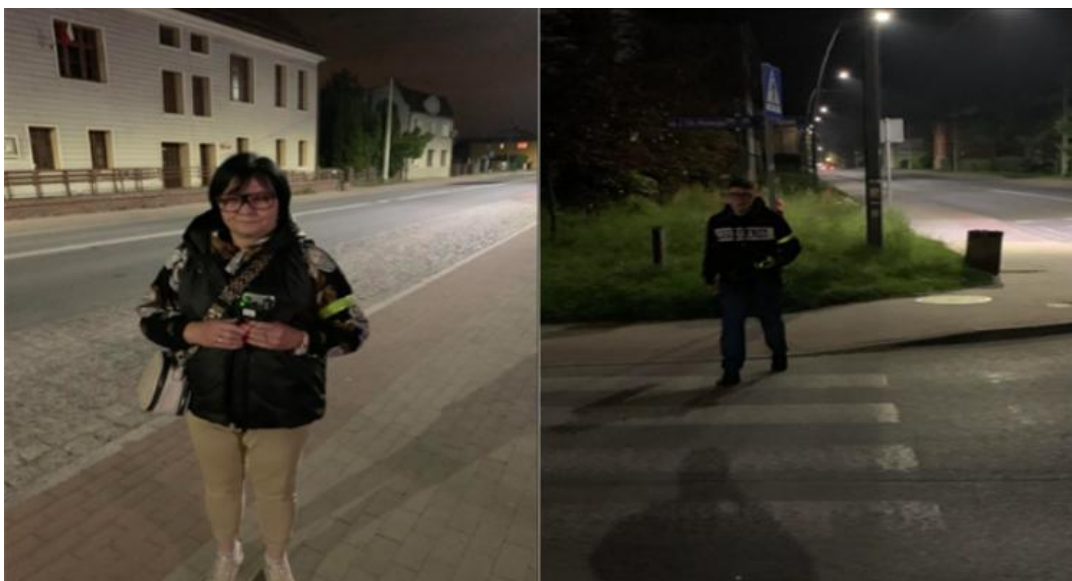
Na podstawie badań sformułowano następujące wnioski. Wyniki potwierdzają, że korzystanie z urządzeń elektronicznych w kabinie pojazdu ma ogromne znaczenie w kontekście dystrakcji podczas prowadzenia pojazdu mechanicznego. Kierowcy automatycznie zerkają na uruchomione urządzenia tracąc tym samym czujność na drodze. Wyniki badania wskazują, że tylko 1 z 5 uczestników badania w sposób prawidłowy, bezpieczny przejechał przez wskazane przejście dla pieszych. W przypadku gdyby pieszy wtargnął na przejście dla pieszych istnieje ogromne prawdopodobieństwo potrącenia pieszego w opisanych przypadkach.

W 83% przypadków prób przejścia przez przejście dla pieszych uczestnicy badań nie wykonywali zatrzymań przed przejściem dla pieszych, jedynie rozglądali się oceniając czy wejście na przejście dla pieszych jest bezpieczne. Zauważono wyraźne tendencje do szczególnie poprawnych zachowań dla początkowych prób przejść oraz przejazdów przez przejścia dla pieszych. Kilkogodzinne badania powodowały zmęczenie

wśród uczestników i zauważono, że wykonując kolejne próby w czasie uważność kierowców i pieszych spadała (mniejsza częstotliwość rozglądania się).

Porównując wyniki badania z badaniami obserwacyjnymi z użyciem radarów mikrofalowych zauważa się wysoką korelację pomiędzy wynikami uzyskanymi w badaniach obserwacyjnych (900 kierowców), a tymi wykonanymi z użyciem okularów eyetrackingowych, 93 % kierowców utrzymywało stałą prędkość zbliżając się do wskazanych przejść dla pieszych, w 3% prób kierowcy przyspieszali, zwalniało 4% uczestników badania. Prowadząc wywiad po wykonanych próbach przejść przez przejścia dla pieszych „smart”, uczestnicy zgłaszali że przedmiotowe przejścia bardzo często nie działały zgodnie z przeznaczeniem, zdarzało się, że przejścia uruchamiały się dopiero po zejściu z przejścia, czasem nie uruchamiały się podczas prób przejścia.

W kolejnym etapie prac związanych z badaniami obserwacyjnymi kierowców oraz pieszych ustalono podczas badań terenowych eyetrackingowych, że 90,5% osób przechodzących przez przejścia dla pieszych w terenie zabudowanym nie posiadało żadnych elementów odblaskowych. Badanie to odnosiło się do przejść przez przejścia dla pieszych w porze nocnej, dla terenu zabudowanego. Oczywiście nie ma wymogu prawnego dotyczącego stosowania elementów odblaskowych dla pieszych znajdujących się w strefie zabudowanej, jednak jak wskazały badania in situ na różnego rodzaju przejściach dla pieszych, gdzie grupa badanych było to 147 pieszych w porze nocnej, tylko 14 z nich posiadało jakikolwiek element odblaskowy, co daje 9,5 % badanych. Porównując przeprowadzone badania z tymi wykonanymi przez Krają Radę Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego w 2018 roku na grupie 600 pieszych, ponad 80% nie stosowało żadnych dodatkowych elementów odblaskowych.



Rysunek 82. Zdjęcie poglądowe podczas prowadzenia badań eyetrackingowych wraz z badaniami dotyczącymi zachowań kierowców w stosunku do osób korzystających z elementów odblaskowych w miejscowości Bieruń

Źródło: opracowanie własne.

Zatem dodatkowo przeprowadzono badania odnoszące się do zachowań kierowców zbliżających się do przejść dla pieszych, uczestnicy badania podczas wykonywania innych badań eyetrackingowych pojawiali się na przejściach dla pieszych wraz z umieszczoną opaską odblaskową na lewym bądź prawym ramieniu, była też grupa która nie posiadała opaski. Badanie to było niewymuszone, nie oczekiwano na zbliżający się pojazd stąd też grupa pomiarów jest niewielka, jednak oczekiwanym rezultatem było pozyskanie w stu procentach realistycznych wyników w normalnym ruchu drogowym podczas pory nocnej.

Wszystkie przejścia zostały zarchiwizowane na nagraniach wideo z okularów eyetrackingowych. W sumie zebrano kilkanaście prób. Z przedmiotowych badań wynika, że w sytuacji kolizyjnej, w porze nocnej na przejściach dla pieszych bez kompletnego oświetlenia lub też z brakiem oświetlenia w momencie oczekiwania na przejście na przejściu dla pieszych dla grupy bez opasek 3/3 kierowców nie ustąpiło pierwszeństwa pieszym. W grupie, w które piesi posiadali założone opaski po lewej stronie lub prawej kierowcy zbliżający się z innego kierunku niż strona, na której opaska była założona 4/6 kierowców nie ustąpiło pierwszeństwa. Jednak w sytuacji, w której opaska założona była po stronie lewej lub prawej kierowcy, którzy zbliżali się do przejścia od strony na której pieszy miał założoną opaskę aż 6/7 kierowców ustąpiło pierwszeństwa przejścia przez przejście dla pieszych. Jest to niezmiernie istotne w kontekście bezpieczeństwa, posiadanie tego typu odblasków jest bardzo intuicyjne i wygodne, nie wymaga od

pieszych dużego zaangażowania, a jak wskazują wyniki badań mają ogromny wpływ na zachowania i postrzeganie niechronionych uczestników ruchu drogowego przez kierowców na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej.

Tabela 33. Wyniki badań elementów odbłaskowych używanych przez pieszych w ruchu drogowym

Ip.	Przejście/nazwa nagrania wideo	Opaska po stronie lewej/prawej/brak	Pojazd zbliża się do przejścia z prawej strony		Pojazd zbliża się do przejścia z lewej strony	
			Ustąpił	Nie ustąpił	Ustąpił	Nie ustąpił
1	Pdp4kazikmikołowskanoc	brak				X
2	Pdp4domimikołowskanoc	prawa	X			
3	Pdp3ziętkalidianoc	prawa	X			X
4	Pdp3ziętkadaminoc	lewa		X	X	
4	Pdp3ziętkadaminoc	lewa			X	
5	Pdp1bierundawidnoc	brak				X
6	Pdp1bierunlidianoc	brak		X		
7	Pdp1bierunkazimierznoc	prawa				X
8	Pdpbierunkamilnoc	prawa	X			
9	Pdpbierundaminoc	prawa	X			
9	Pdpbierundaminoc	prawa			X	
10	Pdp2holdunkamilnoc	lewa		X	X	
10	Pdp2holdunkamilnoc	lewa				X
11	Pdp2holdundaminoc	prawa				X

Brak opaski sytuacja kolizyjna	3/3 nie ustąpił	100%
Opaska po stronie lewej lub prawej - nie ustąpili kierowcy jadący z innej strony niż opaska	4/6 nie ustąpił	67%
Opaska po stronie lewej lub prawej - ustąpili kierowcy jadący po tej samej stronie co opaska	6/7 ustąpił	86%

Źródło: opracowanie własne.

6.6 Zbiorcza analiza wyników

W celu kompleksowej analizy opracowano zestawienie zbiorcze wyników uzyskanych w ramach przeprowadzonych badań empirycznych, obejmujących analizy ankietowe, statystyczne, obserwacyjne, eyetrackingowe oraz symulatorowe. Umożliwia to pełną identyfikację kluczowych czynników ryzyka warunkujących bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego oraz kierowców w otoczeniu przejść dla pieszych.

6.6. 1 Czynniki ryzyka według zachowań deklaracyjnych - zestawienie zbiorcze wyników badań ankietowych oraz wywiadów

Analiza zachowań deklaracyjnych została przeprowadzona na podstawie wyników badań ankietowych oraz wywiadów pogłębionych, obejmujących łącznie grupę 555 respondentów. Zebrane dane umożliwiły identyfikację istotnych czynników ryzyka związanych z subiektywnym postrzeganiem zagrożeń drogowych oraz rozbieżnością między deklarowaną świadomością uczestników ruchu, a ich rzeczywistymi zachowaniami.

Uzyskane wyniki wskazują, że najistotniejszym problemem związanym z infrastrukturą drogową jest ograniczona widoczność przejść dla pieszych, która została wskazana przez 45% respondentów. Dodatkowo duże znaczenie przypisano niewystarczającemu oświetleniu przejść dla pieszych (20%). Oznacza to, że czynniki związane z możliwością dostrzeżenia pieszego przez kierowcę odgrywają kluczową rolę w ocenie poziomu bezpieczeństwa. Łącznie aspekty dotyczące widoczności i oświetlenia stanowią 65% wszystkich wskazań (tabela 34)

Dominującą rolę wśród czynników ryzyka odgrywają zachowania kierowców, przede wszystkim niedostosowanie prędkości do warunków ruchu oraz różne formy dekoncentracji związane z korzystaniem z urządzeń mobilnych (tabela 35).

Tabela 34. Zidentyfikowane czynniki ryzyka na podstawie przeprowadzonych ankiet i wywiadów

Kategoria	Wynik [%]
Ograniczona widoczność	45%
Słabe lub brak oświetlenia na przejściu dla pieszych	20%
Zużyte, niewyraźne pasy	8%
Oznakowanie bez sygnalizacji świetlnej	7%
Lokalizacja przejścia w pobliżu przystanku tramwajowego lub autobusowego	6%
Brak wygrodzeń, zbyt mały azyl	5%
Szerokość drogi, którą przecina przejście dla pieszych	4%
Ograniczenie prędkości, na której znajduje się przejście	3%
Oznakowanie z sygnalizacją świetlną	2%

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 35. Zidentyfikowane czynniki ryzyka zachowań kierowców na podstawie przeprowadzonych ankiet i wywiadów

Kategoria	Wynik [%]
Niedostosowanie prędkości	55,6%
Korzystanie z smartfonu do innych czynności niż rozmowa	17,4%
Rozmowa przez telefon (bez zestawu głośnomówiącego)	12,0%
Kierowca był pod wpływem środków odurzających	9,6%
Korzystanie z ekranu w pojeździe	6,1%
Rozmowa przez telefon (zestaw głośnomówiący)	3,4%

Źródło: opracowanie własne.

6.6.2 Czynniki ryzyka na podstawie analiz statystycznych przyczyn wypadków na przejściach dla pieszych

Drugi obszar analizy zbiorczej obejmuje identyfikację czynników ryzyka na podstawie danych o rzeczywistych zdarzeniach drogowych z udziałem pieszych. Analizie poddano 100 zdarzeń drogowych zlokalizowanych na terenie różnych województw Polski w latach 2020-2023. Badania koncentrowały się na miejscach o podwyższonej liczbie wypadków z udziałem niechronionych uczestników ruchu drogowego, a ich celem była identyfikacja najczęściej występujących środowiskowych i infrastrukturalnych determinant bezpieczeństwa.

Analizie poddano lokalizacje, w których najczęściej dochodziło do wypadków z udziałem pieszych na terenie Polski. Celem było określenie częstości występowania poszczególnych cech infrastruktury mogących zwiększać ryzyko zdarzeń drogowych. Uzyskane wyniki wskazują, że zdecydowana większość analizowanych wypadków była

związana z występowaniem ograniczeń percepcyjnych i infrastrukturalnych utrudniających wzajemną obserwację kierowcy oraz pieszego.

Tabela 36. Zidentyfikowane czynniki ryzyka na podstawie 100 wypadków

Rodzaj determinanty	Wynik [%]
Ograniczona widoczność	83%
Brak lub słabe oświetlenie	77%
Zużyte oznakowanie poziome	41%
Długie przejście dla pieszych więcej niż 2 pasy	26%
Lokalizacja przejścia w okolicy przystanku	22%
Brak wygrodzeń (długie przejście lub zbyt mały azyl)	17%
Zły stan drogi	7%
Wysoka prędkość zbliżania	1%

Źródło: opracowanie własne.

Zidentyfikowane determinanty bezpieczeństwa zostały skategoryzowane według czterech głównych obszarów tematycznych: czynników związanych z widocznością, organizacji infrastruktury drogowej, lokalizacji infrastruktury i jej zabezpieczeń oraz prędkości zbliżania się pojazdów. Najczęściej identyfikowanym czynnikiem ryzyka w analizowanej próbie była ograniczona widoczność, stwierdzona w 83 spośród 100 badanych przypadków. Równie wysoką częstość odnotowano dla niewystarczającego oświetlenia infrastruktury, problem ten zidentyfikowano w 77 lokalizacjach. Wyniki te jednoznacznie dowodzą, że percepcja wzrokowa kierowców, a w szczególności możliwość wczesnego i efektywnego zauważenia pieszego, stanowi kluczowy obszar ryzyka kolizyjnego. Deficyty w zakresie widoczności i oświetlenia tworzą warunki, w których czas dostępny na reakcję obronną jest skrócony, co bezpośrednio przekłada się na wzrost prawdopodobieństwa potrącenia niechronionego uczestnika ruchu drogowego.

W 41 spośród badanych lokalizacji stwierdzono zużyte lub niewyraźne oznakowanie poziome, co istotnie obniżało czytelność stref przejść dla pieszych. W 26 przypadkach zidentyfikowano nadmiernie długie przejścia dla pieszych, które znacząco wydłużają czas ekspozycji pieszego na zagrożenie ze strony ruchu pojazdów, zwłaszcza w warunkach ograniczonej widoczności lub przy braku sygnalizacji świetlnej. Nieodpowiednia organizacja przestrzeni w rejonie przejść skutkuje więc nieproporcjonalnie dużym ryzykiem dla pieszych usiłujących pokonać wielopasmowe przejścia dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej.

W 22 przypadkach analizowane przejścia dla pieszych znajdowały się w bezpośrednim sąsiedztwie przystanków komunikacji zbiorowej. Taka lokalizacja sprzyja powstawaniu sytuacji kolizyjnych na skutek nagłego wtargnięcia pieszych na jezdnię tuż za zatrzymującym się autobusem lub tramwajem, które zasłaniają wzajemnie widoczność obu stron ruchu. Ponadto w 17 lokalizacjach stwierdzono brak wygrodzeń kanalizujących ruch pieszych lub niewystarczające wymiary azylu, co potęguje zagrożenie przy przekraczaniu jezdni wielopasowych.

Zbiorcza analiza 100 zdarzeń drogowych wykazała dominującą rolę czynników związanych z ograniczoną percepcją wzrokową uczestników ruchu oraz mankamentami infrastruktury drogowej, obejmującymi przede wszystkim niedostateczne oświetlenie, niewłaściwą organizację przestrzenną przejść oraz ograniczoną widoczność. Bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego jest zatem silnie powiązane z warunkami umożliwiającymi odpowiednio wczesną identyfikację potencjalnego zagrożenia i z odpowiednią organizacją przestrzeni w rejonie przejść dla pieszych.

6.6.3 Czynniki ryzyka według zachowań rzeczywistych

Kolejne badania dotyczyły zachowań niedeklaratywnych w kontekście rzeczywistych zachowań uczestników ruchu drogowego, identyfikowanych za pomocą obiektywnych metod pomiarowych: obserwacji bezpośredniej oraz badań symulatorowych. Wieloaspektowa perspektywa badawcza umożliwiła uchwycenie wzorców zachowań, które nie są dostępne w badaniach deklaratywnych.

Na podstawie badań obserwacyjnych wyodrębniono kilka głównych grup czynników ryzyka wpływających na bezpieczeństwo w bezpośrednim otoczeniu przejść dla pieszych. Najważniejszą grupę stanowią zachowania pieszych związane z oceną sytuacji na drodze. Wyniki wskazują, że 74,5% pieszych zachowuje ostrożność (48,5% rozgląda się wchodząc na przejście, a 26% zatrzymuje się i dopiero wtedy obserwuje otoczenie). Natomiast część pieszych nie podejmuje żadnych działań kontrolnych przed wejściem na jezdnię, 19% nie rozgląda się, 6,5% zatrzymuje się, ale nie dokonuje obserwacji otoczenia. Takie zachowania zwiększają ryzyko nieprawidłowej oceny sytuacji drogowej i wejścia na przejście w niebezpiecznym momencie.

Drugą istotną grupą czynników są zachowania pieszych związane z dystrakcją. W szczególności korzystanie ze słuchawek (7,5%) oraz używanie telefonu komórkowego

(7,5%) podczas poruszania się w rejonie przejść dla pieszych. W konsekwencji może to ograniczać percepcję otoczenia, co zmniejsza zdolność do reagowania na zagrożenia (tabela 37).

Tabela 37. Zidentyfikowane czynniki ryzyka na podstawie analizy obserwacji pieszych

Badane zachowanie	Wynik [%]
Dystrakcja	
Osoba w słuchawkach	7.5%
Używanie telefonu	7.5%
Ocena sytuacji na drodze	
Rozejrzała się wchodząc	48.5%
Nie rozejrzała się wchodząc	19.0%
Zatrzymała się przed i rozejrzała	26.0%
Zatrzymała się przed i nie rozejrzała	6.5%
Zdarzenia szczególne	
Zatrzymanie się podczas przechodzenia	1.0%
Zawrócenie na przejściu	1.0%

Źródło: opracowanie własne.

Istotnym problemem są również zachowania rozpraszające uwagę kierowców. Najczęściej obserwowano rozmowy z pasażerami (5,6%), a także korzystanie z telefonu (łącznie 4,5% w różnych formach), oraz inne czynności odwracające uwagę (tabela 38).

Tabela 38. Zidentyfikowane czynniki ryzyka na podstawie badań obserwacyjnych kierowców

Badane zachowanie	Wynik [%]
Pomiary prędkości kierowców zbliżających się do przejścia dla pieszych	
Stała prędkość (± 3 km/h)	89.7%
Przyspieszenie przed przejściem	6.3%
Zwolnienie przed przejściem	4.7%
Dystrakcja	
Rozmowa z pasażerem	5.6%
Używanie telefonu (inne czynności)	2.3%
Rozmowa przez telefon	2.2%
Obsługa ekranu w pojeździe	0.9%
Inne (makijaż, itp.)	0.9%
Spożywanie posiłku / picie	0.9%
Palenie w pojeździe	0.2%

Źródło: opracowanie własne.

Kolejne badania obserwacyjne wykonano z wykorzystaniem cało-pojazdowego symulatora pojazdu. Obejmowały one między innymi badania z wykorzystaniem zadania SURT, które pozwoliły na sformułowanie interesujących wniosków dotyczących mechanizmów obciążenia poznawczego podczas prowadzenia pojazdu.

Uczestnicy, którzy wykonywali zadanie SURT podczas przejazdu i osiągnęli dla tego zadania wyniki do 10% błędnych odpowiedzi, notowali o 23% więcej wypadków, świadczy to o dużym zaangażowaniu oraz wpływie dystrakcji na możliwość wystąpienia kolizji. Dodatkowo grupa biorąca udział w badaniu, która odnotowała wypadek, poruszała się szybciej średnio o 7%. Badani, którzy odpowiadali, że mieli kolizje w normalnym ruchu drogowym, notowali o 11% wyższy wskaźnik wypadkowości, niż osoby bez historii kolizyjnej. U osób notujących zdarzenia kolizyjne w symulatorze odnotowano ponadto istotnie częstsze występowanie wad wzroku 58% wobec 38% w grupie pozostałych uczestników, co podkreśla rolę determinant percepcyjnych w skutecznej identyfikacji zagrożeń.

W analizach uwzględniono również różnice międzypłciowe w strategiach jazdy. Kobiety przyjmowały zachowawczy styl prowadzenia pojazdu, wybierając niższe prędkości kosztem nieco mniejszej efektywności przejazdu (średnia prędkość płci żeńskiej była o 8% niższa, względem prędkości mężczyzn). Mężczyźni decydowali się na wyższe prędkości, akceptując przy tym większą chwiejność i zmienność toru jazdy jako skutek uboczny. Opisane różnice wskazują na odmienne strategie radzenia sobie z obciążeniem poznawczym, z których każda generuje większe ryzyko błędu percepcyjnego u kobiet lub utraty panowania nad torem jazdy u mężczyzn.

Z perspektywy oceny efektywności rozwiązań infrastrukturalnych kluczowym ustaleniem była znacząco wyższa skuteczność prewencyjna aktywnego oznakowania przejść dla pieszych w porównaniu z oznakowaniem klasycznym. Tradycyjny znak drogowy D-6 prowadził do redukcji średniej prędkości zbliżania się pojazdów zaledwie o 16%. Zastosowanie oznakowania aktywnego pozwoliło natomiast osiągnąć dwukrotnie większą redukcję prędkości, wynoszącą ponad 32%.

Tabela 39. Zidentyfikowane czynniki ryzyka na podstawie badań symulatorowych

Wskaźnik	Wynik [%]
Błędy w zadaniu SURT (grupa z kolizjami)	23%
Średnia prędkość jazdy (grupa z kolizjami)	7%
Wcześniejsze wykroczenia prędkościowe	11%
Wady wzroku (grupa z kolizjami)	58%
Bez wady wzroku (pozostali uczestnicy)	38%
Procent średniej prędkości o jaki kobiety wykonywały przejazdy wolniej w porównaniu do mężczyzn	8%
Redukcja prędkości (znak D-6)	16%
Redukcja prędkości oznakowanie aktywne	32%
Procent średniego wzrostu czasu reakcji z powodu implementacji rozpraszacza w postaci zadania N-back, w porównaniu do braku rozpraszacza	21%

Źródło: opracowanie własne.

6.6.4 Czynniki ryzyka wynikające z postrzegania sceny ruchu

Wnioski z badań infrastrukturalnych oraz behawioralnych pogłębiono za pomocą obiektywizujących analiz eyetrackingowych. Zastosowanie tej metody umożliwiło ocenę efektywności przetwarzania przez uczestników ruchu informacji wizualnych dostępnych w rejonie przejść dla pieszych, a tym samym uzupełniło obraz czynników ryzyka o bezpośredni wymiar percepcyjny.

W odniesieniu do przedstawionych wyników badań reakcji na wymuszenie pierwszeństwa, aż 66% kierowców notuje najwyższy dla próby wzrost średnicy źrenicy, co świadczy o ogromnym stresie związanym z zaistniałą sytuacją, osoby które nie notowały najwyższych wskazań cechowały się co najmniej 10 letnim doświadczeniem w prowadzeniu pojazdów. Podsumowując badania dotyczące rozglądania się na przejściu dla pieszych, aż 80% kierowców nie wykonuje pełnej eksploracji przejścia dla pieszych w porze nocnej, w odniesieniu do skanowania pobocza lewego oraz prawego jest to kolejno 40% oraz 20%. Dodatkowo, w porze nocnej notuje się bardzo znaczące zjawisko widzenia tunelowego, ponieważ aż 73% kierowców biorących udział w badaniu odnotowało to zjawisko. Następnie w grupie uczestników badania aż 46% osób odznacza się znaczącą dystrakcją na urządzenia cyfrowe. Co bardzo istotne jednym z bardzo istotnych czynników mających wpływa na bezpieczeństwo jest zmęczenie, dla badanej

grupy aż 17% kierowców nie zauważyło osób oczekujących na wejście na przejście dla pieszych.

Tabela 40. Zidentyfikowane czynniki ryzyka na podstawie badań eyetrackingowych

Wskaźnik	Wynik [%]
Reakcja na wymuszenie pierwszeństwa	66%
Rozglądanie się na przejściu	80%
Zmęczenie a reakcja na pieszego	17%
Widzenie tunelowe	73%
Skanowanie pobocza lewe	40%
Skanowanie pobocza prawe	20%
Dystrakcja na urządzenia cyfrowe	46%

Źródło: opracowanie własne.

Zbiorcza analiza badań eyetrackingowych dowodzi, że percepcja uczestników ruchu pozostaje podstawowym obszarem ryzyka kolizyjnego w rejonie przejść dla pieszych. Do najistotniejszych dysfunkcji należy zaliczyć opóźnioną identyfikację obiektów w polu widzenia, ograniczoną aktywność wzrokową oraz utratę percepcji przejść jako miejsc wymagających podwyższonej ostrożności. Przełamanie tych ograniczeń wymaga zastosowania rozwiązań infrastrukturalnych aktywnie przyciągających uwagę kierowcy, a nie wyłącznie pasywnego oznakowania drogowego.

6.6.5 Czynniki ryzyka związane z czasem reakcji i prędkością

Prędkość jazdy kierowcy stanowi końcowy, mierzalny efekt całościowego oddziaływania łańcucha wcześniej przeanalizowanych czynników ryzyka, takich jak ograniczona percepcja, przeciążenie poznawcze, dysfunkcje wzrokowe czy uwarunkowania infrastrukturalne.

Wyniki pomiarów radarowych potwierdzają wysoki wskaźnik braku wymaganej ostrożności w rejonie analizowanych przejść, aż 49% obserwowanych pojazdów zbliżało się do tych obszarów z prędkością przekraczającą prędkość dozwoloną dla danej lokalizacji (badania prędkości przed zmianą taryfikatora mandatów). Natomiast badania prędkości przeprowadzone w roku 2023 (po wprowadzeniu zmian dotyczących taryfikatora mandatów), wykazały, że 53% kierowców przekraczało prędkość w terenie zabudowanym. Równie niepokojącym wynikiem jest fakt, że 89% uczestników

dojeżdżało do przejścia ze stałą a nie redukowaną prędkością w sytuacji braku pieszego na jezdni, co całkowicie wyklucza jakąkolwiek prewencyjną adaptację do potencjalnego zagrożenia i dowodzi o braku automatyzmów obronnych w reakcji na standardowe obiekty infrastrukturalne. Wyniki badań symulatorowych, wykazały, że aż 84% kierowców choć raz przekroczyło dozwoloną prędkość podczas wykonywania badań. Może mieć to związek ze świadomością kierowców, że środowisko symulatorowe daje poczucie bezpieczeństwa, ponieważ w przypadku wypadku nie ponoszą oni żadnej konsekwencji.

Tabela 41. Zidentyfikowane czynniki ryzyka na podstawie pomiarów prędkości

Wskaźnik	Wynik [%]
Przekroczona prędkość (po zmianie taryfikatora mandatów)	53%
Przekroczona prędkość (przed zmianą taryfikatora mandatów)	49%
Przekroczona prędkość – badania symulatorowe	84%
Stała prędkość dojazdowa do przejścia dla pieszych – badania pomiarowe	89%
Redukcja prędkości prewencyjna - znak nieaktywny	16%
Redukcja prędkości prewencyjna – oznakowanie aktywne	32%
Redukcja prędkości całkowita – znak nieaktywny	43%
Redukcja prędkości całkowita – znak aktywny	52.5%

Źródło: opracowanie własne.

Wzrost prędkości, w połączeniu ze skróceniem czasu dostępnego na reakcję jest szczególnie dotkliwy przy słabym oświetleniu i opóźnionym skanowaniu wzrokowym co bezpośrednio odbiera kierowcom rezerwę czasową niezbędną do podjęcia wczesnej, skutecznej reakcji manewrowej w obliczu nagłego pojawienia się pieszego. W warunkach nadmiernej prędkości nawet sprawny kierowca może być niezdolny do uniknięcia kolizji z powodu zbyt krótkiego dystansu hamowania.

Czas i jakość reakcji kierowców były istotnie modyfikowane przez czynniki o podłożu behawioralnym. Osiąganie bardzo dobrych wyników w zadaniach pobocznych SURT przez część uczestników wiązało się paradoksalnie z obniżeniem poziomu koncentracji na głównym zadaniu prowadzenia pojazdu, co skutkowało większym marginesem błędu przy jednoczesnym utrzymywaniu nadmiernej prędkości. Obserwacja ta potwierdza destrukcyjną rolę zjawiska przeceniania własnych możliwości jako

czynnika ryzyka, prowadzącego do nieprawidłowej alokacji ograniczonych zasobów uwagi. Różnica pomiędzy czasem reakcji dla znaku aktywnego w porównaniu ze znakiem pasywnym D-6 wyniosła aż 21%.

Rozwiązaniem wspierającym skrócenie łańcucha decyzyjnego okazało się ponownie wdrożenie aktywnej infrastruktury drogowej, która niemal dwukrotnie zwiększała efekt wytracania prędkości w stosunku do oznakowania klasycznego. Aktywne oznakowanie wspierało ponadto wcześniejszą adaptację i przetwarzanie informacji o zbliżającym się potencjalnym konflikcie, zwiększając niezbędny margines bezpieczeństwa w rejonie kolizyjnym. Dodatkowo odnotowano wzrost całkowitej redukcji prędkości związanej z wykorzystaniem znaku aktywnego w sytuacji kolizyjnej, gdzie redukcja całkowita dla znaku tego typu wynosiła 52,5%, a dla znaku pasywnego 43%.

Analiza tego zjawiska ukazuje wzajemnie wzmacniający się mechanizm, w którym obciążenie poznawcze, mankamenty percepcyjne uczestników ruchu i brak prewencyjnego wygaszania prędkości w sposób synergiczny zawężają okno czasowe umożliwiające uniknięcie kolizji. Przeprowadzone badania dostarczają empirycznych dowodów na to, że zastosowanie aktywnych elementów infrastruktury drogowej przez inżynierię drogową wymiennie i statystycznie istotnie zwiększa prewencję zdarzeń drogowych z udziałem pieszych.

Rozdział 7 Modele i metody oceny bezpieczeństwa przejść dla pieszych oraz rekomendacje

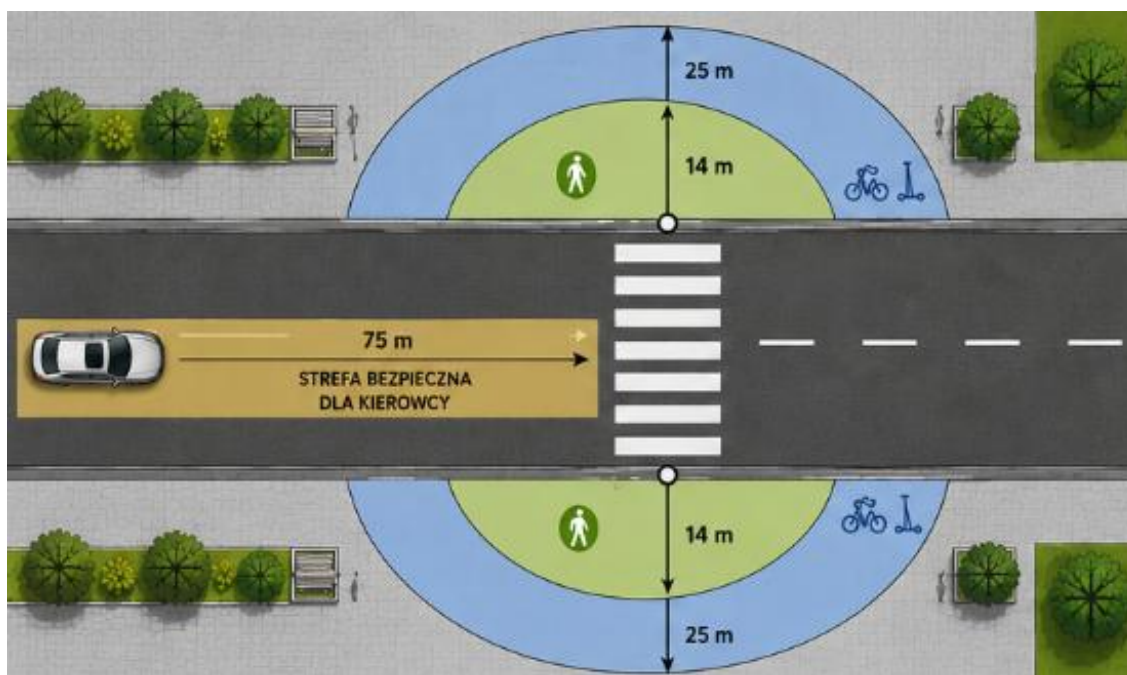
Bezpieczeństwo przejść dla pieszych jest kształtowane przez czynniki związane między innymi z infrastrukturą drogową oraz zachowaniami uczestników ruchu drogowego. Skuteczna ocena poziomu bezpieczeństwa wymagała uwzględnienia wzajemnie powiązanych czynników technicznych oraz behawioralnych. W niniejszym rozdziale przedstawiono determinanty bezpieczeństwa przejść dla pieszych oraz charakterystyczne wzorce zachowań pieszych i kierowców, wpływające na ryzyko wystąpienia zdarzeń drogowych. Na tej podstawie opracowano modele oceny bezpieczeństwa uwzględniające poszczególne grupy czynników oraz kompleksowy model integrujący aspekty infrastrukturalne i behawioralne.

7.1 Bezpośrednie otoczenie przejścia dla pieszych

Bezpośrednie otoczenie przejścia dla pieszych jest to strefa, w której reakcje i zachowania kierowców oraz niechronionych uczestników ruchu drogowego wpływają pośrednio lub bezpośrednio na bezpieczeństwo i ryzyko wypadku. Dla określenia strefy bezpośredniego otoczenia przejść dla pieszych przyjęto następujące założenia. W ramach realizowanych badań przyjęto, że dla pieszych jest to obszar, w którym czas spokojnego dojścia do krawędzi przejścia dla pieszych wynosi 10 sekund. W celu oszacowania adekwatnej strefy określono promień odległości na podstawie prędkości chodu pieszych 1,4 m/s. Czas ten jest wystarczający by pieszy mógł rozpoznać zagrożenie oraz zareagować. Wyznaczony promień obszaru (półokrąg) dla pieszych wynosi zatem 14 metrów od krawędzi przejścia dla pieszych. W odniesieniu do rowerzystów oraz osób korzystających z hulajnóg obszar wyznaczono analogicznie, jednak przyjęto prędkość poruszania się 2,5 m/s, przyjmując strefę (półokrąg) o promieniu 25 metrów.

Wyznaczono również obszar bezpośredniego otoczenia przejścia dla pieszych dla samochodów. Przyjęto, że obszar ten powinien umożliwiać zatrzymanie pojazdu przed przejściem dla pieszych celem uniknięcia potrącenia niechronionego uczestnika ruchu drogowego. Obszar ten wyznaczono na 75 metrów przed przejściem dla pieszych. Strefa została wyznaczona dla bezpiecznej drogi hamowania dla samochodu ciężarowego jadącego z prędkością 70 km/h oraz z uwzględnieniem średniego czasu reakcji kierowcy. Założenia te przyjęto na podstawie zrealizowanych badań, w których aż 49% kierowców przekraczało dopuszczalną prędkość przed przejściami dla pieszych, jak również

uwzględniając średni reakcji kierowcy który wynosi około 1 sekundy. Ilustrację bezpośredniego otoczenie przejścia dla pieszych przedstawiono na rysunku 83.



Rysunek 83. Strefa bliskiego otoczenia przejść dla pieszych w odniesieniu do kierowców, pieszych oraz użytkowników rowerów i hulajnóg.

Źródło: wygenerowano za pomocą Chat GPT, 8.06.2026, prompt „wygeneruj strefy bliskiego otoczenia pieszych, kierowców oraz użytkowników rowerów i hulajnóg na podstawie przesłanych danych”

7.2 Determinanty bezpieczeństwa i wzorce zachowań na przejściach dla pieszych

Determinanty bezpieczeństwa dla przejść dla pieszych to czynniki wpływające na poziom bezpieczeństwa w danym miejscu lub sytuacji. Odnoszą się one do różnych aspektów w tym do lokalizacji, infrastruktury i systemów oznakowania przejść dla pieszych. Wzorce zachowań pieszych i kierowców to typowe zachowania, które powtarzalnie można wyróżnić podczas poruszania się w przestrzeni publicznej, w tym w bezpośrednim otoczeniu przejść dla pieszych. W przypadku prowadzonych badań wzorce zachowań ograniczono do grupy tych, które w istotny sposób wpływają na ryzyko wystąpienia wypadku na przejściach dla pieszych.

7.2.1 Techniczne determinanty bezpieczeństwa

Na podstawie przeprowadzonych badań statystycznych i audytowych, wyodrębniono kluczowe techniczne czynniki bezpieczeństwa przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej (Tabela 35). Jako kluczowe determinanty bezpieczeństwa zidentyfikowano:

- 1) ograniczona widoczność (K1),
- 2) brak lub niepełne oświetlenie (K2),
- 3) zużyte oznakowanie poziome (K3),
- 4) zbyt długie przejście (więcej niż dwa pasy) (K4),
- 5) bliska okolica przystanku komunikacji miejskiej (K5),
- 6) brak wygrodzeń (zbyt mały azyl) (K6),
- 7) zły stan techniczny drogi (K7),
- 8) brak ciągłości trasy pieszych przed/za przejściem (K8).

Wybór determinant K1-K8 jest rezultatem wyników analizy statystycznej przeprowadzonej na podstawie danych z Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji oraz wyników badań ankietowych. Szczególnie istotne okazały się czynniki związane z widocznością. W analizie 100 wypadków drogowych ograniczona widoczność występowała w 83% przypadków, natomiast brak lub niepełne oświetlenie odnotowano w przypadku 77% zdarzeń. Oprócz czynników związanych z widocznością i oświetleniem, istotne znaczenie miały również elementy infrastruktury. W analizowanych zdarzeniach często identyfikowano zużyte oznakowanie poziome (41 %), długie przejścia obejmujące więcej niż dwa pasy ruchu (26%), lokalizację przejścia w pobliżu przystanków komunikacji miejskiej (22%) oraz brak wygrodzeń (zbyt mały azyl) (17%) (Rozdział 6.2 wykresy 19 i 20). Wyniki analizy statystycznej zostały dodatkowo potwierdzone w badaniach ankietowych, w których respondenci wskazywali zbliżone czynniki jako istotne źródła zagrożenia na przejściach dla pieszych (Rozdział 6.3 wykres 33 oraz 34). Szczególną uwagę zwrócono na ograniczoną widoczność oraz niewystarczające oświetlenie, a także na cennych infrastruktury utrudniające właściwą obserwację otoczenia i bezpieczne pokonanie przejścia. Przeprowadzone badania potwierdziły, że parametry infrastrukturalne przejścia, jak i warunki jego otoczenia stanowią istotne elementy definiujące poziom bezpieczeństwa, co uzasadniło wybór determinant K1-K8 do dalszych badań.

7.2.2 Wzorce zachowań pieszych

Na podstawie wyników badań obserwacyjnych, ankietowych oraz eyetrackingowych wyodrębniono charakterystyczne wzorce zachowań niechronionych uczestników ruchu drogowego na przejściach dla pieszych. Analiza materiału badawczego umożliwiła wyodrębnienie pięć kluczowych wzorców zachowań

niechronionych uczestników ruchu generujących wysokie ryzyko wypadku na przejściach dla pieszych. Zidentyfikowano następujące pięć krytycznych wzorców zachowań:

- 1) wtargnięcie na przejście (K1.1),
- 2) przekraczanie jezdni poza przejściem dla pieszych (K.1.2),
- 3) rozproszenie uwagi pieszego (korzystanie z telefonu) (K1.3),
- 4) brak obserwacji otoczenia przez pieszego (K1.4),
- 5) nieprzewidywalne zachowania pieszego (K1.5).

Tabela 42. Wzorce zachowań pieszych

Wzorce zachowania		Opis zachowania	Uzasadnienie
K1.1	Wtargnięcie na jezdnię	Brak świadomości konsekwencji kolizji pojazd-pieszy determinuje podejmowanie zachowań niebezpiecznych, takich jak wtargnięcie na przejście lub niepełna obserwacja otoczenia.	Niska świadomość skutków wypadku sprzyja podejmowaniu ryzykownych decyzji związanych z wejściem na jezdnię bez odpowiedniej oceny sytuacji ruchowej.
K1.2	Przekraczanie jezdni poza przejściem	Nagminne przekraczanie jezdni na zakręcie w miejscu niedozwolonym pomimo dostępności przejść dla pieszych.	Piesi świadomie rezygnują z wykorzystania dostępnej infrastruktury i wybierają miejsca o ograniczonej widoczności, zwiększając ryzyko sytuacji konfliktowych.
K1.3	Rozproszenie uwagi związane z korzystaniem z telefonu	Piesi korzystający z urządzeń mobilnych wykazują ślepotę atencyjną i ograniczoną uwagę w rejonie przejść dla pieszych.	Korzystanie z telefonu prowadzi do obniżenia percepcji zagrożeń oraz utrudnia prawidłową ocenę sytuacji drogowej.
K1.4	Brak obserwacji otoczenia przez pieszego	Przechodzenie przez przejście bez wcześniejszego zatrzymania celem oceny bezpieczeństwa oraz fragmentaryczna obserwacja przejść dla pieszych.	Ograniczona obserwacja otoczenia skutkuje niepełną oceną zagrożeń oraz zwiększa prawdopodobieństwo podjęcia błędnej decyzji o wejściu na jezdnię.
K1.5	Nieprzewidywalne zachowania pieszego	Oscylacja decyzji przed wejściem na przejście dla pieszych (zbliżanie-cofanie-powolne podejście).	Brak stabilności zachowania w czasie.

Źródło: opracowanie własne.

Wybór przedstawionych wzorców zachowań jest rezultatem badań obserwacyjnych, badań ankietowych oraz analizy eyetrackingowej (ET), które wskazały na ich wysoką częstość występowania. Badania obserwacyjne przeprowadzone na grupie 150 pieszych wykazały, że 22 osoby (15%) korzystało z urządzeń mogących powodować rozproszenie podczas przekraczania jezdni (Rozdział 6.1 wykres 3). Jednocześnie badania ET wykazały, że jedynie 20% badanych wykonało pełne i systematyczne skanowanie otoczenia przed wejściem na przejście dla pieszych. Pozostałe 80% badanych charakteryzowało się obserwacją fragmentaryczną (Rozdział 6.6.4). Pomimo obserwowanego wzrostu udziału rowerzystów i użytkowników hulajnóg elektrycznych w ruchu miejskim, grupy te nie zostały uwzględnione w opracowanych modelach.

Decyzja ta wynika przede wszystkim z zakresu przeprowadzonych badań, które były ukierunkowane na analizę zachowań pieszych na przejściach dla pieszych. Należy również podkreślić, że rowerzyści i użytkownicy hulajnóg charakteryzują się odmienną dynamiką ruchu oraz innym sposobem obserwacji otoczenia niż piesi. Czynniki te wpływają na przebieg procesu percepcji i podejmowania decyzji, co wymagałoby zastosowania odrębnych metod badawczych. Z tego względu uwzględnienie ich w ramach wspólnego modelu prowadziłoby do zniekształcenia wyników i obniżenia trafności wniosków.

7.2.3 Wzorce zachowań kierowców

Na podstawie wyników badań obserwacyjnych, symulatorowych, eyetrackingowych oraz ankietowych analogicznie wyodrębniono pięć kluczowych wzorców zachowań kierowców. Analiza materiału badawczego umożliwiła wyodrębnienie pięć kluczowych wzorców zachowań kierowców generujących wysokie ryzyko wypadku na przejściach dla pieszych. Zidentyfikowano następujące pięć krytycznych wzorców zachowań:

- 1) nadmierna prędkość przed przejściem dla pieszych (K2.1),
- 2) ograniczona obserwacja otoczenia przez kierowcę (K2.2),
- 3) rozproszenie uwagi kierowcy (korzystanie z telefonu) (K2.3),
- 4) niebezpieczne manewry (K2.4),
- 5) brak ustąpienia pierwszeństwa pieszemu (K2.5).

Wyodrębnione wzorce zachowań wraz z odpowiadającymi im kryteriami oceny zostały zestawione i przedstawione w tabeli 43.

Tabela 43. Wzorce zachowań kierowców

Wzorce zachowania		Opis zachowania	Uzasadnienie
K2.1	Nadmierna prędkość przed przejściem dla pieszych	Brak świadomości konsekwencji kolizji pojazd-pieszy determinuje nagminne przekraczanie prędkości w rejonie przejść oraz utrzymywanie stałej prędkości w strefie przejścia.	Niska percepcja ryzyka skutków potrącenia prowadzi do nieadekwatnej regulacji prędkości i braku redukcji w obszarze konfliktowym.
K2.2	Ograniczona obserwacja otoczenia przez kierowcę	Brak analizy wzrokowej przejścia związany ze zmęczeniem, widzenie tunelowe w porze nocnej oraz niekontrolowane reakcje stresowe (np. u niedoświadczonych kierowców).	Czynniki fizjologiczne i poznawcze ograniczają zdolność skutecznej obserwacji otoczenia oraz wykrywania pieszych w strefie przejścia.
K2.3	Rozproszenie uwagi (telefon i zadania dodatkowe)	Dysonans pomiędzy świadomością zagrożeń a używaniem telefonu oraz przekraczanie prędkości podczas wykonywania zadań dodatkowych (np. SURT, N-back).	Rozproszenie uwagi obniża kontrolę nad pojazdem i percepcję sytuacji drogowej, mimo świadomości ryzyka związanego z takimi zachowaniami.
K2.4	Niebezpieczne manewry	Kontynuowanie jazdy lub wyprzedzanie pojazdu zatrzymującego się przed przejściem (tzw. „fala uprzejmości”).	Nieprawidłowa interpretacja sytuacji drogowej prowadzi do wykonywania manewrów zwiększających ryzyko kolizji z pieszym znajdującym się w obszarze przejścia.
K2.5	Brak ustąpienia pierwszeństwa pieszemu	Brak ustąpienia pierwszeństwa pieszym oczekującym na przejściu przy niepełnym oświetleniu.	Ograniczona widoczność oraz błędna ocena sytuacji skutkują naruszeniem obowiązku ustąpienia pierwszeństwa pieszym.

Źródło: opracowanie własne.

Wybór wzorców zachowań kierowców przedstawionych w tabeli 43 oparto na wynikach przeprowadzonych badań obserwacyjnych, pomiarach radarowych, badań symulatorowych oraz analiz eyetrackingowych. Z danych opracowanych na podstawie własnych pomiarów, obejmujących 900 kierowców wynika, że 53% kierowców przekraczało dopuszczalną prędkość 50 km/h w terenie zabudowanym. Wyniki pomiarów radarowych potwierdziły wysoki wskaźnik braku wymaganej ostrożności w rejonie analizowanych przejść, aż 49% obserwowanych pojazdów zbliżało się do przejść z prędkością przekraczającą prędkość dozwoloną dla danej lokalizacji (Rozdział 6.6.5). Stanowiło to podstawę do uwzględnienia wzorca zachowania dotyczącego nadmiernej prędkości. Uzasadnienie dla wzorca zachowania związanego z rozproszeniem uwagi kierowcy, stanowią wyniki obserwacji, zgodnie z którymi spośród 900 kierowców, 20 prowadziło rozmowę przez telefon, 21 korzystało z telefonu w innym celu, a 8 obsługiwało ekran pojazdu (Rozdział 6.1 wykres 4). Dodatkowo badania ankietowe przeprowadzone wśród 555 respondentów wykazały, że 31% kierowców przyznało się do korzystania z telefonu komórkowego podczas prowadzenia pojazdu, podczas gdy 59% zadeklarowało brak takich zachowań (Rozdział 6.3.1). Wyboru pozostałych

wzorców zachowań dokonano także na podstawie wyników badań eyetrackingowych (Rozdział 6.5 rysunek 51-65). Analiza ruchów gałek ocznych wykazała koncentrację fiksacji w centralnej części jezdni, ograniczoną obserwację pobocza i strefy przejścia dla pieszych oraz niewielką eksplorację otoczenia. Zaobserwowane cechy percepcji wzrokowej wskazują na zwężenie pola uwagi i utrudnione wykrywanie zagrożeń, co może prowadzić do ograniczonej obserwacji otoczenia, braku ustąpienia pierwszeństwa pieszemu czy podejmowania niebezpiecznych manewrów.

7.3 Modele oceny bezpieczeństwa na przejściach dla pieszych

W niniejszym rozdziale przedstawiono modele cząstkowe oceny bezpieczeństwa przejść dla pieszych, opracowane na podstawie wyników wieloaspektowych badań kontekstowych i obserwacyjnych oraz analiz statystycznych i ankietowych opisanych w rozdziałach 5 i 6.

Kompleksowy model uwzględnia trzy modele cząstkowe uwzględniające determinanty techniczne oraz wzorce zachowań pieszych i kierowców istotnie wpływające na bezpieczeństwo.

Zidentyfikowane kluczowe obszary bezpieczeństwa przejść dla pieszych, czyli warunki techniczne i lokalizacyjne oraz wzorce zachowań pieszych i kierowców zostały opisane za pomocą odrębnych modeli cząstkowych. Jako całkowitą miarę bezpieczeństwa określono wskaźnik ilościowy zdefiniowany matematycznie jako kompleksowy model oceny bezpieczeństwa przejścia dla pieszych. Jako zmienne wejściowe modeli przyjęto zidentyfikowane i zwalidowane kluczowe determinanty i wzorce zachowań, które zostały opisane w rozdziale 7.1. W celu szacowania parametrów modeli, jako wskaźników wagowych zastosowano zmodyfikowaną metodę AHP.

7.3.1 Model oceny bezpieczeństwa technicznego

Model oceny bezpieczeństwa technicznego przejścia dla pieszych opracowano w celu określenia wpływu rozwiązań infrastrukturalnych oraz warunków lokalizacji przejścia na poziom bezpieczeństwa.

Zidentyfikowane kryteria techniczne oceny bezpieczeństwa, poddano analizie grupie eksperckiej celem określenia istotności poszczególnych kryteriów i ich wpływu na bezpieczeństwo. Pozwoliło to na zdefiniowanie kluczowych parametrów, które należy

uznać jako determinanty bezpieczeństwa technicznego. Specjalnie wyselekcjonowana grupa ekspertów w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego przeprowadzała ocenę na podstawie całego zakresu wykonanych badań i analiz statystycznych. W badaniach wykorzystano metodę delficką, należącą do grupy metod heurystycznych, wykorzystując anonimowe ankiety wśród niezależnych specjalistów. W efekcie dokonano określenia istotności poszczególnych kryteriów na podstawie wyników badań, ale również pozyskanej wcześniej wiedzy i doświadczenia ekspertów w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego. W składzie grupy eksperckiej znaleźli się profesorowie uczelni wyższych, biegli sądowi, policjanci z wydziału ruchu drogowego oraz zarządcy infrastruktury drogowej.

W celu określenia poziomu istotności (parametrów) poszczególnych kryteriów (zmiennych wejściowych) wpływających na bezpieczeństwo przejść dla pieszych zastosowano zmodyfikowaną metodę AHP. W pierwszym etapie dokonano porównania kryteriów parami, z wykorzystaniem dziewięciostopniowej skali Saaty'ego, a wyniki zapisano w postaci macierzy kwadratowej $A = [a_{ij}]$, którą zaprezentowano w postaci tabeli 44.

Tabela 44. Porównanie kryteriów parami – macierz A

KRYTERIUM	OGRANICZONA WIDOCZNOŚĆ	BRAK LUB NIEPEŁNE OŚWIETLENIE	ZUŻYTE OZNAKOWANIE POZIOME	ZBYT DŁUGIE PRZEJŚCIE (WIĘCEJ NIŻ DWA PASY)	BLISKA OKOLICA PRZYSTANKU KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ	BRAK WYGRODZEŃ (ZBYT MAŁY AZYL)	ZŁY STAN TECHNICZNY DROGI	BRAK CIĄGŁOŚCI TRASY PIESZYCH PRZED/ZA PRZEJŚCIEM
OGRANICZONA WIDOCZNOŚĆ	1	2	5	6	5	5	5	6
BRAK LUB NIEPEŁNE OŚWIETLENIE	1/2	1	3	4	3	4	5	3
ZUŻYTE OZNAKOWANIE POZIOME	1/5	1/3	1	2	3	2	4	6
ZBYT DŁUGIE PRZEJŚCIE (WIĘCEJ NIŻ DWA PASY)	1/6	1/4	1/2	1	2	2	3	5
BLISKA OKOLICA PRZYSTANKU KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ	1/5	1/3	1/3	1/2	1	2	3	3
BRAK WYGRODZEŃ (ZBYT MAŁY AZYL)	1/5	1/4	1/2	1/2	1/2	1	2	4
ZŁY STAN TECHNICZNY DROGI	1/5	1/2	1/4	1/3	1/3	1/2	1	3
BRAK CIĄGŁOŚCI TRASY PIESZYCH PRZED/ZA PRZEJŚCIEM	1/6	1/3	1/6	1/5	1/3	1/4	1/3	1
SUMA	2,63	5,00	10,75	14,53	15,17	16,75	23,33	31,00

Źródło: opracowanie własne.

Analizując macierz można zauważyć, że na jej przekątnej znajdują się elementy równe 1. Ponadto wszystkie elementy położone powyżej przekątnej są odwrotnością elementów poniżej niej. Następnym krokiem była normalizacja macierzy A, czyli przekształcenie jej w macierz $B = [b_{ij}]$ przy wykorzystaniu wzoru 2 (str. 88).

W kolejnym kroku, przy użyciu wzoru 3 (str. 88), wyznaczono wagi przyjętych

zmiennych wejściowych (kryteriów), oznaczone w dalszej części pracy jako w (są parametry modelu). Macierz B przedstawiono wraz z obliczonymi wagami kryteriów w tabeli 45.

Tabela 45. Wagi poszczególnych kryterium – macierz B

KRYTERIUM	OGRANICZONA WIDOCZNOŚĆ	BRAK LUB NIEPEŁNE OŚWIETLЕНИЕ	ZUŻYTE OZNAKOWANIE POZIOME	ZBYT DŁUGIE PRZEJŚCIE (WIĘCEJ NIŻ DWA PASY)	BLISKA OKOLICA PRZYSTANKU KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ	BRAK WYGRODZEŃ (ZBYT MAŁY AZYL)	ZŁY STAN TECHNICZNY DROGI	BRAK CIĄGŁOŚCI TRASY PIESZYCH PRZED/ZA PRZEJŚCIEM	WAGA KRYTERIUM
OGRANICZONA WIDOCZNOŚĆ	0,38	0,40	0,47	0,41	0,33	0,30	0,21	0,19	0,3367
BRAK LUB NIEPEŁNE OŚWIETLЕНИЕ	0,19	0,20	0,28	0,28	0,20	0,24	0,21	0,10	0,2115
ZUŻYTE OZNAKOWANIE POZIOME	0,08	0,07	0,09	0,14	0,20	0,12	0,17	0,19	0,1319
ZBYT DŁUGIE PRZEJŚCIE (WIĘCEJ NIŻ DWA PASY)	0,06	0,05	0,05	0,07	0,13	0,12	0,13	0,16	0,0962
BLISKA OKOLICA PRZYSTANKU KOMUNIKACJI MIEJSKIEJ	0,08	0,07	0,03	0,03	0,07	0,12	0,13	0,10	0,0773
BRAK WYGRODZEŃ (ZBYT MAŁY AZYL)	0,08	0,05	0,05	0,03	0,03	0,06	0,09	0,13	0,0643
ZŁY STAN TECHNICZNY DROGI	0,08	0,10	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,10	0,0517
BRAK CIĄGŁOŚCI TRASY PIESZYCH PRZED/ZA PRZEJŚCIEM	0,06	0,07	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03	0,0303

Źródło: opracowanie własne.

Zgodnie z wynikami obliczeń najwyższą wagę przypisano kryterium K1 (ograniczona widoczność = 0,3367), następnie odpowiednio K2 (brak lub niepełne oświetlenie = 0,2115), K3 (zużyte oznakowanie poziome = 0,1319), K4 (zbyt długie przejście (więcej niż dwa pasy) = 0,0962), K5 (bliska okolica przystanku komunikacji miejskiej = 0,0773), K6 (brak wygrodzień (zbyt mały azyl) = 0,0643) oraz K7 (zły stan techniczny drogi = 0,0517), a najniższa waga została przypisana kryterium K8 (brak ciągłości trasy pieszych przed/za przejściem = 0,0303).

Aby sprawdzić rzetelność porównania dokonanego w macierzy A, zweryfikowano jej spójność. Pierwszym krokiem badania spójności było obliczenie maksymalnej wartości własnej (λ_{max}) macierzy A. Obliczenie λ_{max} rozdzielono na obliczenie Aw , które stanowi sumę iloczynów elementów wiersza macierzy i wektora wag. Następnie wyznaczono λ_{max} poprzez iloraz sumy Aw/w i liczby kryteriów n , czyli 8. Wyniki tych obliczeń oraz sposób ich wykonania przedstawiono na rysunku 84.

w	Aw/w
0,3367	9,3394
0,2115	9,4517
0,1319	9,1810
0,0962	8,9478
0,0773	8,8158
0,0643	8,7394
0,0517	8,4845
0,0303	8,4795

$$\lambda_{max} = \frac{9,4517+9,1810+8,9478+8,8158+8,7394+8,4845+8,4795}{8} = 8,9299$$

$$CI = \frac{8,9299-8}{7} = 0,1328$$

$$CR = \frac{0,1328}{1,40} = 0,0949$$

Rysunek 84. Obliczenie wskaźników spójności dla kryteriów technicznych

Źródło: opracowanie własne.

Z obliczenia CI oraz CR otrzymano następujące wyniki: **CI** = 0,1328 , **CR** = 0,0949. Ze względu na to, że CR jest mniejsze od 0,1 można stwierdzić, że porównania kryteriów są spójne.

Po wyznaczeniu wag kryteriów (parametrów modelu) metodą AHP oraz weryfikacji spójności dokonanych porównań za pomocą wskaźnika CR, uzyskane wartości przyjęto jako podstawę dalszych obliczeń w modelu oceny bezpieczeństwa przejść dla pieszych.

Tabela 46. Wskaźniki wagowe (parametry zmiennych wejściowych modelu bezpieczeństwa technicznego oraz kryteria oceny poziomu parametrów (skala 1-3)

WAGA KRYTERIUM			1	2	3
0,3367	K1	Ograniczona widoczność	Przeście zastawione przez pojazdy oraz inne (roślinność, reklamy itd..) z obu stron	Przeście zastawione przez pojazdy oraz inne z jednej strony (roślinność reklamy itd..)	Niezastawione przez pojazdy oraz inne (roślinność, reklamy itd..) z obu stron
0,2114	K2	Brak lub niepełne oświetlenie	Brak oświetlenia	Oświetlenie niepełne	Oświetlenie kompletne
0,1319	K3	Zużyte oznakowanie poziome	Brak oznakowania poziomego	Oznakowanie niepełne lub w złym stanie technicznym	Oznakowanie kompletne
0,0962	K4	Zbyt długie przejście (więcej niż dwa pasy)	Przeście przez więcej niż 2 pasy jezdni (do końca przejścia lub azylu)	Przeście przez dwa pasy jezdni	Przeście przez 1 pas jezdni
0,0773	K5	Lokalizacja przejścia w okolicy przystanku komunikacji	Przystanek autobusowy w bezpośrednim sąsiedztwie przejścia dla pieszych	Przystanek autobusowy oddalony od przejścia dla pieszych 5 metrów	Przystanek oddalony od przejścia powyżej 10 metrów
0,0642	K6	Brak wygrodzeń (zbyt mały azyl)	Brak wygrodzeń	Wygrodzenie bez dodatkowego oznakowania	Wygrodzenie wraz z dodatkowym oznakowaniem
0,0517	K7	Zły stan techniczny drogi	Wyraźne uszkodzenia jezdni kwalifikujące do prac remontowych	Jezdnia w dobrym stanie technicznym	Jezdnia w bardzo dobrym stanie technicznym
0,0303	K8	Brak ciągłości trasy pieszych przed/za przejściem	Brak ciągłości	Częściowa ciągłość trasy	Ciągłość trasy

Źródło: opracowanie własne.

W kolejnym etapie każdemu z analizowanych kryteriów (zmiennych wejściowych) przypisano ocenę punktowa w skali od 1-3, zgodnie z przyjętą klasyfikacją poziomu bezpieczeństwa (tabela 46). Wartości te odzwierciedlają stopień spełnienia

warunków infrastrukturalnych. Od stanu najmniej korzystnego (1 punkt), przez stan pośredni (2 punkty), aż do stanu najbardziej korzystnego (3 punkty).

Na podstawie oszacowanych wskaźników wagowych oraz przypisanych ocen punktowych zmiennych wejściowych zdefiniowano model oceny bezpieczeństwa technicznego przejścia dla pieszych. Przyjęto następujący zapis matematyczny zdefiniowanego modelu:

$$I = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot O_i) \quad (8)$$

gdzie:

- I – wskaźnik oceny bezpieczeństwa technicznego przejścia dla pieszych
- w_i – waga i- tego kryterium (zmiennej wejściowej),
- O_i – ocena punktowa i-tego kryterium (zmiennej wejściowej) w skali od 1-3,
- n – liczba zmiennych wejściowych.

Dzięki oszacowaniu wag kryteriów dokonano parametryzacji modelu, co umożliwia rozwinięcie i pełny zapis matematyczny do postaci zidentyfikowanych zmiennych wejściowych:

$$I = 0,3367 \cdot K1 + 0,2114 \cdot K2 + 0,1319 \cdot K3 + 0,0962 \cdot K4 + 0,0773 \cdot K5 + 0,0642 \cdot K6 + 0,0517 \cdot K7 + 0,0303 \cdot K8$$

gdzie:

- I – wskaźnik oceny bezpieczeństwa technicznego przejścia dla pieszych
- $K1$ – ograniczona widoczność,
- $K2$ - brak lub niepełne oświetlenie,
- $K3$ - zużyte oznakowanie poziome,
- $K4$ - zbyt długie przejście,
- $K5$ – bliska okolica przystanku komunikacji miejskiej,
- $K6$ - brak wygrodzeń,
- $K7$ – zły stan techniczny drogi,
- $K8$ - brak ciągłości trasy pieszych przed/za przejściem.

Wynikiem modelu jest wskaźnik I , który odzwierciedla poziom bezpieczeństwa technicznego przejścia dla pieszych. Wskaźnik przyjmuje wartości z przedziału $1 \leq I \leq 3$,

gdzie 1 oznacza najniższy, a 3 najwyższy poziom technicznego bezpieczeństwa przejścia dla pieszych.

7.3.2 Model oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań pieszych

Model oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań pieszych został opracowany w celu określenia wpływu niebezpiecznych zachowań pieszych na poziom bezpieczeństwa w rejonie przejść dla pieszych. Jako podstawę do opracowania modelu przyjęto zmienne wejściowe określone jako zidentyfikowane kluczowe wzorce zachowań pieszych, które istotnie wpływają na ryzyko wypadku. W tym celu wykorzystano wyniki badań obserwacyjnych i eyetrackingowych rzeczywistych zachowań uczestników ruchu drogowego.

W celu identyfikacji zachowań, które noszą znamiona wzorca w kontekście ryzyka zdarzenia niepożądanego (wypadku na przejściu dla pieszych) przeprowadzono kalkulacje i analizę częstości określonych typów zachowań pieszych. W odniesieniu do całkowitej liczby obserwacji umożliwia to oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia danego zachowania, które nazwano wskaźnikiem częstości występowania zachowania wyznaczanym zgodnie ze wzorem:

$$W_{cz} = \frac{n_i}{N} \quad (9)$$

gdzie:

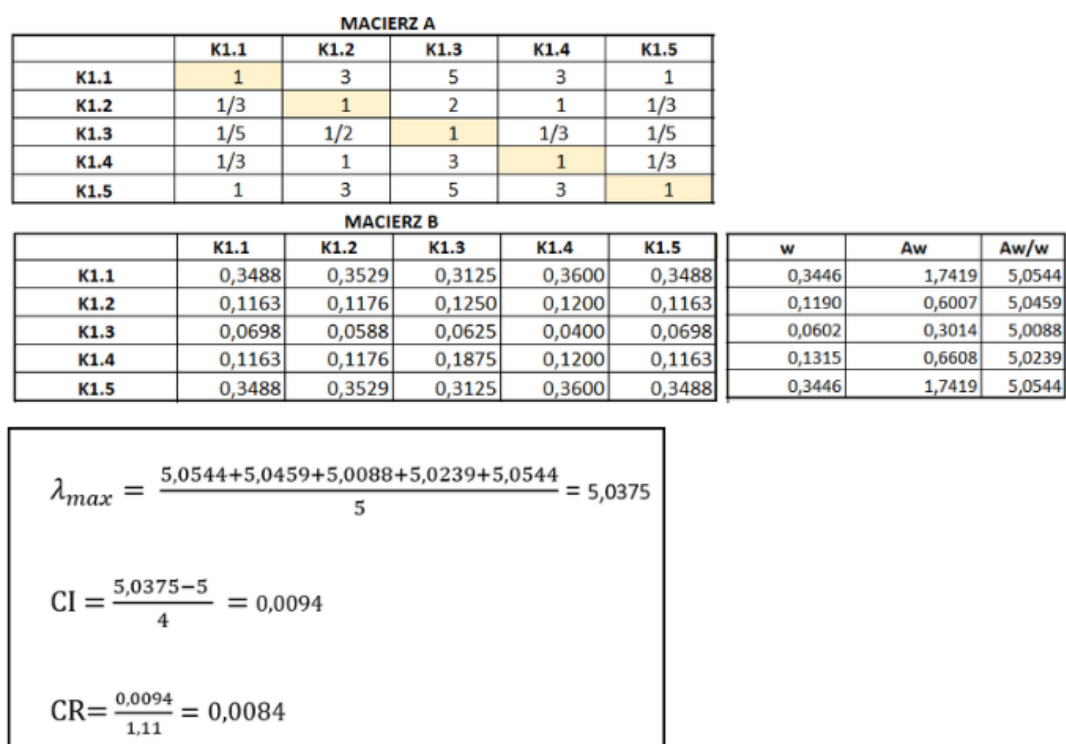
W_{cz} – wskaźnik częstości występowania zachowania,

n_i – liczba wystąpień zachowania,

N – całkowita liczba obserwacji

Wyznaczony wskaźnik stanowi podstawę do klasyfikacji zachowań w kontekście rozróżniania tych o charakterze wzorca i tych o charakterze incydentu. Należy jednak nadmienić, że z uwagi na skutki zachowań, nie tylko wskaźnik częstości występowania zachowania determinował czy zostanie ono przyjęte jako zmienna wejściowa modelu bezpieczeństwa. Jako drugie kryterium, o charakterze priorytetowym, przyjęto zależność przyczynowo-skutkową pomiędzy typem zachowania a ryzykiem wypadku. W efekcie pogłębionej analizy zachowań ostatecznie zidentyfikowano 5 zdefiniowanych jako wzorce krytycznych zachowań istotnie wpływających na ryzyko wypadku na przejściu dla pieszych.

Następnie w celu określenia parametrów modelu, jako współczynników wagowych przyjętych zmiennych wejściowych ponownie zaadaptowano metodę AHP. W procesie obliczeniowym wyznaczono największą wartość własną macierzy $\lambda_{max} = 5,0375$, co jest bardzo zbliżone do liczby analizowanych kryteriów ($n=5$). Oznacza to bardzo wysoką zgodność przeprowadzonych porównań parami. Wartość indeksu spójności $CI = 0,0094$ oraz współczynnika $CR = 0,0084$ wskazują na bardzo wysoki poziom zgodności ocen. Niska wartość współczynnika CR , znacznie poniżej przyjętego progu $0,1$, potwierdza poprawność i spójność macierzy porównań. Obliczenia te przedstawiono na rysunku 85.



Rysunek 85. Wyznaczenie wag i wskaźników spójności dla kryteriów dotyczących wzorców zachowań pieszych

Źródło. opracowanie własne.

W procesie szacowania wag wyznaczono następujące parametry modelu dla kolejnych zmiennych wejściowych:

- wtargnięcie na przejście (K1.1) oraz nieprzewidywalne zachowania (K1.5) - 0,3446,
- brak obserwacji otoczenia przez pieszego (K1.4) - 0,1315,
- przekraczanie jezdni poza przejściem dla pieszych (K1.2) - 0,1190,
- korzystanie z telefonu (K1.3) - 0,0602.

Wysoka waga kryterium K1.1 wskazuje, że nagle i nieprzewidywalne wtargnięcie na jezdnię stanowi kluczowy czynnik ryzyka, szczególnie ze względu na ograniczony czas reakcji kierowcy. Z kolei nieprzewidywalne zachowania pieszego (K1.5) znacząco utrudniają kierowcom właściwą ocenę sytuacji oraz ograniczają czas potrzebny na reakcję. Zachowania nieprzewidywalne powodują zagrożenie dynamiczne i trudne do wcześniejszego przewidzenia. Kolejną grupę stanowią kryteria o umiarkowanym znaczeniu, czyli brak obserwacji otoczenia przez pieszego (K1.4) oraz przekraczanie jezdni poza przejściem dla pieszych. Oznacza to, że zachowania te mają zauważalny wpływ na bezpieczeństwo, jednak ich znaczenie jest mniejsze niż w przypadku poprzednich zachowań. Najniższą wagę oszacowano dla zachowania rozproszenia uwagi pieszego (korzystanie z telefonu) (K1.3). Wynik ten, może wydawać się zaskakujący, ponieważ korzystanie z telefonu przez pieszego jest obecnie jednym z najczęściej wskazywanych zagrożeń dotyczących bezpieczeństwa pieszych. Niska waga kryterium K1.3 nie oznacza, że rozpraszacze są nieistotne, lecz wskazuje że ich wpływ ma charakter pośredni i często prowadzi do wystąpienia zachowań zaklasyfikowanych w kryterium K1.5. Można zatem uznać, że korzystanie z telefonu jest jednym z czynników sprzyjających powstawaniu zachowań nieprzewidywalnych, które zostały ocenione jako najbardziej niebezpieczne.

Na podstawie oszacowanych wskaźników wagowych (parametrów modelu) oraz zidentyfikowanych zmiennych wejściowych zdefiniowano model oceny bezpieczeństwa przejścia dla pieszych w kontekście zachowań pieszych. Przyjęto następujący zapis matematyczny zdefiniowanego modelu:

$$P = 1 - \sum_{i=1}^n (w_i \cdot W_{czp}) \quad (10)$$

gdzie:

- P – wskaźnik oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań pieszych,
- w_i – waga i-tego kryterium (zmiennej wejściowej),
- W_{czp} – wskaźnik częstości występowania danego wzorca zachowania pieszych (zmiennej wejściowej).
- n – liczba zmiennych wejściowych (wzorców zachowań).

Dzięki oszacowaniu wag kryteriów dokonano parametryzacji modelu, co umożliwia rozwinięcie i pełny zapis matematyczny do postaci zidentyfikowanych zmiennych wejściowych:

$$P = 1 - (0,3446 \cdot K1.1 + 0,119 \cdot K1.2 + 0,0602 \cdot K1.3 + 0,1315 \cdot K1.4 + 0,3446 \cdot K1.5)$$

gdzie:

- P – wskaźnik oceny bezpieczeństwa przejścia w kontekście zachowań pieszych
- $K1.1$ – wtargnięcie na przejście,
- $K1.2$ – przekraczanie jezdni poza przejściem dla pieszych,
- $K1.3$ - korzystanie z telefonu,
- $K1.4$ – brak obserwacji otoczenia przez pieszego,
- $K1.5$ – nieprzewidywalne zachowania.

Przyjęty model umożliwia ilościową ocenę zachowań pieszych w kontekście bezpieczeństwa ruchu drogowego, uwzględniając zarówno częstość występowania poszczególnych zachowań, oraz ich znaczenie określone za pomocą metody AHP. Wynikiem modelu jest wskaźnik P , który może przyjmować wartości od 0 do 1, gdzie 1 oznacza przejście dla pieszych na którym nie występują istotne zachowania niebezpieczne. Zastosowanie modelu i wskaźnik P umożliwiają porównywalność bezpieczeństwa przejść dla pieszych w kontekście zachowań pieszych na podstawie badań obserwacyjnych.

7.3.3 Model oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań kierowców

Jako kolejny model cząstkowy oceny bezpieczeństwa przejść dla pieszych zaproponowano model oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań kierowców. Został on opracowany w celu oceny wpływu niebezpiecznych zachowań kierujących pojazdami na poziom bezpieczeństwa w rejonie przejść dla pieszych. Analogicznie jako podstawę do opracowania modelu przyjęto zmienne wejściowe określone jako zidentyfikowane kluczowe wzorce zachowań kierowców, które istotnie wpływają na ryzyko wypadku. W tym celu wykorzystano wyniki badań symulatorowych, obserwacyjnych i eyetrackingowych. Analizy prowadzono w oparciu o wyniki obserwacji rzeczywistych zachowań kierowców, w tym z wykorzystaniem symulatora oraz w trakcie badań *in situ*. W efekcie pogłębionej analizy zachowań ostatecznie zidentyfikowano 5 zdefiniowanych

jako wzorce krytycznych zachowań kierowców istotnie wpływających na ryzyko wypadku na przejściu dla pieszych.

Podobnie jak w przypadku definiowania modelu w kontekście zachowań pieszych zidentyfikowano typy zachowań o charakterze wzorca. Dla każdego analizowanego rodzaju zachowania, określono liczbę jego wystąpień, a następnie odniesiono ją do całkowitej liczby obserwacji, co pozwoliło na obliczenie wskaźnika częstości występowania (prawdopodobieństwa) danego zachowania. Umożliwiło to identyfikację i klasyfikację zachowań kierowców w kontekście rozróżniania tych o charakterze wzorca i tych o charakterze incydentu. Ponownie jednak jako dodatkowe kryterium klasyfikacji wzorca zachowania przyjęto zależność przyczynowo-skutkową pomiędzy typem zachowania a ryzykiem wypadku. Pozwoliło to na wyznaczenie zmiennych wejściowych modelu bezpieczeństwa w kontekście zachowań kierowców. W rezultacie tej analizy zidentyfikowano 5 zdefiniowanych jako wzorce krytycznych zachowań kierowców istotnie wpływających na ryzyko wypadku na przejściu dla pieszych. Parametryzacji modelu dokonano na podstawie szacowania współczynników wagowych zmiennych losowych wykorzystując ponownie zmodyfikowaną metodę AHP. Maksymalna wartość własna macierzy $\lambda_{max} = 5,0133$. Wskaźnik spójności $CI = 0,0033$, natomiast $CR = 0,030$ pozostaje poniżej progu 0,1, co potwierdza poprawność porównań (rysunek 86). Macierz porównań charakteryzuje się wysoką spójnością, a wyznaczone wagi kryteriów są rzetelne.

MACIERZ A					
	K2.1	K2.2	K2.3	K2.4	K2.5
K2.1	1	2	2	3	1
K2.2	1/2	1	1	2	1/2
K2.3	1/2	1	1	2	1/2
K2.4	1/3	1/2	1/2	1	1/3
K2.5	1	2	2	3	1

MACIERZ B					
	K2.1	K2.2	K2.3	K2.4	K2.5
K2.1	0,3000	0,3077	0,3077	0,2727	0,3000
K2.2	0,1500	0,1538	0,1538	0,1818	0,1500
K2.3	0,1500	0,1538	0,1538	0,1818	0,1500
K2.4	0,1000	0,0769	0,0769	0,0909	0,1000
K2.5	0,3000	0,3077	0,3077	0,2727	0,3000

w	Aw	Aw/w
0,2976	1,4937	5,0188
0,1579	0,7913	5,0115
0,1579	0,7913	5,0115
0,0890	0,4453	5,0058
0,2976	1,4937	5,0188

$$\lambda_{max} = \frac{5,0188+5,0115+5,0115+5,0058+5,0188}{5} = 5,0133$$

$$CI = \frac{5,0133-5}{4} = 0,0033$$

$$CR = \frac{0,0033}{1,11} = 0,0030$$

Rysunek 86. Wyznaczenie wag i wskaźników spójności dla kryteriów dotyczących zachowań kierowców

Źródło: opracowanie własne.

W procesie szacowania wag wyznaczono następujące parametry modelu bezpieczeństwa w kontekście zachowań kierowców dla kolejnych zmiennych wejściowych:

- nadmierna prędkość przed przejściem dla pieszych (K2.1) - 0,2976,
- brak ustąpienia pierwszeństwa pieszemu (K2.5) - 0,2976,
- brak obserwacji otoczenia (K2.2) – 0,1579,
- rozproszenie uwagi kierowcy (korzystanie z telefonu) (K2.3) - 0,1579,
- niebezpieczne manewry (K2.4) - 0,0890.

Oznacza to, że wzorce zachowań: nadmierna prędkość przed przejściem dla pieszych i brak ustąpienia pierwszeństwa pieszemu są zachowaniami o kluczowym znaczeniu dla bezpieczeństwa. Nadmierna prędkość ogranicza możliwość skutecznej reakcji kierowcy oraz wydłuża drogę hamowania. Natomiast nieustąpienie pierwszeństwa stanowi bezpośrednie zagrożenie dla uczestników ruchu. Kolejne dwa wzorce, czyli brak obserwacji otoczenia oraz rozproszenie uwagi kierowcy (korzystanie z telefonu) okazały się tak samo istotne. Wynik ten wskazuje na silny związek pomiędzy poziomem koncentracji kierowcy, a jego zdolnością do prawidłowej obserwacji sytuacji

na drodze. Zarówno właściwa obserwacja otoczenia, jak i utrzymanie pełnej koncentracji kierowcy, stanowią istotne elementy podczas bezpiecznego zbliżania się do przejścia dla pieszych. Najniższy wskaźnik wagowy oszacowano dla wzorca niebezpieczne manewry. Nie oznacza to jednak, że nie wpływa on na bezpieczeństwo pieszych, lecz jego znaczenie zostało ocenione jako mniejsze w porównaniu do pozostałych czterech. Niebezpieczne manewry, takie jak gwałtowne omijanie innych pojazdów, wyprzedzanie w pobliżu przejścia dla pieszych, nagła zmiana pasa ruchu, mogą prowadzić do ograniczenia widoczności pieszego oraz utrudniać przewidywanie zachowań kierowcy przez innych uczestników ruchu. Niższa wartość wagi może wynikać z faktu, że niebezpieczne manewry mają najczęściej charakter sytuacyjny i występują rzadziej niż przekraczanie prędkości czy nieustąpienie pierwszeństwa pieszym.

Na podstawie oszacowanych wskaźników wagowych (parametrów modelu) oraz zidentyfikowanych zmiennych wejściowych zdefiniowano model oceny bezpieczeństwa przejścia dla pieszych w kontekście zachowań kierowców. Przyjęto następujący zapis matematyczny zdefiniowanego modelu:

$$K = 1 - \sum_{i=1}^n (w_i \cdot W_{czk}) \quad (11)$$

gdzie:

- K – wskaźnik oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań kierowców,
- w_i – waga i-tego kryterium (zmiennej wejściowej),
- W_{czk} – wskaźnik częstości występowania danego wzorca zachowania kierowcy (zmiennej wejściowej).
- n – liczba zmiennych wejściowych (wzorców zachowań).

Dzięki oszacowaniu wag kryteriów dokonano parametryzacji modelu, co umożliwia rozwinięcie i pełny zapis matematyczny do postaci zidentyfikowanych zmiennych wejściowych:

$$K = 1 - (0,2976 \cdot K2.1 + 0,1579 \cdot K2.2 + 0,1579 \cdot K2.3 + 0,089 \cdot K2.4 + 0,2976 \cdot K2.5)$$

gdzie:

- K – wskaźnik oceny bezpieczeństwa przejścia w kontekście zachowań kierowców

- K2.1* – nadmierna prędkość przed przejściem dla pieszych,
- K2.2* – brak obserwacji otoczenia,
- K2.3* – rozproszenie uwagi kierowcy (korzystanie z telefonu),
- K2.4* – niebezpieczne manewry,
- K2.5* – brak ustąpienia pierwszeństwa pieszemu.

Przyjęty model umożliwia ilościową ocenę zachowań kierowców w kontekście bezpieczeństwa na przejściach dla pieszych. Wynikiem zapisu matematycznego modelu jest wskaźnik *K*, który może przyjmować wartości od 0 do 1, gdzie 1 oznacza przejście dla pieszych na którym nie występują istotne zachowania niebezpieczne kierowców. Zastosowanie modelu i wskaźnik *K* umożliwiają porównywalność bezpieczeństwa przejść dla pieszych w kontekście zachowań kierowców na podstawie badań obserwacyjnych.

7.3. 4 Kompleksowy model oceny bezpieczeństwa przejść dla pieszych

Jako kompleksowy model oceny bezpieczeństwa przejść dla pieszych zdefiniowano sumaryczny model ocen cząstkowych w zakresie determinant technicznych oraz wzorców zachowań pieszych i kierowców. Jako zmienne wejściowe przyjęto wartości cząstkowych modeli oceny bezpieczeństwa technicznego przejścia (*I*), oceny bezpieczeństwa zachowań pieszych (*P*) oraz oceny bezpieczeństwa zachowań kierowców (*K*). Parametryzacja modelu wynika wprost z wartości maksymalnych modeli cząstkowych, w których *I* może przyjmować wartości od 1 do 3 zaś *P* i *K* wartości od 0 do 1. Zatem wskaźnik istotności determinant technicznych wynosi 0.6 zaś wzorców zachowań pieszych i kierowców odpowiednio po 0,2. Wynika to bezpośrednio z założeń badawczych i wdrożeniowych, które określają priorytet bezpieczeństwa wynikający z zabudowy oraz stosowanych oznaczeń i sygnalizacji na przejściach dla pieszych.

Kompleksowy model bezpieczeństwa przejścia dla pieszych został zdefiniowany jako suma modeli cząstkowych (wskaźników bezpieczeństwa) i wyrażony jest następującym wzorem:

$$W_{BP} = I + P + K \quad (12)$$

gdzie:

- W_{BP} – wskaźnik bezpieczeństwa przejścia,
- I – model oceny bezpieczeństwa technicznego,
- P – model oceny bezpieczeństwa zachowań pieszych,
- K – model oceny bezpieczeństwa zachowań kierowców.

Wynikiem modelu jest wskaźnik bezpieczeństwa przejścia W_{BP} , który może przyjmować wartości od 1 do 5. Do oceny przyjęto „skalę szkolną”, która pozwala na intuicyjną interpretację wyniku, czyli wartość wskaźnika 5 oznacza najwyższy poziom bezpieczeństwa przejścia. Jako wynik pozytywny oceny przyjęto $W_{BP} \geq 3$.

Techniczne parametry przejść dla pieszych zostały ocenione w skali od 1 do 3, ze względu na znaczący wpływ aspektów technicznych na poziom bezpieczeństwa przejść dla pieszych. Wyższy priorytet infrastruktury przyjęto ze względu na to, że rozwiązania techniczne wpływają zarówno na zachowania kierowców jak i pieszych. Zachowania pieszych oraz kierowców ograniczone zostały do oceny w skali od 0 do 1 zarówno dla jednych jak i drugich, ponieważ czynniki te mają charakter zmienny i zależą od indywidualnych decyzji uczestników ruchu. Przyjęta skala umożliwia zachowanie proporcji pomiędzy trwałym wpływem infrastruktury, a zmiennym wpływem zachowań uczestników ruchu drogowego.

Opracowany kompleksowy model oceny bezpieczeństwa przejść dla pieszych stanowi praktyczne narzędzie umożliwiające ilościową ocenę wpływu warunków technicznych oraz zachowań pieszych i kierowców na bezpieczeństwo na przejściach dla pieszych. Zaproponowany model pozwala na identyfikację obszarów o obniżonym poziomie bezpieczeństwa oraz może stanowić narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji w zakresie poprawy infrastruktury drogowej i organizacji ruchu a nawet szkolenia kierowców i akcji informacyjnych dla niechronionych uczestników ruchu.

7.4 Metody oceny bezpieczeństwa na przejściach dla pieszych – walidacja modeli

W odniesieniu do opracowanych modeli oceny bezpieczeństwa przejść dla pieszych opracowano metody ich praktycznej implementacji. Metody te określają sposób postępowania podczas realizacji procesu oceny, w tym kolejność działań, wykorzystywane narzędzia oraz sposób obliczania poszczególnych wskaźników. Każda z metod odnosi się do jednego z trzech obszarów analizy: oceny bezpieczeństwa technicznego, oceny zachowań pieszych oraz oceny zachowań kierowców. W dalszej

części rozdziału każda z metod została przedstawiona w formie algorytmu postępowania. Zaproponowane metody umożliwiły również wstępną walidację zdefiniowanych modeli cząstkowych oceny bezpieczeństwa przejść dla pieszych. Dokonano jej na podstawie zastosowania ich do oceny dwóch wybranych przejść dla pieszych, które wykazywały istotne różnice w zakresie bezpieczeństwa jednak znajdowały się w zbliżonym (lub nawet tym samym) ciągu komunikacyjnym. Dodatkowo umożliwiło to ocenę spójności oraz użyteczności opracowanych procedur w warunkach rzeczywistych. Na rysunku 87 przedstawiono wybrane do porównania i walidacji przejścia dla pieszych.



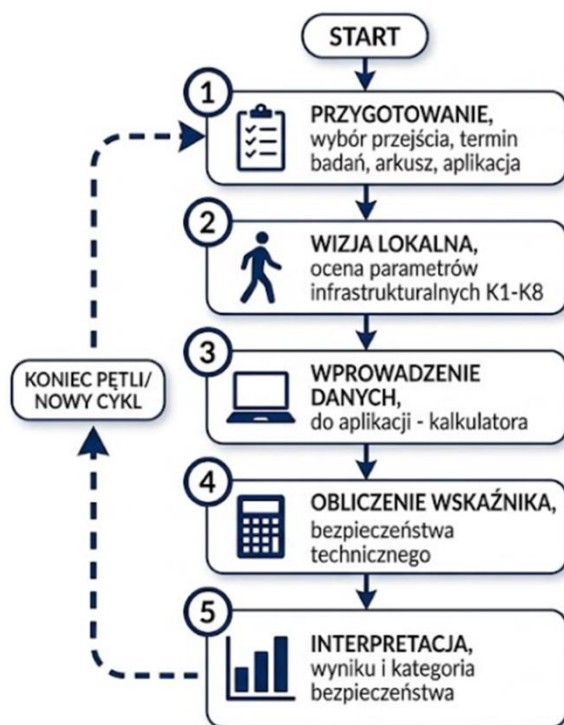
Rysunek 87. Przykładowe przejścia dla pieszych wybrane do procesu walidacji metod i modeli oceny bezpieczeństwa, przejścia nr 1 w ciągu ulicy Stefana Batorego w Chorzowie

Źródło: opracowanie własne na podstawie Google Maps.

7.4.1 Metoda oceny bezpieczeństwa technicznego

Metoda oceny bezpieczeństwa technicznego stanowi procedurę implementacji cząstkowego modelu oceny bezpieczeństwa technicznego przedstawionego w rozdziale 7.2.1. Celem jest umożliwienie oceny parametrów technicznych i lokalizacji przejścia dla pieszych na podstawie przyjętych determinant bezpieczeństwa. Na rysunku 88

przedstawiono algorytm postępowania, przedstawiającego proces realizacji poszczególnych etapów metody.



Rysunek 88. Algorytm postępowania oceny bezpieczeństwa technicznego przejścia dla pieszych

Źródło: opracowanie własne.

Algorytm metody oceny bezpieczeństwa technicznego rozpoczyna się od identyfikacji analizowanego przejścia dla pieszych oraz zebrania danych dotyczących jego parametrów technicznych zgodnie z przyjętymi determinantami bezpieczeństwa. Następnie każdemu kryterium przypisywana jest wartość punktowa w skali od 1 do 3, odzwierciedlająca poziom bezpieczeństwa (zgodnie z tabelą 46). Następnym krokiem jest wprowadzenie danych do dedykowanej aplikacji, a następnie obliczenie wskaźnika bezpieczeństwa technicznego przejścia dla pieszych.

W celu wdrożenia tej metody opracowano specjalną aplikację, która dzięki zaimplementowanemu modelowi oceny bezpieczeństwa technicznego (wzór 8 str.199) umożliwia wyznaczenie wskaźnika poziomu bezpieczeństwa technicznego przejścia dla pieszych, wyrażony w skali procentowej. Na rysunku 89 przedstawiono przykładową funkcjonalność aplikacji.

Tabela 47. Ocena bezpieczeństwa technicznego przejść dla pieszych – przejście nr 1 – ul. Stefana Batorego w Chorzowie

PRZEJŚCIE NR 1A - Z WYPADKAMI			
K1	K2	K3	K4
$0,3367*1+0,2114*2+0,1319*2+0,0962*2+$			
K5	K6	K7	K8
$0,0773*2+0,0642*1+0,0517*2+0,0303*2=$			
PRZEJŚCIE NR 1B - BEZ WYPADKÓW			
K1	K2	K3	K4
$0,3367*2+0,2114*2+0,1319*3+0,0962*2+$			
K5	K6	K7	K8
$0,0773*3+0,0642*3+0,0517*2+0,0303*2=$			

1,59

2,27

Źródło: opracowanie własne.

Przeprowadzona techniczna ocena przejść dla pieszych wykazała, że przejście nr 1B uzyskało wyższą ocenę końcową (2,27) niż przejście 1A (1,59). Oznacza to, że przejście 1B charakteryzuje się wyższym poziomem bezpieczeństwa infrastrukturalnego niż przejście 1A. Wyższa ocena końcowa wskazuje na lepsze dostosowanie parametrów technicznych przejścia do potrzeb uczestników ruchu, co może wpływać na ograniczenie liczby sytuacji niebezpiecznych.

7.4.2 Metoda oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań pieszych

Metoda oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań pieszych stanowi implementację cząstkowego modelu oceny zachowań pieszych opisanego w rozdziale 7.2.2. Jej celem jest umożliwienie oceny poziomu bezpieczeństwa zachowań niechronionych uczestników ruchu drogowego na przejściach dla pieszych na podstawie zidentyfikowanych kluczowych wzorców zachowań. Na rysunku 90 przedstawiono algorytm postępowania przedstawiający proces realizacji poszczególnych etapów metody. Rozpoczynając od wyboru przejścia, przez obserwację zachowań pieszych, uzupełnienia zebranych danych w aplikacji i obliczeniu wskaźnika oceny bezpieczeństwa zachowań pieszych.



Rysunek 90. Algorytm postępowania oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań pieszych

Źródło: opracowanie własne

Ponownie w celu wdrożenia tej metody opracowano specjalną aplikację, która dzięki zaimplementowanemu modelowi oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań pieszych (wzór nr 10 str. 199) umożliwia wyznaczenie wskaźnika poziomu bezpieczeństwa przejścia dla pieszych, wyrażony w skali procentowej. Przykładowy obraz ilustrujący działanie aplikacji przedstawiono na rysunku 91.

KALKULATOR ZARZĄDZANIA BEZPIECZEŃSTWEM RUCHU

Pora dnia (weryfikacja stanu oświetlenia): Dzień

I. PARAMETRY INFRASTRUKTURALNE (MAKS: 3 PKT)

K1. Ograniczona widoczność (0.3367): 3. Niezastawione przez pojazdy oraz inne (przebiegi, reklamy itp.) z obu stron	K2. Brak lub niepełne oświetlenie (0.2114): 3. Oświetlenie kompletne
K3. Zużyte oznakowanie poziome (0.1319): 3. Oznakowanie kompletne	K4. Zbyt długie przejście (więcej niż dwa pasy) (0.0962): 3. Przejście przez 1 pas jezdni
K5. Lokalizacja przejścia w okolicy przystanku komunikacji (0.0773): 3. Przystanek oddalony od przejścia powyżej 10 metrów	K6. Brak wygradzeń (zbyt mały sztyl) (0.0642): 3. Wygradzenie wraz z dodatkowym oznakowaniem
K7. Zły stan techniczny drogi (0.0517): 3. Jazdnia w bardzo dobrym stanie technicznym	K8. Brak ciągłości trasy pieszych przed/za przejściem (0.0303): 3. Ciągłość trasy

II. ZACHOWANIA PIESZYCH (MAKS: 1 PKT / N=200 OBS.)

K1.1 Wtargnięcie (0.3446): 0	K1.2 Poza przejściem (0.1190): 0	K1.3 Rozproszenie (0.0602): 0
K1.4 Brak obserwacji (0.1315): 0	K1.5 Nieprzewidywalność (0.3446): 0	

III. ZACHOWANIA KIEROWCÓW (MAKS: 1 PKT / N=200 OBS.)

K2.1 Nadmierna prędkość (0.2976): 0	K2.2 Brak obserwacji (0.1579): 0	K2.3 Rozproszenie (0.1579): 0
K2.4 Brak ustąpienia (0.0890): 0	K2.5 Niebezpieczne manewry (0.2976): 0	

POBIERZ PEŁNY RAPORT PDF

WSKAŹNIK BEZPIECZEŃSTWA

95%

BEZPIECZNIE

Zdobyte punkty: 1,000 / 1,000

Rysunek 91. Aplikacja wsparcia bezpieczeństwa ruchu – ocena bezpieczeństwa zachowań pieszych

Źródło: opracowanie własne.

Dokonano również walidacji metody na podstawie oceny wybranych przejść dla pieszych. W tabeli 48 przedstawiono wyniki obliczeń wskaźnika bezpieczeństwa przejścia dla pieszych w kontekście zachowań pieszych. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji wyznaczono liczbę wystąpień poszczególnych wzorców zachowań niebezpiecznych, a następnie obliczono wskaźnik częstości ich występowania. Uzyskane wartości posłużyły do obliczenia końcowej oceny bezpieczeństwa zachowań pieszych na analizowanych przejściach. Dla każdego badanego przejścia dla pieszych, przeprowadzono obserwację zachowań 200 pieszych oraz 200 kierowców, co zapewniło porównywalność wyników pomiędzy lokalizacjami.

Tabela 48. Ocena bezpieczeństwa zachowań pieszych – przejście nr 1 – ul. Stefana Batorego w Chorzowie

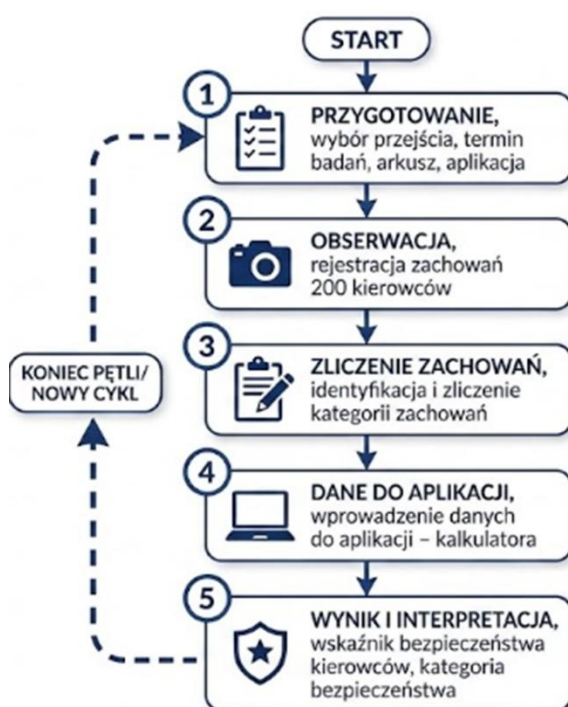
PRZEJŚCIE NR 1A - Z WYPADKAMI					
	Wtargnięcie na przejście (K1.1)	Przekraczanie jezdni poza przejściem dla pieszych (K1.2)	Rozproszenie uwagi pieszego (korzystanie z telefonu) (K1.3)	Brak obserwacji otoczenia przez pieszego (K1.4)	Nieprzewidywalne zachowania pieszego (K1.5)
Liczba wystąpień zachowania	14	12	24	37	6
Wskaźnik częstości występowania zachowań	0,070	0,060	0,120	0,185	0,030
Waga kryterium	0,3446	0,1190	0,0602	0,1315	0,3446
$1-(0,3446*0,07+0,119*0,06+0,0602*0,12+0,1315*0,185+0,3446*0,03)=0,93$					
PRZEJŚCIE NR 1B - BEZ WYPADKÓW					
Liczba wystąpień zachowania	4	12	21	32	2
Wskaźnik częstości występowania zachowań	0,02	0,06	0,105	0,16	0,01
$1-(0,3446*0,02+0,119*0,06+0,0602*0,105+0,1315*0,16+0,3446*0,01)=0,96$					

Źródło: opracowanie własne.

Analiza zachowań pieszych wykazała, że poziom bezpieczeństwa na przejściu nr 1B (bez wypadków) był wyższy niż w przypadku przejścia nr 1A (z wypadkami). Wartość wskaźnika oceny zachowań pieszych wyniosła odpowiednio 0,96 dla przejścia bez wypadków, oraz 0,93 dla przejścia, na którym odnotowano wypadki. Na przejściu nr 1A zaobserwowano większą liczbę zachowań niebezpiecznych niż na przejściu nr 1B. Dotyczyło to przede wszystkim wtargnięcia na przejście, którego liczba wyniosła 14 przypadków wobec 4 na przejściu bezwypadkowym. Większą częstość wystąpień zauważono również w przypadku rozproszenia uwagi pieszego podczas korzystania z telefonu komórkowego (24 przypadki wobec 21), braku obserwacji otoczenia przed wejściem na jezdnię (37 przypadków wobec 32). Pomimo niewielkiego zróżnicowania wartości końcowych wskaźników, uzyskane wyniki wskazują, że przejście nr 1B charakteryzuje się mniejszym udziałem zachowań niebezpiecznych wśród pieszych.

7.4.3 Metoda oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań kierowców

Metoda oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań kierowców stanowi implementację cząstkowego modelu oceny zachowań kierowców opisanego w rozdziale 7.2.3. jej celem jest umożliwienie oceny poziomu bezpieczeństwa zachowań kierowców w rejonie przejść dla pieszych na podstawie zidentyfikowanych kluczowych wzorców zachowań kierowców. Na rysunku 92 przedstawiony został algorytm postępowania. Proces rozpoczyna się od wyboru przejścia dla pieszych, następnie obejmuje obserwację kierowców w jego bezpośrednim otoczeniu, wprowadzenie zebranych danych do aplikacji oraz wyznaczenie wskaźnika oceny bezpieczeństwa zachowań kierowców.



Rysunek 92. Algorytm postępowania oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań kierowców

Źródło: opracowanie własne

Konsekwentnie w celu wdrożenia tej metody opracowano specjalną aplikację, która dzięki zaimplementowanemu modelowi oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań kierowców (wzór nr 11 str. 203) umożliwia wyznaczenie wskaźnika poziomu bezpieczeństwa przejścia dla pieszych, wyrażony w skali procentowej. Przykładowy obraz ilustrujący działanie aplikacji przedstawiono na rysunku 93.

KALKULATOR ZARZĄDZANIA BEZPIECZEŃSTWEM RUCHU

Pora dnia (weryfikacja stanu oświetlenia):

Dziś

I. PARAMETRY INFRASTRUKTURALNE (MAKS: 3 PKT)

K1. Ograniczona widoczność (0.3367):

3. Niezastawione przez pojazdy oraz inne (roslinność, reklamy itd.) z obu stron

K2. Brak lub niepełne oświetlenie (0.2114):

3. Oświetlenie kompletne

K3. Zły stan oznakowania poziomego (0.1319):

3. Oznakowanie kompletne

K4. Zbyt długie przejście (wliczając dwa pasy) (0.0962):

3. Przejście przez 1 pas jezdni

K5. Lokalizacja przejścia w odległości przystanku komunikacji (0.0773):

3. Przystanek oddalony od przejścia powyżej 10 metrów

K6. Brak wygrodzeń (zbyt mały asy) (0.0642):

3. Wygrodzenie wraz z dodatkowym oznakowaniem

K7. Zły stan techniczny drogi (0.0517):

3. Jeźdźnia w bardzo dobrym stanie technicznym

K8. Brak ciągłości trasy pieszkiej przed/za przejściem (0.0303):

3. Ciągłość trasy

II. ZACHOWANIA PIESZYCH (MAKS: 1 PKT / N=200 OBS.)

K1.1 Wtargnięcie (0.3446):

0

K1.2 Posa przejściem (0.1190):

0

K1.3 Rozproszenie (0.0602):

0

K1.4 Brak obserwacji (0.1315):

0

K1.5 Nieprzewidywalność (0.3446):

0

III. ZACHOWANIA KIEROWCÓW (MAKS: 1 PKT / N=200 OBS.)

K2.1 Nadmierna prędkość (0.2976):

0

K2.2 Brak obserwacji (0.1579):

0

K2.3 Rozproszenie (0.1579):

0

K2.4 Brak ustąpienia (0.0890):

0

K2.5 Niebezpieczne manewry (0.2976):

0

POBIERZ PEŁNY RAPORT PDF

WSKAŹNIK BEZPIECZEŃSTWA

95%

BEZPIECZNIE

Zdobyte punkty: 1,000 / 1,000

Rysunek 93. Aplikacja wsparcia bezpieczeństwa ruchu – ocena bezpieczeństwa zachowań kierowców
Źródło: opracowanie własne.

Analogicznie jak w przypadku metody oceny zachowań pieszych dokonano walidacji metody na podstawie oceny wybranych przejść dla pieszych. W tabeli 49 przedstawiono wyniki obliczeń wskaźnika bezpieczeństwa przejścia dla pieszych w kontekście zachowań kierowców. Na podstawie liczby wystąpień wzorców zachowań niebezpiecznych wyznaczono wskaźnik ich częstości oraz końcową ocenę bezpieczeństwa.

Tabela 49. Ocena bezpieczeństwa zachowań kierowców – przejście nr 1 – ul. Stefana Batorego w Chorzowie

PRZEJŚCIE NR 1A - Z WYPADKAMI					
	Nadmierna prędkość przed przejściem dla pieszych (K2.1)	Ograniczona obserwacja otoczenia przez kierowcę (K2.2)	Rozproszenie uwagi kierowcy (korzystanie z telefonu) (K2.3)	Brak ustąpienia pierwszeństwa pieszemu (K2.4)	Niebezpieczne manewry (K2.5)
Liczba wystąpień zachowań	76	37	5	7	5
Wskaźnik częstości występowania zachowań	0,38	0,185	0,025	0,035	0,025
Waga kryterium	0,2976	0,1579	0,1579	0,0890	0,2976
$1-(0,2976*0,38+0,1579*0,185+0,1579*0,025+0,089*0,035+0,2976*0,025)=0,84$					
PRZEJŚCIE NR 1B - BEZ WYPADKÓW					
Liczba wystąpień zachowań	56	34	7	3	2
Wskaźnik częstości występowania zachowań	0,28	0,17	0,035	0,015	0,01
$1-(0,2976*0,28+0,1579*0,17+0,1579*0,035+0,089*0,015+0,2976*0,01)=0,88$					

Źródło: opracowanie własne.

Analiza zachowań kierowców wykazała, że wyższą ocenę bezpieczeństwa uzyskało przejście nr 1B, dla którego wartość wskaźnika wyniosła 0,88, natomiast dla 1A 0,84. Wynik ten oznacza, że zaobserwowano bardziej prawidłowe zachowania kierowców w lokalizacji, w której nie odnotowano wypadków drogowych. Najczęściej występującym zachowaniem była nadmierna prędkość przed przejściem dla pieszych. Na przejściu 1A odnotowano 76 takich sytuacji, co odpowiada wskaźnikowi częstości wynoszącemu 0,38. W przypadku przejścia nr 1B liczba ta była niższa i wyniosła 56 przypadków (wskaźnik 0,28). Przejście nr 1B charakteryzowało się wyższym poziomem bezpieczeństwa w kontekście zachowań kierowców. W szczególności niższa częstość występowania nadmiernej prędkości oraz przypadków nieustąpienia pierwszeństwa pieszym wpłynęła na uzyskanie wyższej oceny końcowej.

Na podstawie wyników wskaźników bezpieczeństwa obszarowego, wyznaczonych metodami implementacji modeli cząstkowych oceny bezpieczeństwa technicznego, zachowań pieszych i kierowców, wyznaczono całkowitą miarę bezpieczeństwa przejść dla pieszych, jako wskaźnik bezpieczeństwa przejścia W_{BP} .

Tabela 50. Zbiorcze zestawienie obliczeń wskaźników bezpieczeństwa przejść dla pieszych

PRZEJŚCIE NR 1A
$1,59 + 0,93 + 0,84 = \mathbf{3,36}$
PRZEJŚCIE NR 1B
$2,27 + 0,96 + 0,88 = \mathbf{4,11}$

Źródło: opracowanie własne.

W tabeli 50 przedstawiono obliczenia wskaźnika bezpieczeństwa przejścia W_{BP} jako wyniku implementacji kompleksowego modelu bezpieczeństwa dla wybranych przejść dla pieszych. Przeprowadzona analiza wykazała zróżnicowane wartości wskaźnika bezpieczeństwa pomiędzy poszczególnymi przejściami dla pieszych, co pozwala na pozytywną ocenę wstępnej walidacji opracowanych modeli i metod.

Na podstawie analizy pełnych wyników badań walidacyjnych należy stwierdzić, że najwyższe wartości wskaźnika bezpieczeństwa przejścia W_{BP} uzyskało przejście nr 1B, dla którego końcowy wskaźnik wyniósł 4,11 punktów. Oznacza to, że przejście to cechuje się korzystnymi rozwiązaniami infrastrukturalnymi oraz mniejszą liczbą

zachowań niebezpiecznych zarówno wśród pieszych oraz kierowców. Niższe wartości wskaźnika W_{BP} nr 1A (3,36), co świadczy o niższym poziomie bezpieczeństwa w tej lokalizacji. Za pomocą opracowanego wskaźnika bezpieczeństwa, możliwe jest porównywanie przejść dla pieszych zlokalizowanych w różnych miejscach, a w konsekwencji identyfikację miejsc wymagających wsparcia bezpieczeństwa na przejściach dla pieszych.

Rozdział 8 Opracowanie prototypu adaptacyjnego systemu wsparcia bezpieczeństwa ruchu na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej

8.1 Prototyp adaptacyjnego systemu wsparcia bezpieczeństwa ruchu na przejściach dla pieszych

Przeprowadzone badania dotyczące zachowań kierowców i niechronionych uczestników ruchu drogowego w odniesieniu do bezpieczeństwa na przejściach dla pieszych w aspektach dotyczących ich specyficznych zachowań, oraz analiza i ocena bezpieczeństwa przejść dla pieszych w odniesieniu do liczby wypadków, a także identyfikacji determinant bezpieczeństwa na danych przejściach dla pieszych, umożliwiły pozyskanie obszernej i nowej wiedzy w tej dziedzinie.

Przeprowadzone analizy wskazują, że często dochodzi do problemów związanych z komunikacją pomiędzy kierowcami, a niechronionymi uczestnikami ruchu drogowego. Bardzo często intencje obu stron nie do końca są znane, dodatkowo po zmianie przepisów dotyczących priorytetu pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej dochodzi do większej liczby sytuacji, w których piesi podejmują ryzyko wejścia bezpośrednio przed pojazd, co jest bardzo widoczne w statystykach. Przykładowo w roku 2022, w porównaniu z rokiem 2023 doszło aż do 85 więcej wypadków, w których piesi zostali poszkodowani w sposób ciężki. Przekładało się to na ponad siedmiodniowy pobyt w szpitalu oraz wiązało z ogromnym obciążeniem nie tylko dla samego poszkodowanego i tragedii z tym związanej, ale również dla skarbu państwa.

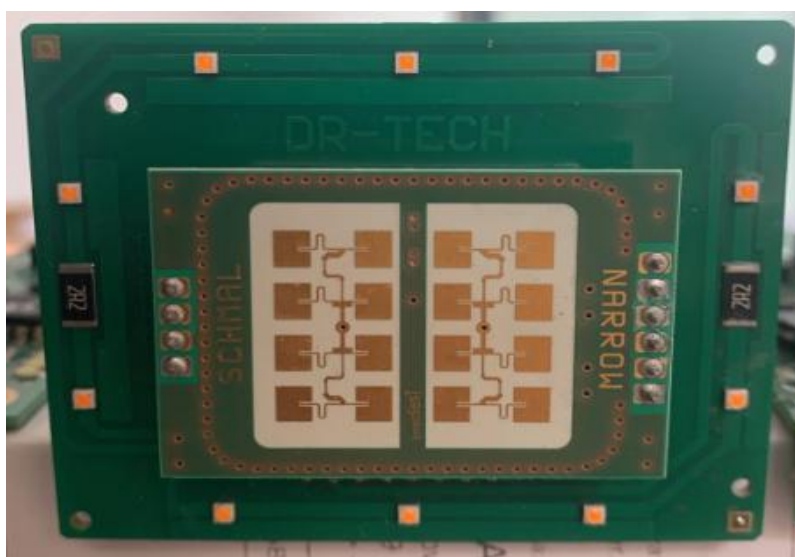
Nagminne zachowania związane z wymuszaniem pierwszeństwa przez pieszych uczestników ruchu drogowego wiążą się bezpośrednio z brakiem świadomości dotyczącej konsekwencji związanych z najechaniem przez pojazd na niechronionego uczestnika ruchu drogowego przy danej prędkości, dotyczy to również w tym samym stopniu kierowców, przekraczających dozwoloną prędkość. Następnie zachowania takie jak zatrzymanie się lub cofanie pieszego na przejściu dla pieszych, czy rozmowa z innym uczestnikiem ruchu drogowego. Dodatkowym zagrożeniem jest oczywiście brak widzialności poszczególnych osób oczekujących na przejściach dla pieszych, tak jak wspomniano nie ma przymusu prawnego dotyczącego używania elementów odblaskowych w odniesieniu do terenu zabudowanego, jednak jak wskazują badania zwiększa to w sposób diametralny szansę na to, że nadjeżdżający kierowca zorientuje się o obecności pieszego na przejściu dla pieszych.

Wszystkie opisane wyżej sytuacje i przykłady wskazywały na krytyczną konieczność implementowania skutecznych, co bardzo ważne funkcjonujących w sposób prawidłowy rozwiązań mogących zwiększać bezpieczeństwo uczestników ruchu drogowego. Jest to o tyle istotne, że w procesie badawczym podczas wykonywania poszczególnych badań na przejściach zwanych potocznie „smart”, rozwiązaniach inteligentnych bardzo często dochodziło do różnych nieakceptowalnych sytuacji. Zostało to także w wielu przypadkach zarejestrowane podczas badań w materiałach wideo. Bardzo często zdarzało się, że przedmiotowe systemy, nie uruchamiały się w sposób prawidłowy, mogły być w wielu przypadkach uruchamiane przez przejeżdżające pojazdy, nawet gdy w pobliżu nie było pieszych czy innych niechronionych uczestników ruchu drogowego. Jest to niedopuszczalne ze względu na to, że może dochodzić do przyzwyczajenia ze strony kierowców, którzy mając świadomość takich wskazań w momencie pojawienia się pieszego mogą nie zareagować w sposób prawidłowy, ponieważ wcześniejsze wskazania okazywały się błędne.

Dodatkowo odnotowywano sytuacje, w których piesi oczekiwali na przejście, a systemy nie inicjowały pracy, lub uruchamiały się dopiero, gdy pieszy znajdował się w połowie przejścia. Jest to bardzo niebezpieczne, ze względu na to iż może dochodzić do sytuacji, w której pieszy z przyzwyczajenia wtargnie na przejście dla pieszych z założeniem że system zainicjuje pracę w sposób automatyczny i prawidłowy jednak taka sytuacja nie ma miejsca. Stąd też na podstawie przeprowadzonych szerokich badań zarówno związanych z analizami materiałów, statystyk, a przede wszystkim badań zachowań kierowców oraz niechronionych uczestników ruchu drogowego, funkcjonalności poszczególnych możliwych do wykorzystania urządzeń stworzono prototyp systemu wspierającego bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego.

Proponowane rozwiązanie zakłada wykorzystanie funkcjonalności specyficznego oprogramowania zapewniającego możliwość zarządzania poszczególnymi modułami systemu, jak również wykorzystania specyfikowanych rozwiązań hardwareowych, przykładem tego są wykorzystane płytki radarowe sygnowane nazwą firmy DR-TECH Sp. z o.o. Opracowanie specyficznego oprogramowania było kluczowe dla realizacji doktoratu wdrożeniowego ze względu na specyfikę wdrożenia. System opiera się o wykorzystanie dedykowanych elementów ostrzegawczych zarówno dla kierowców jak i pieszych, tj. radarów, czujników radarowo-pirowych, lamp świetlnych, ekranów VMS koniecznym był projekt dedykowanego

urządzenia PC wraz z oprogramowaniem dającym możliwość zarządzania systemem w sposób zgodny z jego przeznaczeniem.

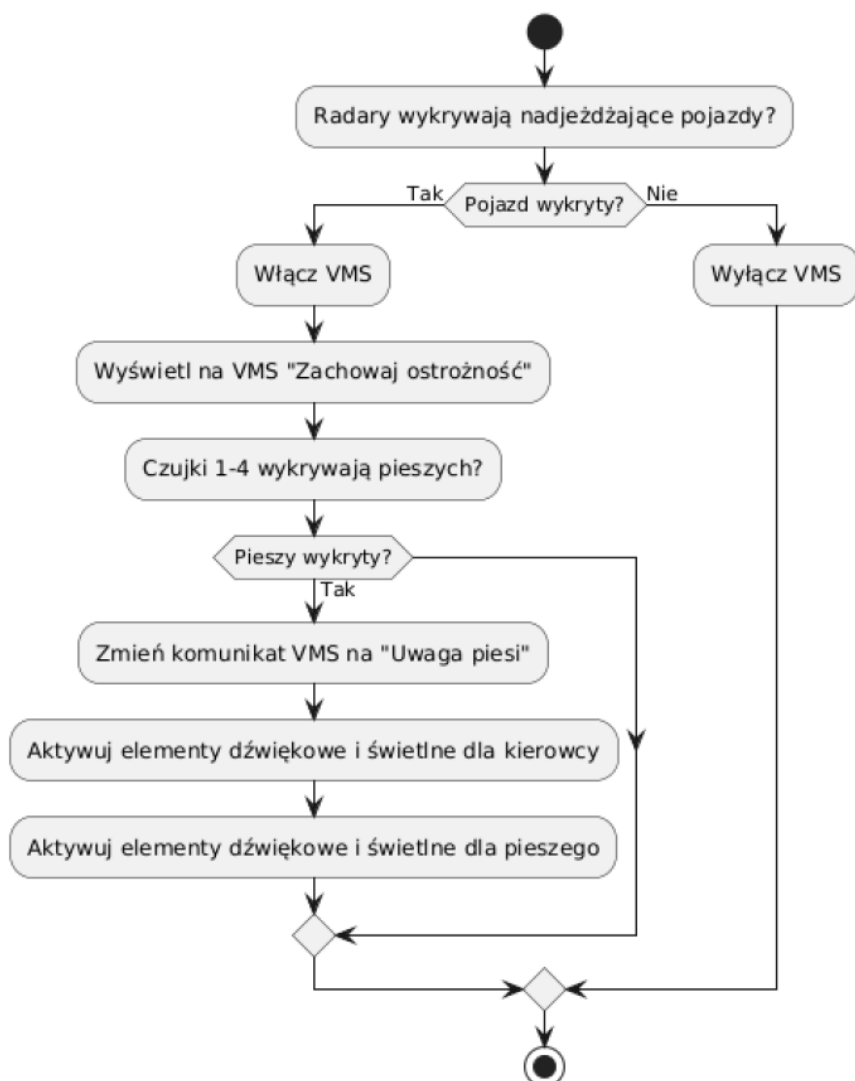


Rysunek 94. Płytki radaru dla systemu zwiększającego bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego

Źródło: opracowanie własne.

Projektowany system ma zapewniać możliwość detekcji pieszych oraz kierowców zapewniając tym samym możliwość komunikacji dwukierunkowej pieszy-kierowca, kierowca-pieszy, sama detekcja odbywa się w sposób niezależny, co jest istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa w ruchu drogowym, w szczególności na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej.

W przypadku przejść dla pieszych z sygnalizacją świetlną, uważanych za te, które zapewniają największe bezpieczeństwo dla uczestników ruchu drogowego w sytuacji wtargnięcia przez pieszego na czerwonym świetle, szczególnie w porze ograniczonej widoczności, kierowca ma niewielkie szanse by zorientować się że niechroniony uczestnik ruchu drogowego znajduje się na jezdni, w takiej sytuacji ryzyko potrażeń jest bardzo wysokie, a konsekwencją może być śmierć pieszego [44]. W przypadku proponowanego rozwiązania realizacja detekcji odbywać się będzie w sposób niezależny i automatyczny. Jeśli pieszy zostanie wykryty, a do przejścia zbliżać się będzie pojazd, tylko w takiej sytuacji przekazana zostanie informacja do obu stron o wzajemnej obecności, co spełni warunek komunikacji dwukierunkowej pośredniej, za pośrednictwem informacji wizualnej.

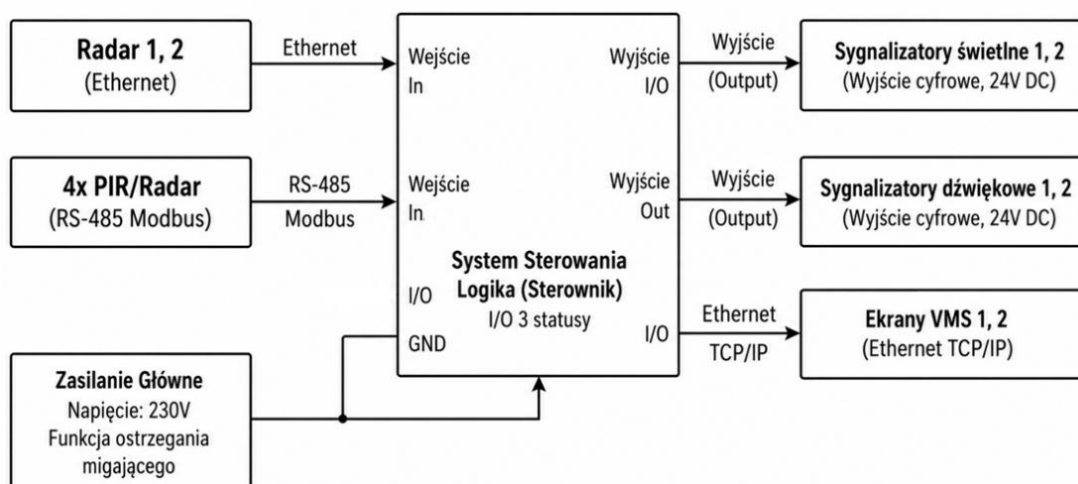


Rysunek 95. Algorytm działania systemu
Źródło: opracowanie własne.

Problem związany z brakiem komunikacji pieszy-kierowca, kierowca-pieszy został rozwiązany za pośrednictwem zastosowania elementów informujących o wzajemnej obecności zarówno pieszych jak i kierowców.

W sytuacji braku detekcji system pozostaje w trybie tak zwanego „czuwania” co zapewnia minimalny czas na reakcję systemu w sytuacji zagrożenia. System do nadzoru przejścia dla pieszych wykorzystuje w podstawowej wersji 4 czujniki obecności, czujniki radarowo-pirowe, w wersji rozbudowanej może być wyposażony w 6 czujników nadzorujących również strefę nie tylko przed przejściem dla pieszych, ale również na samym przejściu co pozwoli na reakcję w sytuacji gdy pieszy postanowi zawrócić na przejściu, system podzielony jest na dwa moduły znajdujące się po dwóch stronach przejścia dla pieszych połączone ze sobą i zarządzane poprzez jednostkę sterującą

z odpowiednim przeznaczonym do tego oprogramowaniem. Kolejne moduły systemu to radary dalekiego zasięgu wykrywające obecność pojazdów zbliżających się do przejścia dla pieszych. System wyposażony jest również w moduły świetlne informacyjne oraz dźwiękowe (maksymalny dopuszczalny poziom hałasu docierający do otoczenia, dla terenów mieszkaniowych wynosi 61 dB w porze dziennej oraz 56 dB w nocy), za pośrednictwem, których dochodzi do przekazania informacji o wzajemnej obecności (kierowcy i pieszego) w okolicy przejścia dla pieszych. Jest to kluczowe, ponieważ szeroko dostępne systemu „smart” zapewniają tylko i wyłącznie komunikację jednokierunkową, najczęściej informując kierowcę o niechronionym uczestniku ruchu drogowego zbliżającym się do przejścia dla pieszych. Komunikaty w zależności od specyfikacji mogą być dowolnie modyfikowane w zależności od potrzeb użytkownika.

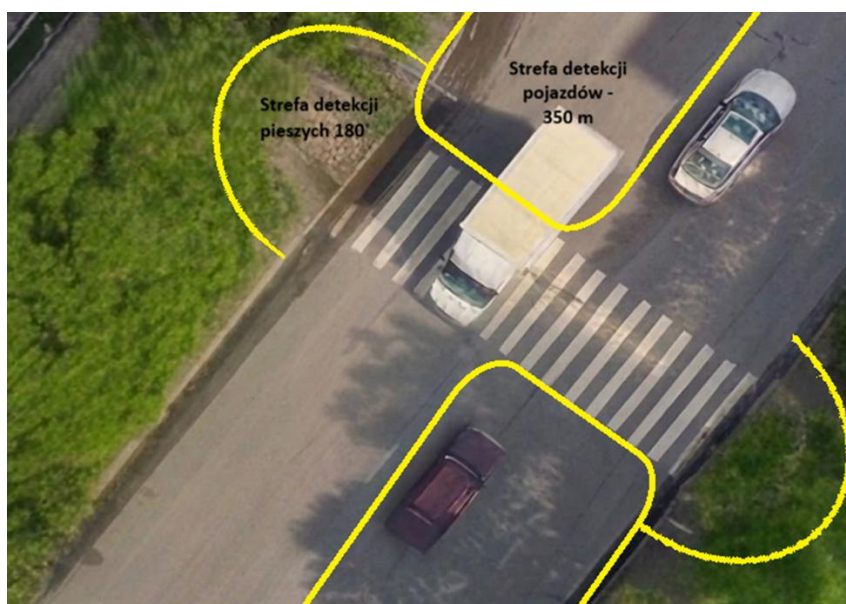


Rysunek 96. Schemat struktury systemu zwiększającego bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego

Źródło: opracowanie własne.

Kolejnym oryginalnym założeniem jest to, że system inicjuje swoją pracę tylko i wyłącznie w przypadku wystąpienia koniunkcji sygnałów, to jest tylko w przypadku gdy system wykrywać będzie zarówno kierowcę zbliżającego się do przejścia dla pieszych, jak również pieszego, co pozwoli na wyeliminowanie sygnałów błędnie przekazywanych przez szeroko dostępne systemy zwiększające bezpieczeństwo. Dodatkowo system wyposażony jest w komunikat „zachowaj ostrożność” oraz w przypadku awarii, komunikat „awaria”. Komunikat „zachowaj ostrożność” będzie wyświetlany w każdej sytuacji braku wykrycia koniunkcji detekcji pieszy-kierowca, zaś komunikat „awaria” będzie wyświetlany tylko w sytuacji kiedy dowolny element systemu będzie niesprawny. W funkcjonalnym prototypie dobrano urządzenia detekcyjne, które mają istotnie większy zakres detekcji w stosunku do wyznaczonej strefy bezpośredniego

otoczenia przejścia dla pieszych, który każdorazowo może być regulowany według specyficznych wymagań danej lokalizacji. Na rysunku 97 przedstawiono obszary detekcji kierowców oraz niechronionych uczestników ruchu drogowego.

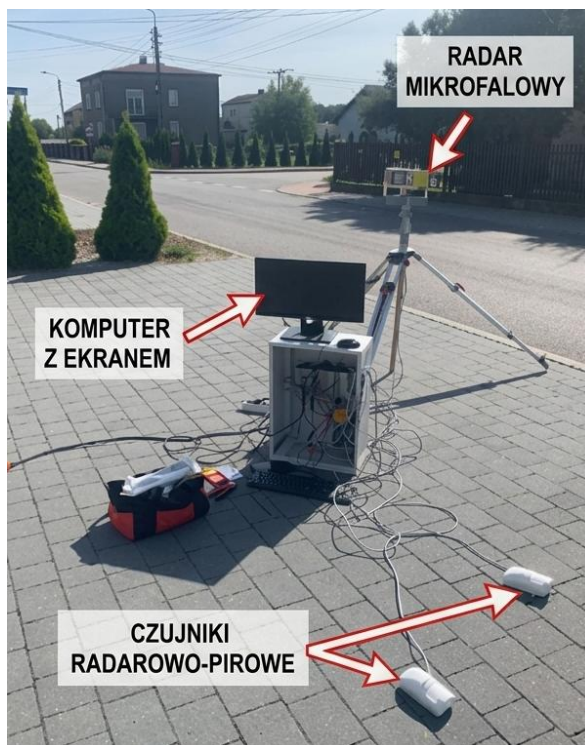


Rysunek 97. Obszar detekcji niechronionych uczestników ruchu drogowego oraz kierowców

Źródło: opracowanie własne.

Następnym rozwiązaniem niedostępnym dla aktualnie oferowanych rozwiązań jest możliwość parametryzacji częstotliwości wyświetlanych sygnałów ostrzegawczych w zależności od prędkości zbliżającego pojazdu, możliwość tworzenia progów prędkości. System może być zaprogramowany w taki sposób by w przypadku gdy pojazd zbliża się do przejścia dla pieszych z prędkością dozwoloną przez prawo informacja o obecności pieszego przekazywana była na wyświetlacz zmiennej treści z częstotliwością 1Hz, w przypadku przekroczenia prędkości do 10 km/h zmiana na 2Hz, powyżej 3Hz. W przypadku gdy kierowca jedzie z prędkością powyżej zadanego limitu i system okaże się skuteczny niwelując prędkość kierowcy, system w sposób automatyczny zmniejszy częstotliwość nadawania sygnału informującego o obecności niechronionego uczestnika ruchu drogowego. Jeśli kierowca znów przyspieszy, częstotliwość nadawania sygnału ponownie wzrośnie. Podejście tego typu ma na celu intuicyjny wpływ na zachowania kierowców zbliżających się do przejścia dla pieszych oraz redukcję prędkości. Zależności te badane były również w przypadku badań symulatorowych, gdzie stosowanie znaków zmiennej treści miało ogromny wpływ na zachowania kierowców oraz zmniejszanie prędkości w sposób prewencyjny, przed pojawieniem się pieszego, w porównaniu z klasycznymi znakami D-6. Badania symulatorowe oraz możliwość wykonania modułu sterującego przejściem dla pieszych były kluczowe dla możliwości pozyskania

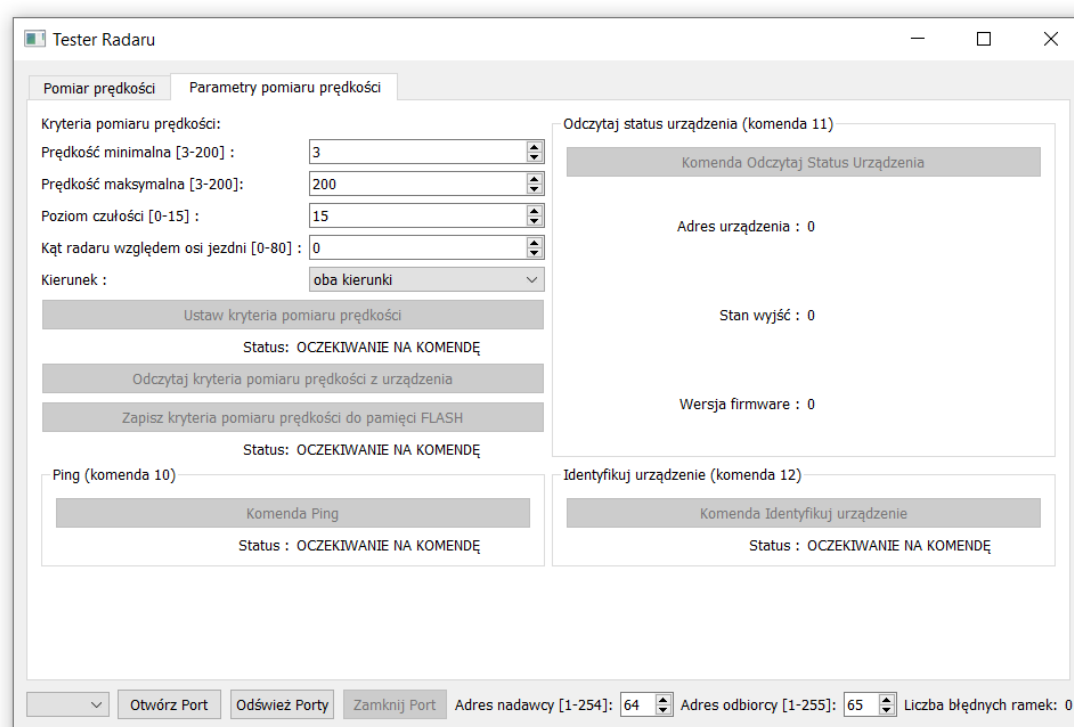
realistycznych danych w warunkach symulowanych zbliżonych do rzeczywistych, jak również tych w normalnym ruchu drogowym. Badania te są fundamentem, o który opiera się zasadność rekomendacji stosowania rozwiązań zwiększających bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego, ze względu na realną potrzebę wynikającą z głębszego zrozumienia zachowań zarówno kierowców jak i niechronionych uczestników ruchu drogowego.



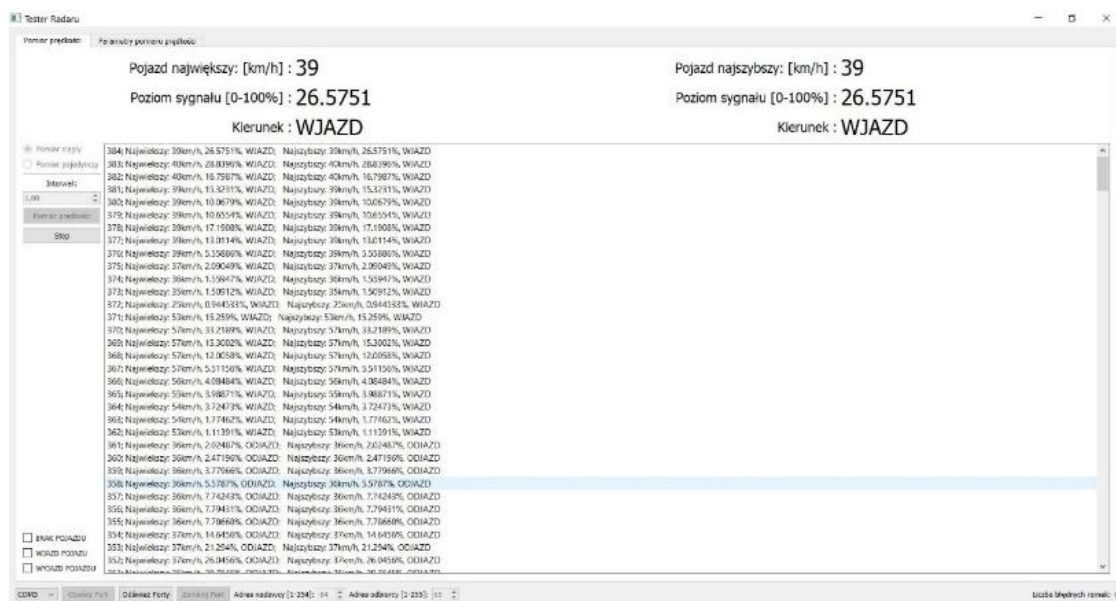
Rysunek 98. Testy funkcjonalne adaptacyjnego systemu zwiększającego bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego

Źródło: opracowanie własne.

Na potrzeby projektu powstał dla środowiska MS Windows program „Tester radaru” który przez port RS485 umożliwia konfigurację detektora MFDR-8. Program posiada możliwość eksportu zarejestrowanych danych do arkusza kalkulacyjnego, tak aby była możliwa analiza post-processingowa.



Rysunek 99. Widok trybu konfiguracji programu do pomiaru prędkości pojazdów przy użyciu detektora mikrofalowego
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 100. Widok trybu „Pomiar prędkości” programu obsługi detektora mikrofalowego - przyjazd pojazdu, prędkość 39 km/h
Źródło: opracowanie własne.

Celem testów środowiskowych było sprawdzenie, czy na drodze analiz dokumentacji technicznej oraz dostępnych materiałów, prawidłowo dobrano urządzenia

do detekcji poruszających się pojazdów mechanicznych, jak również niechronionych uczestników ruchu drogowego.

Testy symulacyjne środowiskowe odpowiednio skonfigurowanych urządzeń pod kątem sprzętowym i oprogramowania przeprowadzono w miejscowości Imielin. Jako miejsce symulacji przejścia dla pieszych, czyli docelowego miejsca użytkowania systemu wybrano podjazd do nieruchomości przy ul. Drzymały. Miejsce to zapewniało typowe warunki pracy testowanych radarów mikrofalowych. Ponadto w sposób bezpieczny umożliwiało przeprowadzenie testów konfiguracji sprzętowej.

Pomiary zrealizowano wyłącznie dla nadjeżdżających pojazdów zgodnie z kierunkiem przedstawionym na powyższym rysunku. Miejsce usytuowania punktu testowego zaznaczono niebieskim prostokątem.



Rysunek 101. Prototyp systemu zwiększającego bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego – testy systemu w warunkach rzeczywistych

Źródło: opracowanie własne.

Analogicznie testy prowadzono dla kolejnych iteracji systemów. Na rysunku 101 przedstawiono kontynuację prac związanych z badaniami środowiskowymi dla bardziej zaawansowanego systemu montażowego, będącego docelowym umiejscowieniem w kontekście przeznaczenia adaptacyjnego systemu zwiększającego bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego.

8.2 Walidacja systemu

Walidację systemu wykonano w warunkach rzeczywistych przewidzianych dla zastosowania docelowego w normalnym ruchu drogowym, proces walidacji miał miejsce w miejscowości Chełm Śląski na ulicy Henryka Wieniawskiego. Na rys. 102 przedstawiono trasę przejazdu. Punktem początkowym była zajezdnia autobusowa,

następnie kierowcy jadąc ulicą Techników wjeżdżali na ulicę Henryka Wieniawskiego, gdzie zainstalowany był system zwiększający bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego.



Rysunek 102. Miejsce realizacji testów walidacyjnych systemu

Źródło: opracowanie własne na podstawie Google maps.

Wykonano 16 prób przejazdów przez wskazaną trasę. Grupa biorąca udział w badaniach walidacyjnych składała się z 7 mężczyzn oraz 1 kobiety w przedziale wiekowym 25-51 lat.

Na rysunku 101 przedstawiono dokumentację zdjęciową miejsca prowadzenia badań. Testy prowadzone były w porze dziennej przy temperaturze 11 stopni Celsjusza.



Rysunek 103. Miejsce prowadzenia prób walidacyjnych

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 104 przedstawiono zestawienie urządzeń, które zawiera testowany system zwiększający bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego, wraz z oznaczeniem wysokości, na której wyświetlany był komunikat na znaku VMS. Dolna część wyświetlanego napisu znajdowała się na wysokości 2,29 m.



Rysunek 104. Zestawienie urządzeń systemu wsparcia bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego

Źródło: opracowanie własne.

W tabeli nr 51 przedstawiono wyniki wszystkich wykonanych prób, z podziałem na próby w których zaimplementowany był znak VMS z komunikatem testowym. Dodatkowo w tabeli przedstawiono informacje na temat czasu z analizowanych nagrań,

w którym wzrok osób badanych fiksował się po raz pierwszy na znaku klasycznym D-6, bądź znaku VMS. Następnie informacje na temat prędkości pojazdu dla pierwszej fiksacji oraz prędkość zarejestrowana na przejściu dla pieszych. Określenie prędkości było możliwe dzięki zastosowaniu radaru mikrofalowego rejestrującego prędkość nadjeżdżających pojazdów.

W procesie walidacji systemu zastosowano metody badań wykorzystane w procesie badawczym, takie jak obserwacje, badania eyetrackingowe oraz pomiary prędkości i reakcji.

Tabela 51. Analiza wyników badań walidacyjnych

Lp.	Uczestnik	Sekunda nagrania, w której pierwsza fiksacja na znaku (VMS, D-6)	Prędkość przy pierwszej fiksacji na znaku (VMS, D-6) (km/h)	Prędkość pojazdu na przejściu dla pieszych (km/h)
1	D - system aktywowany	27	49	48
2	D - system bierny	23	46	62
3	Ł - system aktywowany	28	55	45
4	Ł - system bierny	25	49	56
5	B - system aktywowany	42	38	40
6	B - system bierny	27	44	53
7	J - system aktywowany	38	41	43
8	J - system bierny	31	43	53
9	K - system aktywowany	38	46	38
10	K - system bierny	25	35	62
11	A - system aktywowany	29	40	38
12	A - system bierny	30	45	51
13	M - system aktywowany	19	41	46
14	M - system bierny	12	46	74
15	Dm - system aktywowany	26	43	41
16	Dm - system bierny	43	35	51

Źródło: opracowanie własne.

Analizując pozyskane dane pod kątem prewencyjnego zmniejszenia prędkości pojazdów dla próby, w której system był aktywny, w porównaniu do próby w której system był bierny są następujące. Średnia prędkość dla uczestników badania wykonujących próby w scenariuszu dla którego pulsujący znak VMS był uruchomiony była niższa w stosunku do znaku klasycznego D-6. Średnia prędkość przy fiksacji dla

próby, w której system był aktywowany to 44,1 km/h, na przejściu dla pieszych prędkość wynosi 42,4 km/h. Oznacza to, średni spadek prędkości o 1,7 km/h, co daje ogólną redukcję prędkości o 4%. Większość kierowców zmniejszyła prędkość lub utrzymała ją na podobnym poziomie. Wyniki dla próby, w której system był bierny dla średniej prędkości przy pierwszej fiksacji to 42,9 km/h, a dla średniej prędkości na przejściu dla pieszych wynosiła 57,8 km/h. Oznacza to wzrost prędkości o 14,9 km/h, co wskazuje na wzrost prędkości o 35%.

W tabeli 52 przedstawiono zachowania poszczególnych kierowców z opisem różnicy oraz zmiany procentowej w odniesieniu do redukcji bądź zwiększenia prędkości pojazdu, w odniesieniu do próby, w której system był aktywowany. Dla przedstawionych danych 5 na 8 kierowców zredukowało prędkość, a pozostali kierowcy którzy zwiększyli prędkość zmiana ta była niewielka. Potwierdza to fakt, że znak VMS wspomaga zachowanie ostrożności.

Tabela 52. Wyniki badań walidacyjnych - system aktywowany

Uczestnik	Prędkość przy pierwszej fiksacji (km/h)	Prędkość na przejściu dla pieszych (km/h)	Różnica (km/h)	Zmiana procentowa	Skutek
Ł	55	45	-10	-18.2%	Zwolnił
K	46	38	-8	-17.4%	Zwolnił
A	40	38	-2	-5.0%	Zwolniła
Dm	43	41	-2	-4.7%	Zwolnił
D	49	48	-1	-2.0%	Zwolnił
J	41	43	2	+4.9%	Przyspieszył
B	38	40	2	+5.3%	Przyspieszył
M	41	46	5	+12.2%	Przyspieszył

Źródło: opracowanie własne.

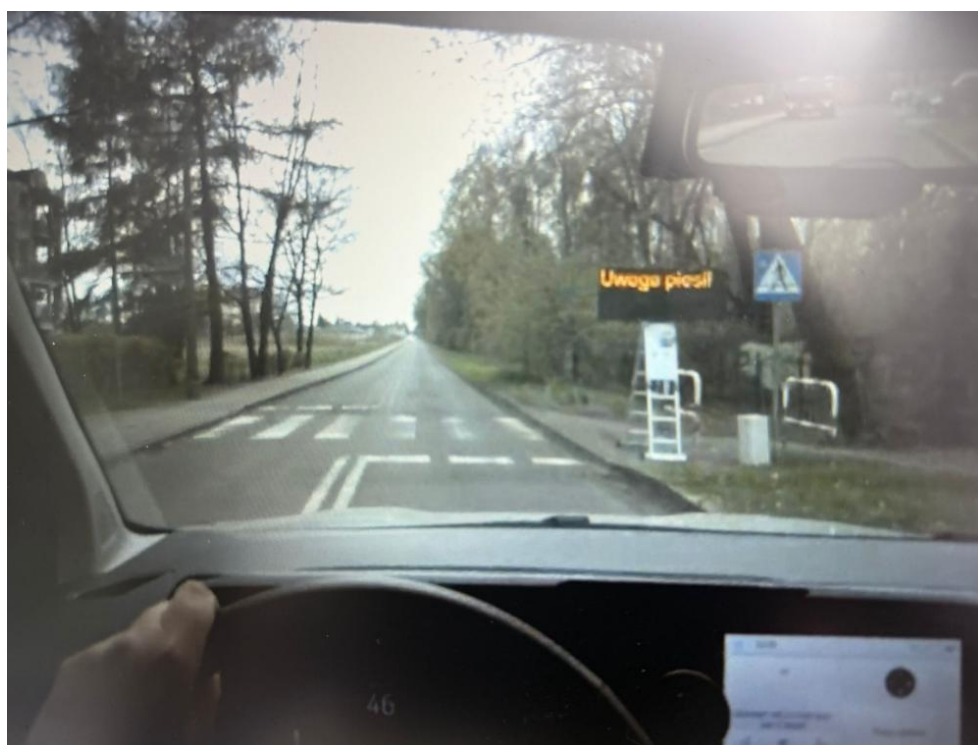
W tabeli nr 43 przedstawiono wyniki dla próby, w której system był bierny. Wskazuje na zupełnie przeciwstawne wnioski, w porównaniu do tabeli 42 zawierającej dane dla próby, w której system był aktywowany. Wszyscy badani kierowcy przyspieszali zbliżając się do przejścia dla pieszych, w niektórych skrajnych przypadkach prędkość wzrastała o 60-70%.

Tabela 53. Wyniki badań walidacyjnych - system bierny

Uczestnik	Prędkość przy pierwszej fiksacji (km/h)	Prędkość na przejściu dla pieszych (km/h)	Różnica (km/h)	Zmiana procentowa	Skutek
A	45	51	6	+13.3%	Przyspieszyła
Ł	49	56	7	+14.3%	Przyspieszył
B	44	53	9	+20.5%	Przyspieszył
J	43	53	10	+23.3%	Przyspieszył
D	46	62	16	+34.8%	Przyspieszył
Dm	35	51	16	+45.7%	Przyspieszył
M	46	74	28	+60.9%	Przyspieszył
K	35	62	27	+77.1%	Przyspieszył

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 105 przedstawiono zdjęcie z testów walidacyjnych ilustrujące postrzeganie sceny ruchu przez kierowcę przy zastosowaniu prototypu systemu ze znakiem VMS.



Rysunek 105. Zdjęcie poglądowe pulsującego znaku VMS – scena ruchu oczami kierowcy

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 106. Punkty fiksacji - znak VMS (badania walidacyjne)

Źródło: opracowanie własne.

Znak pulsujący VMS w odniesieniu do przebadanej grupy kierowców jest skuteczniejszy. Wprowadza u kierowcy czynnik „czuwania” i powoduje średnią redukcję prędkości o 4%. Znak klasyczny D-6 w tym konkretnym scenariuszu badawczym jest ignorowany pod kątem prewencyjnym, co świadczy zwiększenie średniej prędkości o 35% w momencie zbliżania się do przejścia dla pieszych.

Tabela 54. Podsumowanie badań obserwacyjnych podczas przeprowadzonych badań walidacyjnych

Ip.	Uczestnik	Kierowca zwolnił przed przejściem dla pieszych	Kierowca przyspieszył przed przejściem dla pieszych	Kierowca rozmawia przez telefon	Kierowca używa telefonu do innych czynności niż rozmowa	Kierowca używa ekranu w pojeździe	Kierowca rozmawia z innym pasażerem	Kierowca rozgląda się przed przejściem	Grupa wiekowa 25-39		Grupa wiekowa 40-59	
									M	K	M	K
1	D - VMS	x						x	x			
2	D		x					x	x			
3	Ł - VMS	x						x			x	
4	Ł		x								x	
5	B - VMS		x				x	x			x	
6	B		x					x			x	
7	J - VMS		x				x	x			x	
8	J		x								x	
9	K - VMS	x						x	x			
10	K		x					x	x			
11	A - VMS	x					x	x				x
12	A		x									x
13	M - VMS		x	x				x			x	
14	M		x					x			x	
15	Dm - VMS	x						x	x			
16	Dm		x					x	x			

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowując wyniki uzyskane na podstawie karty obserwacji aktualnych zachowań kierowców dla badanej grupy, można stwierdzić, że zdecydowana większość kierowców obserwuje otoczenie przejścia dla pieszych. Było to szczególnie istotne w przypadku analizowanego przejścia, gdzie widoczność była ograniczona przez

roślinność oraz znajdujący się w pobliżu plac zabaw, z którego w każdym momencie mogło wybiec dziecko na jezdnię. W odniesieniu do znaków klasycznych D-6, kierowcy postępują w sposób prawidłowy obserwując otoczenie przejścia dla pieszych, jednak w sytuacji gdyby w sposób nagły pojawił się pieszy, ze względu właśnie na problemy z widocznością mogło by dojść do sytuacji zagrożenia zdrowia i życia. Wynika to z faktu, iż w odniesieniu do znaku D-6 kierowcy nie wykonują prewencyjnego zmniejszenia prędkości pojazdu zbliżając się do przejścia dla pieszych.

Walidacja systemu została zakończona pomyślnie, bez wykrycia niezgodności. System spełnia wszystkie założone wymagania.

8.3 Analiza kosztowa i niezawodnościowa

Struktura kosztowa systemu wspomagającego bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego została podzielona na cztery główne kategorie funkcjonalne: sygnalizacja i komunikacja z kierowcą oraz niechronionymi uczestnikami ruchu drogowego, jednostka sterująca, moduł detekcji oraz infrastruktura montażowa. W tabeli 55 przedstawiono zbiorcze zestawienie kosztów elementów systemu.

Tabela 55. Zestawienie kosztów elementów systemu

Elementy systemu	Ilość	Cena jedn. (PLN)	Koszt całkowity (PLN)
Radary mikrofalowe	2 SZT.	1500	3000
Czujniki radarowo-pirowe	4 SZT.	400	1600
Ekrany VMS	2 SZT.	3000	6000
System komputerowy z oprogramowaniem	1 KPL.	5000	5000
Lampy ostrzegawcze LED	1 KPL.	200	200
Sygnalizatory dźwiękowe	1 KPL.	200	200
Fundamenty i słupy nośne	1 KPL.	2000	2000
Obudowy ochronne	1 KPL.	1000	1000
Zasilacze i okablowanie	1 KPL.	500	500
Pozostałe elementy i montaż	1 KPL.	500	500
Suma całkowita (Szacunkowa Netto)	20 000,00		

Źródło: opracowanie własne.

Największym pojedynczym kosztem systemu w pierwszej kategorii kosztów są ekrany zmiennej treści VMS, będące kluczowym elementem wpływającym na redukcję prędkości i percepcję kierowców. Kolejnym elementem są urządzenia świetlne oraz sygnalizatory dźwiękowe. Koszty dotyczące drugiej grupy to system komputerowy wraz

z opracowanym oprogramowaniem, dającym możliwość zarządzania poszczególnymi elementami wykonawczymi systemu. Kolejnym elementem są moduły detekcji zarówno kierowców jak i niechronionych uczestników ruchu drogowego odpowiadające za monitorowanie obecności pojazdów i osób zbliżających się do przejść dla pieszych. W ostatniej grupie kosztów znajdują się elementy zabudowy wraz z zasilaniem systemu. Są to koszty niezbędne do fizycznego wdrożenia systemu.

Dla wszystkich zastosowanych elementów użytych w systemie przyjęto zastosowanie urządzeń klasy przemysłowej, dla których według wskazań producentów średnia niezawodność roczna pojedynczego elementu wynosi około 99-99,8%.

Tabela 56. Zestawienie niezawodności komponentów systemu

Element	Niezawodność
Radary mikrofalowe	99,5%
Czujki radarowo-pirowe	99,0%
Ekrany VMS	99,0%
System komputerowy	98,5%
Lampy LED	99,5%
Sygnalizatory dźwiękowe	99,5%

Źródło: opracowanie własne.

Założenia funkcjonalne obejmują wykrycie zagrożenia przy zadziałaniu co najmniej jednego radaru i jednego czujnika radarowo-pirowego. Radary działają w układzie równoległym. Dodatkowe czujniki zapewniają nadmiarowość detekcji, ostrzeganie realizowane jest przez ekrany VMS, lampy LED i sygnalizatory, co istotnie zwiększa niezawodność całego systemu.

Do oceny skuteczności działania analizowanego systemu przeprowadzono obliczenia jego niezawodności, czyli prawdopodobieństwa poprawnego funkcjonowania systemu w określonym czasie i warunkach. Do wyznaczenia niezawodności systemu wykorzystano zależności stosowane dla układów szeregowych i równoległych. W przypadku układów radarów oraz czujników przyjęto strukturę równoległą, co oznacza że poprawne działanie przynajmniej jednego elementu zapewnia funkcjonowanie całego podsystemu. Następnie obliczono niezawodność układu ostrzegania, którego elementy współpracują w sposób szeregowy. Korzystając z zależności dla systemu złożonego, obliczono całkowitą niezawodność systemu, jako iloczyn poszczególnych podsystemów. Szczegółowe obliczenia przedstawiono poniżej:

Niezawodność układu radarów (2 równoległe):

$$R_c = 1 - (1 - 0,995)^2 = 0,999975$$

Niezawodność układu czujników (4 równoległe):

$$R_r = 1 - (1 - 0,99)^4 = 0,99999999$$

Niezawodność układu ostrzegania:

$$R_o = 0,99 * 0,995 * 0,995 = 0,9801$$

Całkowita niezawodność systemu:

$$R_s = R_r * R_c * 0,985 * R_o * 0,985$$

$$R_s = 0,999975 * 0,99999999 * 0,985 * 0,9801 * 0,985 \approx 0,950 \text{ (95\%)}$$

Dla proponowanej konfiguracji wykorzystującej komponenty dobrej jakości oraz redundancję w układzie detekcji, szacowana niezawodność systemu wynosi około 95%, co oznacza że system zachowują swoją całkowita funkcjonalność z prawdopodobieństwem 0,95 w założonym okresie eksploatacji. Zastosowanie redundantnych radarów oraz czujników znacząco ogranicza ryzyko utraty zdolności wykrywania zagrożeń.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania potwierdzają, że zapewnienie bezpieczeństwa na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej jest zależne od czynników infrastrukturalnych, środowiskowych oraz behawioralnych. Ich wzajemne oddziaływanie ma wpływ na przebieg interakcji pomiędzy kierowcą, a niechronionym uczestnikiem ruchu drogowego. Wyniki badań pozwoliły na identyfikację kluczowych mechanizmów odpowiedzialnych za podejmowanie decyzji przez uczestników ruchu drogowego oraz określenie skutecznych działań ograniczających to ryzyko. Całość pozwoliła na sformułowanie istotnych wniosków końcowych.

- 1) Badania wykazały, że zachowania zarówno kierowców jak i pieszych w strefie przejść dla pieszych mają charakter adaptacyjny i dynamiczny. Uczestnicy ruchu zmieniają swoje zachowania w zależności od obserwowanych zachowań, warunków otoczenia oraz poziomu postrzegane ryzyka. Szczególne znaczenie mają kontakt niewerbalny wzrokowy.
- 2) Potwierdzono występowanie istotnych rozbieżności pomiędzy postawami deklaracyjnymi dotyczącymi bezpieczeństwa ruchu drogowego, a rzeczywistymi zachowaniami obserwowanymi podczas badań obserwacyjnych. Zarówno piesi jak i kierowcy bardzo często deklarowali zachowania zgodne z obowiązującym prawem, jednak badania obserwacyjne tego nie potwierdzają. Oznacza to, że ocena poziomu bezpieczeństwa nie może opierać się tylko na badaniach deklaracyjnych.
- 3) Stwierdzono, że najważniejszymi czynnikami mającymi wpływ na podjęcie przez kierowcę działań prewencyjnych są czynniki takie jak odpowiednia widoczność pieszego, jednoznaczność sytuacji drogowej, zastosowanie elementów odblaskowych, jak również stosowanie znaków zmiennej treści, które powodują dwukrotnie wyższy wskaźnik redukcji prewencyjnej prędkości, aniżeli w przypadku znaków D-6.
- 4) Badania potwierdziły istotny wpływ sposobu przeszukiwania wzrokowego pola przejścia dla pieszych na skuteczność wykrywania pieszego. Ograniczenie zakresu obserwacji oraz występowanie zjawiska widzenia tunelowego doprowadziły do wydłużenia czasu identyfikacji zagrożenia lub całkowitego braku identyfikacji niechronionych uczestników ruchu drogowego na przejściach dla pieszych w przypadku ograniczonego oświetlenia w porze nocnej.

- 5) Wykazano, że obciążenie poznawcze oraz stosowanie urządzeń mobilnych powodują istotne pogorszenie parametrów percepcyjnych i decyzyjnych, dotyczy to kierowców oraz niechronionych uczestników ruchu drogowego. Wzrost liczby dystraktorów prowadzi do wydłużenia czasu reakcji i jak wskazują wyniki badań ma często wpływ na przeżywalność bądź nie w przypadku wystąpienia wypadku.
- 6) Na podstawie przeprowadzonych badań wyodrębniono najistotniejsze, mające największy wpływ na bezpieczeństwo przejść dla pieszych determinanty bezpieczeństwa technicznego, jak również najczęściej powtarzające się wzorce zachowań pieszych oraz kierowców.

Dodatkowym efektem badań było opracowanie trzech odrębnych modeli bezpieczeństwa przejść dla pieszych: modelu bezpieczeństwa technicznego oraz dwóch modeli bezpieczeństwa behawioralnego, będących podsumowaniem przeprowadzonych badań. Modele te zostały zaimplementowane do opracowanych metod dających możliwość zarządcom infrastruktury przejść dla pieszych, łatwą i sprawną ocenę bezpieczeństwa przejść dla pieszych oraz podjęcie działań naprawczych, celem zwiększenia poziomu bezpieczeństwa przedmiotowych przejść dla pieszych.

W efekcie wszystkich zrealizowanych badań osiągnięto przyjęty cel naukowy, czyli przeprowadzono kompleksową analizę i ocenę zachowań pieszych oraz kierowców w okolicy przejść dla pieszych w różnych warunkach ruchu drogowego, co umożliwiło opracowanie metody oceny poziomu bezpieczeństwa przejść dla pieszych oraz koncepcji adaptacyjnego systemu zwiększającego bezpieczeństwo tych obszarów. Natomiast na podstawie szczegółowej analizy wyników potwierdzono zdefiniowaną tezę pracy udowadniając, że pogłębiona analiza zachowań niechronionych uczestników ruchu i kierowców na przejściu dla pieszych oraz w jego bezpośrednim otoczeniu pozwala na opracowanie dodatkowych elementów systemu wspierającego bezpieczeństwo przejść dla pieszych”.

W ramach prac wdrożeniowych opracowano koncepcję oraz prototyp adaptacyjnego systemu wsparcia bezpieczeństwa ruchu na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej. System dzięki możliwości adaptacji do aktualnie panujących warunków na wskazanej lokalizacji w sposób optymalny wspiera bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu. Zatem należy stwierdzić, że przyjęty cel wdrożenia jakim było zdefiniowanie wytycznych wsparcia bezpieczeństwa ruchu na przejściach dla pieszych oraz opracowanie elementów adaptacyjnego systemu niwelującego wybrane zagrożenia wypadku został osiągnięty.

Przeprowadzone badania pozwoliły na wskazanie nowych problemów i pytań, których rozwiązanie może przyczynić się do dalszego zwiększania bezpieczeństwa przejść dla pieszych. Szczególnie istotne wydaje się rozszerzenie analiz o wpływ nowych form mobilności, takich jak hulajnogi elektryczne, rowery elektryczne, których udział w ruchu drogowym systematycznie wzrasta. W trakcie badań zaobserwowano również znaczną zmienność zachowań pieszych oraz kierowców, co wskazuje na potrzebę dalszego doskonalenia metod oceny ryzyka oraz modelowania interakcji pomiędzy uczestnikami ruchu. Kluczowe jest także przeprowadzenie długookresowych badań skuteczności proponowanego adaptacyjnego systemu bezpieczeństwa w różnych warunkach ruchowych i środowiskowych. Dalsze badania mogłyby również obejmować wykorzystanie metod sztucznej inteligencji do identyfikacji oraz prognozowania sytuacji potencjalnie niebezpiecznych przed ich wystąpieniem, np. na podstawie zdefiniowanych wzorców zachowań niebezpiecznych.

Bibliografia

- [1] AI-Worafi Y.M., „Ethics in Simulation Research", *Comprehensive Healthcare Simulation: Pharmacy Education, Practice and Research*. 2023, 255-260, https://doi.org/10.1007/978-3-031-33761-1_40.
- [2] Aleva T., Tabone W., Dodou D., Winter J., „Augmented reality for supporting the interaction between pedestrians and automated vehicles: an experimental outdoor study", *Front. Robot. AI*, 2024, (11), 10-14, <https://doi.org/10.3389/frobt.2024.1324060>
- [3] Anderson CE, Zimmerman A, Lewis S, Marmion J, Gustat J. Patterns of Cyclist and Pedestrian Street Crossing Behavior and Safety on an Urban Greenway. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019, 16(2), 201. <https://doi.org/10.3390/ijerph16020201>
- [4] Andrew T. Duchowski, „Eye-based interaction in graphical systems: 20 years later gas applications, analytics, & interaction, In *ACM SIGGRAPH 2020 Courses (SIGGRAPH '20)*. Association for Computing Machinery, 2020, 1–246. <https://doi.org/10.1145/3388769.3407492>
- [5] Ansariyar, A., Taherpour, A., Yang, D., Jeihani, M., „Enhancing Pedestrian Safety by Providing a LiDAR-Based Analysis of Jaywalking Conflicts at Signalized Intersections", *Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie*, 2024 , Vol. 23, 2
- [6] Arif, S., Shahriar M., Haque, N., Raihan, M., Hadiuzzaman, M., „CNN-Based Framework for Pedestrian Age and Gender Classification Using Far-View Surveillance in Mixed Traffic Intersections", *Journal of Transportation Research Board* 2025, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2511.22873>
- [7] Bajwa MU, Saleh W, Fountas G. Identifying a Framework for Implementing Vision Zero Approach to Road Safety in Low- and Middle-Income Countries: A Qualitative Perspective. *Safety*. 2025, 11(4):93. <https://doi.org/10.3390/safety11040093>
- [8] Bany P., „Wizja zero jako paradygmat bezpieczeństwa ruchu drogowego", *Instytut Transportu Samochodowego, Gospodarka Materiałowa i Logistyka, Gospodarka materiałowa i Logistyka*, 2019, 14-23.
- [9] Basile, O., Persia, L. & Usami, D.S. „A methodology to assess pedestrian crossing safety". *Eur. Transp. Res. Rev.*, 2010, 2, 129–137, <https://doi.org/10.1007/s12544-010-0036-z>
- [10] Bera K., Bandyopadhyay J., Banik P. „Analytic Hierarchy Process (AHP) Applications in watershed Management Plan", *Intech Open*, 2023, 40-150, DOI: 10.5772/intechopen.1001456.
- [11] Biernacki M., Dziuda Ł., „Choroba symulatorowa jako realny problem podczas badań na symulatorach", *Med. Pracy*. 2012, 150-240.
- [12] Bigazzi A., Gill G., Honey-Roses J., Bardutz E., „Perceived safety and comfort of pedestrian interactions with self driving vehicles", *Transportation Research Board* 2023, 12- 82.
- [13] Burdzik R., Szczepański T., Wiśniowski P., Algorytm wykrywania intencji kierowcy w pobliżu przejścia dla pieszych", *Transport Samochodowy*, 2016, (4), 45-56.
- [14] Burdzik R., Simiński, D., Kruszewski M., Niedzicka, A.; Gąsiorek, K.; Zabieva, A.B.; Mamala, J.; Dębicka, E. „Designing and Planning of Studies of Driver Behavior at Pedestrian Crossings Using Whole-Vehicle Simulators". *Appl. Sci*. 2024, 14, <https://doi.org/10.3390/app14104217>

- [15] Căilean, A.-M.; Beguni, C.; Avătămăniței, S.-A.; Dimian, M.; Popa, V. „Design, Implementation and Experimental Investigation of a Pedestrian Street Crossing Assistance System Based on Visible Light Communications”. *Sensors* 2022, 22, 5481, <https://doi.org/10.3390/s22155481>
- [16] Campisi T., Otkovic I., Surdonja S., Deluka-Tibljias A., „Impact of Social and Technological Distraction on Pedestrian Crossing Behaviour”, *Transportation Research Procedia*, 2022, 100-107, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.014>
- [17] Chen, PL., Pai, CW, „Pedestrian smartphone overuse and inattention blindness: an observational study in Taipei”, *Taiwan. BMC Public Health*, 2018, 1342, <https://doi.org/10.1186/s12889-018-6163-5>
- [18] Christie, N., „Is Vision Zero important for promoting health?”, *Journal of Transport & Health*, 2018 Volume 9, 5-6, <https://doi.org/10.1186/s12889-018-6163-5>
- [19] Curry R., Artz., Cathey L., Grant P., Greenberg J., „Fixed vs. Motion base Ford simulators”. *Driving simulation Associations*, 2002, 289-300.
- [20] Deb S., Strawderman L., Carruth D.W., DuBien J., Smith B., Garrison T., „Development and validation of a questionnaire to assess pedestrian receptivity toward fully autonomous vehicles”, *Transportation Research Part C*, 2021, 178-195, <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.08.029>.
- [21] Dietrich A., Othersen I., Kufner A., Maruhn P., Bengler W., “ Designing for automated vehicle and pedestrian communication: perspectives on eHMIs from older and younger persons, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe*, 2018, 4959, 135-148.
- [22] European Commission Directorate – General for Mobility and Transport, 2020, „Next steps towards ‘Vision Zero’: EU road safety policy framework 2021-2030.
- [23] European Road Safety Observatory Annual Statistical report on road safety in the EU, 2022, 10-20.
- [24] Eurostat (Dane dot. bezpieczeństwa ruchu drogowego).
- [25] „Raport Bezpieczeństwa Drogowego 2023, technologia i człowiek”, *Dekra*, 2023, 3-4.
- [26] Feng S., Atkinson-Palombo C., „How infrastructure influences pedestrian–vehicle conflicts: a microsimulation study”, *Transportation Research Part D*, 2021, 102–115.
- [27] Guo W., Wang S., Yin J., “The effect of cognitive load on driver’s recognition of pedestrian road-crossing intention, *Technology, Mind & Society 2021 Conference Proceedings*, 2021, DOI:10.1037/tms0000132
- [28] Gaca S., Jamroz K., Budzyński M., Kieć M., Michalski L., Oskarbski J., Wroński M., „Wytyczne zarządzania prędkością na drogach samorządowych cz.1”, *KRBRD*, 2016 r.
- [29] Giri P.O., „Analyzing key factors influencing road traffic accidents”, *Smart and resilient Transportation*, 2026, doi: <https://doi.org/10.1108/SRT-02-2025-0003>
- [30] Gkyrtis, K.; Pomoni, M. „Use of Historical Road Incident Data for the Assessment of Road Redesign Potential”. *Designs* 2024, 8, 88, <https://doi.org/10.3390/designs8050088>
- [31] Singh D., Das P., Verma V., “Assesment of Pedestrian Safety at Urban Uncontrolled Intersections Using Surrogate Safety measures: a Case Study of Bhopal City, *Proceedings of TPMDC 2022*, 475, doi.org/10.1007/978-981-99-6090-3_38
- [32] Colley M., Bajrovic E., Rukzio E., Effects of Pedestrian Behavior, Time Pressure, and Repeated Exposure on Crossing Decisions in Front of Automated Vehicles Equipped with External Communication. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '22)*.

Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2022, Article 367, 1–11.
<https://doi.org/10.1145/3491102.3517571>

[33] Hossain. A., Sun, X., Thapa, R., Codjoe, J., „Applying Association Rules Mining to Investigate Pedestrian Fatal and Injury Crash Patterns Under Different Lightning Conditions”, Cornell University, Nov 2022, Volume 2676, Issue 6 <https://doi.org/10.1177/03611981221076120>

[34] <https://euroasfalt.pl/pl/products/zebra-standard-aktywne-przejscia-dla-piesznych>

[35] <https://www.bercman.com/products/smart-pedestrian-crosswalk>

[36] Jamroz K., Żukowska J., Michalski L., „Wyzwania i kierunki działań na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego v nadchodzącej dekadzie w Polsce”, Transport Miejski i Regionalny, 2019, 7-12.

[37] Jarocka M., Sturgulewska N., „Zastosowanie metody AHP do wyboru wózka widłowego w przedsiębiorstwie produkcyjnym”, Akademia Zarządzania, 2023, 310-322.

[38] Jednostka Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu drogowego „Wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec roku 2022...”, 2023, 27.

[39] Ma J., Li J., Wang W., Huang H., „Exploring the impact of the passenger’s display on driver workload and driving performance, Applied ergonomics, 2023, Volume 114, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104138>

[40] Kennedy R.S., Allgood G.O., van Hoy B.W., GreenBerg J. „Motion sickness symptoms and postural changes following flights in motion-based flight trainers”, 2017, Volume 6, Issue 4 <https://doi.org/10.1177/026309238700600402>

[41] Khaki, A., Mohammadnazar, A., „A probabilistic model for pedestrian gap acceptance behavior at uncontrolled midblock crosswalks” Cornell University, 2021, <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18623.76968>

[42] Khanmohamadi, M.; Guerrieri, M. „Smart Intersections and Connected Autonomous Vehicles for Sustainable Smart Cities: A Brief Review”. Sustainability, 2025, 17, 3254, <https://doi.org/10.3390/su17073254>

[43] Khuzam E. A., Lanzaro G., Sayed T., „Impact of jaywalking on pedestrian interaction behavior: a multiagent Markov game based analysis”, Accident Analysis & Prevention, 220, 108141.

[44] Koh, P.P.; Wong, Y.D.; Chandrasekar, P. „Safety evaluation of pedestrian behaviour and violations at signalised pedestrian crossings”. Safety Science, 2014, 70, 143–152, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.05.010>

[45] Kozłowski M., Racewicz S., Wierzbicki S., „Image Analysis in Autonomous Vehicles: A Review of the Latest AI Solutions and Their Comparison” Applied Sciences, 2024, 14 (18), 8150, <https://doi.org/10.3390/app14188150>

[46] Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego „Stan Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego oraz działania realizowane w tym zakresie”, Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa 2018

[47] Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego „Wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych... na koniec roku 2022”, Warszawa, 2023, 40-56.

[48] Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, „Wytyczne Organizacji Bezpiecznego Ruchu Piesznych”, 2017.

- [49] Krishna K.V., Kapruwan R., Choudhary P. „Understanding distracted pedestrians behaviour: The role of walking and visual characteristics through a field study”, *Transportation Research*, 2024, Volume 101, 111-129, <https://doi.org/10.1016/j.trf.2024.01.003>.
- [50] Lantieri, C.; Costa, M.; Vignali, V.; Acerra, E.M.; Marchetti, P.; Simone, A. „Flashing in-curb LEDs and beacons at unsignalized crosswalks and driver’s visual attention to pedestrians during nighttime”. *Ergonomics* 2021, 64(3), 330–341. <https://doi.org/10.1080/00140139.2020.1834149>
- [51] Pan F., Yang J., Zhang L., Ma C., „Impact of countdown signals on traffic safety and efficiency: a review and proposal, *Digital Transportation and Safety*, 2023, 2(3):200–210 doi: 10.48130/DTS-2023-0016
- [52] Llinares C, Higuera-Trujillo JL, Montañana A, Castilla N. Improving the Pedestrian’s Perceptions of Safety on Street Crossings. Psychological and Neurophysiological Effects of Traffic Lanes, Artificial Lighting, and Vegetation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(22):8576. <https://doi.org/10.3390/ijerph17228576>
- [53] Mahadevan K., Somanath S., Sharlin E., „Communicating awareness and intent in autonomous vehicle–pedestrian interaction”, In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18) Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2018, Paper 429, 1–12. https://doi.org/10.1145/3173574.3174003*
- [54] Maleszka P., Bąk R., „Wpływ zmian legislacyjnych na zachowania kierowców wobec pieszych – analiza przed i po 2021 roku”, *Logistyka*, 2022, 45–53.
- [55] Małecki M., „Pierwszeństwo pieszego wchodzącego na przejście dla pieszych. Analiza prawna”, *Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego*, 2021, 7-18.
- [56] Mapadimitriou E., Lassarre S., Yannis G., “Introducing human factors in pedestrian crossing behaviour models”, *Transportation Research*, 2016, Volume 36, 69-82, 10.1016/j.trf.2015.11.003
- [57] Mateo Sanguino, T.d.J.; Redondo González, M.J.; Davila Martin, J.M.; Lozano Domínguez, J.M. „Enhanced Road Safety with Photoluminescent Pedestrian Crossings in Urban Contexts”. *Infrastructures* 2024, 9(3):60. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9030060>
- [58] Meir, A., Gilad, T., „Linking walkability and pedestrian crossing safety using simulated urban environments”, *Scientific reports*, 2025, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-27558-w>.
- [59] Mejias, E., Ruiz, V., Prieto, Requena R., Castillo J., Claret P., Eladio Jiménez-Mejías, Virginia Martínez-Ruiz, Carmen Amezcua-Prieto, Rocío Olmedo-Requena, Juan de Dios Luna-del-Castillo, Pablo Lardelli-Claret, Pedestrian- and driver-related factors associated with the risk of causing collisions involving pedestrians in Spain, *Accident Analysis & Prevention*, 2016 Volume 92, 211-218, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.03.021>.
- [60] Michalski, L., Jamroz, K., Gaca S., „Ochrona pieszych. Podręcznik dla organizatorów ruchu drogowego”, *Krajowa Rada Bezpieczeństwa ruchu drogowego*, Gdańsk, 2014.
- [61] Mackun, P., Chrzanowicz, M., Jamroz, K., Tomczuk, P., „Wytyczne prawidłowego oświetlenia przejść dla pieszych”, *Ministerstwo Infrastruktury, Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego*, Warszawa, 2017
- [62] Mironiuk W., “Model – Based Investigations on Dynamic Ship Heels in Relation to Maritime Transport Safety” *The Archives of Transport*, 2015, Volume 33, Issue I, DOI:10.5604/08669546.1160928.
- [63] Nikolaou, D.; Folla, K.; Yannis, G. „Impact of Socioeconomic and Transport Indicators on Road Safety during the Crisis Period in Europe”. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*. 2021, <https://doi.org/10.1080/17457300.2021.1954034>

- [64] Niezgoda M., Kamiński T., Ucińska M., Kruszewski M., „Effective Methods for Drivers Research with use of driving simulator”, *Journal of Kones*, 2011, Vol. 18, 3, 309-316
- [65] O'Dell, A.; Morris, A.; Filtress, A.; Barnes, J. „The Impact of Pedestrian Distraction on Safety Behaviours at Controlled and Uncontrolled Crossings”. *Future Transp.* 2023, 3, 1195–1208, <https://doi.org/10.3390/futuretransp3040065>
- [66] Papadimitriou E., Lassarre S., Yannis G., „Human factors of pedestrian walking and crossing behaviour, *Transportation Research Procedia*, 2017, Volume 25, 2002-2015, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.396>.
- [67] Pawlak, A.; Pawelec, A.; Kossakowski, P.G. „Evaluation of the Efficiency of Solutions Used at Active Pedestrian Crossings”. *Electronics* 2025, 14(3):409. <https://doi.org/10.3390/electronics14030409>
- [68] Pazzini, M.; Cameli, L.; Vignali, V.; Simone, A.; Lantieri, C. „Video-Based Analysis of a Smart Lighting Warning System for Pedestrian Safety at Crosswalks”. *Smart Cities* 2024, 7, 2925–2939, <https://doi.org/10.3390/smartcities7050114>
- [69] Pelicioni P.H.S., Chan L., Shi S., Kark I., Okubo Y., Brodie M., „Impact of mobile phone use on accidental falls risk in young adult pedestrians”, *Heliyon*, 2023, Volume 9 Issue 8.
- [70] Peplińska, A., Wyszomirska-Góra, M., Połomski, P., Szulc, M., „Who is a dangerous driver? Socio-demographic and personal determinant of risky traffic behavior”, *Current Issues in Personality Psychology*, 2015, 3(3), 149-158. doi: 10.5114/cipp.2015.53580
- [71] Pezeshknejad, P., Rowangould, D., „Evaluating safety and compliance of pedestrian crossings in rural contexts...”, *Accident Analysis & Prevention*, 2024, Volume 198, 10.1016/j.aap.2024.107462.
- [72] Pękała J., Frączek M., „Bezpieczeństwo pieszych problemy i wyzwania”, *Zeszyty Naukowe Publico Bono*, 2022, 1, 209-223, DOI: 10.5604/01.3001.0016.1971
- [73] Pam E., Dileep R., Koshy B., “Study on Driver Yielding to pedestrians at unsignalized crosswalks”, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2016, Volume 7, Issue 9.
- [74] Paul Bizimana J., Yang Y., Li Z., Zafri N., Dong Y., Li T., “Large language models of pedestrian safety an application to predicting driver yielding behavior at unsignalized intersections, *arXiv preprint arXiv:2509.19657*, 2025, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.19657>
- [75] Pomoni M. Smart Crosswalks for Advancing Road Safety in Urban Roads: Conceptualization and Evidence-Based Insights from Greek Incident Records. *Future Transportation*. 2025; 5(4):180. <https://doi.org/10.3390/futuretransp5040180>
- [76] Pomykała M., Oleksiewicz I., Purc-Kurowicka K., „Współczesne Problemy Bezpieczeństwa Wewnętrzznego”, *Oficyna Wydawnicza PRz*, Rzeszów 2023.
- [77] Rahman, M., Kockelman, K. M., & Perrine, K. A. Investigating risk factors associated with pedestrian crash occurrence and injury severity in Texas. *Traffic Injury Prevention*, 2022, 23(5), 283–289. <https://doi.org/10.1080/15389588.2022.2059474>.
- [78] Ronen A., Yair N., „The adaptation period to a driving simulator”, *Transportation Research Part F*, 2013, 94-106, 10.1016/j.trf.2012.12.007
- [79] Rosiński A., “Systemy monitoringu wizyjnego w transporcie kolejowym jako czynnik zwiększający bezpieczeństwo pasażerów” *Problemy Kolejnictwa – Zeszyt 156*, 2012.

- [80] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, 1999, Dz. U, 99, 836
- [81] Salvatore G., Ehrgott M., Figueira J., "Multiple Criteria Decision Analysis" Springer, 2016
- [82] Sharma, S.N., Dehalwar, K., „A Systematic Literature Review of Pedestrian Safety in Urban Transport Systems.” *Journal of Road Safety*, 2025 36 (4), <https://doi.org/10.33492/JRS-D-25-4-2707507>.
- [83] Sharples S., Cobb S., Moody A., Wilson J.R., „ Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems, *Displays*, 2008, Volume 29, Issue 2, 58-69, <https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.005>.
- [84] Siebert, F. W., Møller, M., Lwin, A. M. M., & Albers, D.. Illusion of safety? Safety-related perceptions of pedestrians and car drivers around 3D crosswalks. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2022, 91, 213–222., <https://doi.org/10.1016/j.trf.2022.10.003>.
- [85] Simiński D., Burdzik R.: „Analiza w aspekcie bezpieczeństwa w transporcie drogowym, w odniesieniu do zmian przepisów dotyczących pieszych poruszających się na i w okolicy przejść dla pieszych”. W: Cebulska W. (red.), XX Studencka Sesja Naukowa Wydziału Transportu i Inżynierii Lotniczej, Politechnika Śląska, 2022, 133.
- [86] Simiński D., Burdzik R., Rozmus J., Nowak B., Misterek D.: „Concept and prototype of the safety system for pedestrians and cyclists in the immediate vicinity of larger vehicles”. *Journal of Civil Engineering and Transport*, 2024, vol. 6, 2, 45–59.
- [87] Simiński D., Burdzik R., Kruszewski M., Chema W. P., Khan D.: „Innowacyjny system wspierający bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu”. W: Peruń G., Konieczny Ł. (red.), *Diagnostyka Maszyn. XLIX Ogólnopolskie Sympozjum*, Politechnika Śląska, 2023.
- [88] Vaquerizo J., Hausladen C., Mahajan S., Matter M., “ A virtual reality experiment to study pedestrian perception of future street scenarios”, *Sci Rep* 14, 4571 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55073-x>
- [89] Sobolewski M., Nycz M., „Safety Analysis Pedestrian Crossings in Poland after the Regulation Change in 2021”, *European Research Studies Journal*, 2024, 27(B), 1110-1127
- [90] Sosik-Filipiak, K.; Ostrowski, P.; Iwan, S. „Pedestrian Safety in Road Traffic in the Era of the SARS-CoV-2 Pandemic in the Example of Szczecin”. *Sustainability*, 2023, 15(14):11000. <https://doi.org/10.3390/su151411000>
- [91] Stern R., Tianyi L., „Guidelines for safer pedestrian crossings: understanding the factors that positively influence vehicle yielding to pedestrians at unsignalized intersections”, Minnesota Department of Transportation, 2023.
- [92] Stević Ž., Vesković S., Vasiljević M., „The selection of the logistic center location using AHP method”, 2nd Logistics International Conference Belgrade Serbia, 2015, 86-90.
- [93] Stoltmann A., „Application of AHP method for comparing the criteria used in locating wind farms”, *Acta Energetica*, (03), 2016, 144–154. <https://doi.org/10.52710/ae.402>
- [94] Stopka O., „Draft to implement a Logistics information system for corporate management using multi-criteria decision making methods”, *Transport Economics and Logistics*, 2019, 82, 43–56. <https://doi.org/10.26881/etil.2019.82.04>
- [95] Symon E., Rzepka P., „Wypadki drogowe w Polsce w 2023 roku”, KGP BRD, 2024, 2-23 oraz 20-34).

- [96] Szyjewski Z., Szyjewski G., „Wiarygodność metod badawczych”, *Informatyka Ekonomiczna*, 2017, 2 (44), 118-131.
- [97] Tabone W., Happee R., Garcia J., Lee Y.M. „Augmented reality interfaces for pedestrian-vehicle interactions”, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2023, Volume 94, 170-189, <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.02.005>
- [98] Toh, C.K.; Sanguesa, J.A.; Cano, J.C.; Martinez, F.J. „Advances in smart roads for future smart cities”. *Proc Math Phys Eng Sci*, 2020, 476(2233):20190439. doi: 10.1098/rspa.2019.0439.
- [99] Tomczuk, P., Chrzanowicz, M., Mackun, T., Budzyński, M., „Analysis of the results of the audit of lighting parameters at pedestrian crossings in Warsaw”, *Warsaw University of Technology. Faculty of Transport.*, 2021, Vol. 59, 3, 21-39, DOI 10.5604/01.3001.0014.9554
- [100] Trzaskalik T., „Multicriteria decision suport. Review of methods and applications”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, 2014, (74), 239-263.
- [101] Unijna Baza Danych CARE dotycząca wypadków drogowych i źródeł krajowych, Eurostat.
- [102] Ustawa o drogach publicznych, Dz. U.2025.0.889 t.j. – ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych.
- [103] Várhelyi A., Adell E., Fontana M., “The effects of driver assistance system for safe speed and safe distance – a real life field study, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2011, Volume 19, Issue 1, 145-155, <https://doi.org/10.1016/j.trc.2010.04.006>.
- [104] Wang C, Wang Y, Peeta S. Cooperative Roundabout Control Strategy for Connected and Autonomous Vehicles. *Applied Sciences*. 2022; 12(24):12678. <https://doi.org/10.3390/app122412678>
- [105] Waściński T., Bartosiewicz P., „Wybór środków transportu wewnętrznego dla przedsiębiorstwa usługowego w aspekcie poprawy efektywności procesu magazynowego”, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach*, 2017.
- [106] Kozłowski M., Racewicz S., Wierzbicki S., "Image Analysis in Autonomous Vehicles: A Review of the Latest AI Solutions and Their Comparison", *Applied Sciences*. 2024; 14, no. 18: 8150. <https://doi.org/10.3390/app14188150>.
- [107] Yannis, G.; Michelaraki, E. „Effectiveness of 30 km/h speed limit—A literature review”. *Journal of Safety Research*, 2025, Volume 92, 490-503, <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2024.11.003>.
- [108] Yusuf, S.A.; Khan, A.; Souissi, R. „Vehicle-to-everything (V2X) in the autonomous vehicles domain—technical review of communication, sensor, and AI technologies for road user safety”, *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 2024, Volume 23, 100980, <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100980>.
- [109] Zafri, N., Tabassum, T., Himal, M., Debnath, A., „Effect of pedestrian characteristics and their road crossing behaviors on driver yielding behavior at controlled intersections", *Journal of Safety Research*, 2022, vol. 81, 1-8, <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.01.001>
- [110] Zarząd Dróg Wojewódzkich w Krakowie, „Wytyczne projektowania infrastruktury dla pieszych”, 2023.
- [111] Zamal S., Newbold B., Scott D., “Exploring pedestrian injury by incorporating spatial information in machine learning”, *Findings*, 2023, doi.org/10.32866/001c.89416.

- [112] Zhang M., Turki A., Mualla Y., Koukam A., Tu X., „Coordination between connected automated vehicles and pedestrians to improve traffic safety and efficiency at industrial sites”, in IEEE Access, vol. 10, 68029-68041, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3185734
- [113] Zagliardi, V., Ferrante, C., & Bella, F. (2024). Safety assessment of pedestrian-vehicle interaction at signalized intersections: An observational study. *Journal of Transportation Safety & Security*, 16(10), 1212–1235. <https://doi.org/10.1080/19439962.2023.2300280>
- [114] Zlaugotne B., Zihare L., Balode L., Kalnbalkite A., Khabdullin A., Blumberga D., „Multi-Criteria Decision Analysis Methods Comparison", *Environmental and Climate Technologies*, 2020, vol. 24, 1, 454-471, DOI: <https://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0028>

Spis tabel

Tabela 1. Skutki „ślepoty atencyjnej”	15
Tabela 2. Koszt jednostkowy ofiar wypadków drogowych w Polsce w roku 2022 w (PLN).....	20
Tabela 3. Zestawienie kosztów incydentów drogowych w Polsce w latach 2018-2022.....	22
Tabela 4. Skala ocen podczas prowadzonych badań audytowych prowadzonych przez Zarząd Dróg Miejskich w Warszawie	36
Tabela 5. Liczba incydentów na przejściach dla pieszych z udziałem pieszych w latach 2020-2022	62
Tabela 6. Wyselekcjonowana grupa wypadków drogowych odnosząca się do najniebezpieczniejszych przejść dla pieszych, część 1	63
Tabela 7. Wyselekcjonowana grupa wypadków drogowych odnosząca się do najniebezpieczniejszych przejść dla pieszych, część 2	64
Tabela 8. Parametry symulatora jazdy wykorzystywanego do przeprowadzenia badań	70
Tabela 9. Skala porównawcza dla metody AHP	87
Tabela 10. Losowy indeks niezgodności (RI)	89
Tabela 11. Przykładowe wyniki pomiarów dla pojazdów nr 1 oraz nr 2	97
Tabela 12. Przykładowe wyniki pomiarów dla pojazdów nr 899 oraz nr 900	97
Tabela 13. Przykładowe próby przejść, badanie „fala uprzejmości”	101
Tabela 14. Zestawienie wyników analizy 100 wypadków oraz badań ankietowych	123
Tabela 15. Wybrane wypadki i wykroczenia popełnione przez uczestników badań	129
Tabela 16. Kompletne zestawienie czasów reakcji	132
Tabela 17. Sumaryczne zestawienie prób przejazdów wszystkich uczestników w odniesieniu do czasów reakcji	134
Tabela 18. Średni czas reakcji dla przejścia dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej	135
Tabela 19. Porównanie profili prędkości w strefie krytycznej	136
Tabela 20. Porównanie przykładowych uczestników badania w odniesieniu do wskaźnika TH	138
Tabela 21. Dystans pojawienia się przeszkody podczas wykonywania badania	142
Tabela 22. Prewencyjna redukcja prędkości w strefie pomiarowej od 140 m	144
Tabela 23. Analiza skuteczności znaków aktywnych	144
Tabela 24. Analiza materiału wideo – Chorzów Batory	166
Tabela 25. Profil przejazdu wybranego kierowcy badanego – Chorzów Batory	167
Tabela 26. Profil przejazdu kolejnego kierowcy badanego – Chorzów Batory	170
Tabela 27. Lokalizacja wzroku badanego kierowcy – mężczyzna 30 lat	171
Tabela 28. Lokalizacja wzroku badanego kierowcy – kobieta 26 lat	171
Tabela 29. Lokalizacja wzroku badanego kierowcy – kobieta 55 lat	172
Tabela 30. Lokalizacja wzroku badanego kierowcy – mężczyzna 63 lata	172
Tabela 31. Lokalizacja wzroku badanego kierowcy – mężczyzna 23 lata	173
Tabela 32. Tabela Podsumowanie dla badanej grupy kierowców	173
Tabela 33. Wyniki badań elementów odbłaskowych używanych przez pieszych w ruchu drogowym	176
Tabela 34. Zidentyfikowane czynniki ryzyka na podstawie przeprowadzonych ankiet i wywiadów	178
Tabela 35. Zidentyfikowane czynniki ryzyka zachowań kierowców na podstawie przeprowadzonych ankiet i wywiadów	178
Tabela 36. Zidentyfikowane czynniki ryzyka na podstawie 100 wypadków	179
Tabela 37. Zidentyfikowane czynniki ryzyka na podstawie analizy obserwacji pieszych	181
Tabela 38. Zidentyfikowane czynniki ryzyka na podstawie badań obserwacyjnych kierowców	181
Tabela 39. Zidentyfikowane czynniki ryzyka na podstawie badań symulatorowych	183
Tabela 40. Zidentyfikowane czynniki ryzyka na podstawie badań eyetrackingowych	184

Tabela 41. Zidentyfikowane czynniki ryzyka na podstawie pomiarów prędkości	185
Tabela 42. Wzorce zachowań pieszych.....	190
Tabela 43. Wzorce zachowań kierowców.....	192
Tabela 44. Porównanie kryteriów parami – macierz A.....	194
Tabela 45. Wagi poszczególnych kryterium – macierz B.....	195
Tabela 46. Wskaźniki wagowe (parametry zmiennych wejściowych modelu bezpieczeństwa technicznego oraz kryteria oceny poziomu parametrów (skala 1-3).....	196
Tabela 47. Ocena bezpieczeństwa technicznego przejść dla pieszych – przejście nr 1 – ul. Stefana Batorego w Chorzowie.....	210
Tabela 48. Ocena bezpieczeństwa zachowań pieszych – przejście nr 1 – ul. Stefana Batorego w Chorzowie	212
Tabela 49. Ocena bezpieczeństwa zachowań kierowców – przejście nr 1 – ul. Stefana Batorego w Chorzowie	214
Tabela 50. Zbiorcze zestawienie obliczeń wskaźników bezpieczeństwa przejść dla pieszych	215
Tabela 51. Analiza wyników badań walidacyjnych.....	228
Tabela 52. Wyniki badań walidacyjnych - system aktywowany	229
Tabela 53. Wyniki badań walidacyjnych - system bierny	230
Tabela 54. Podsumowanie badań obserwacyjnych podczas przeprowadzonych badań walidacyjnych	231
Tabela 55. Zestawienie kosztów elementów systemu.....	232
Tabela 56. Zestawienie niezawodności komponentów systemu	233

Spis rysunków

Rysunek 1. Schemat przejścia wykorzystanego w badaniu uważności pieszych	14
Rysunek 2. Trendy dotyczące sytuacji bezpieczeństwa w ruchu drogowym w Polsce	18
Rysunek 3. Grupy kosztów wypadków drogowych według metody Pandora	21
Rysunek 4. Dystraktory uwagi w odniesieniu do kierowców	31
Rysunek 5. Dystraktory uwagi w odniesieniu do pieszych.....	32
Rysunek 6. Audyt bezpieczeństwa przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej w miejscowości Warszawa – liczba audytowanych przejść dla pieszych	35
Rysunek 7. Audyt bezpieczeństwa przejść dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej w miejscowości Warszawa – wycinek karty oceny Biura Ruchu Drogowego.....	37
Rysunek 8. Luka badawczo naukowa	39
Rysunek 9. Rodzaje przejść dla pieszych	41
Rysunek 10. Funkcjonalność architektury opartej o czujniki mogące przewidywać czy piesi zamierzają skorzystać z przejścia dla pieszych.....	45
Rysunek 11. Kierunki badań dotyczące integrowania systemów opartych o sztuczną inteligencję i pojazdy autonomiczne	47
Rysunek 12. Kierunki badań dotyczące integrowania systemów opartych o sztuczną inteligencję i pojazdy autonomiczne	47
Rysunek 13. Przejście dla pieszych 3D.....	48
Rysunek 14. Schemat dwukierunkowej pętli komunikacyjnej	49
Rysunek 15. Metody badawcze.....	53
Rysunek 16. Harmonogram przeprowadzonych badań.....	53
Rysunek 17. Algorytm badań obserwacyjnych.....	54
Rysunek 18. Karta obserwacji zachowania pieszych zbliżających się do przejść dla pieszych - karta obserwacji część 1	56
Rysunek 19. Karta obserwacji zachowania pieszych zbliżających się do przejść dla pieszych – karta obserwacji część 2.....	56
Rysunek 20. Poglądowe przejścia dla pieszych, na których zostały zrealizowane badania	57
Rysunek 21. Aktualne zachowania kierowców zbliżających się do przejść dla pieszych – karta obserwacji część 1.....	58
Rysunek 22. Aktualne zachowania kierowców zbliżających się do przejść dla pieszych – karta obserwacji część 2.....	58
Rysunek 23. Poglądowe zdjęcie aparatury pomiarowej.....	59
Rysunek 24. Urządzenia pomiarowe wraz z aparaturą oraz oprogramowaniem	60
Rysunek 25. Algorytm realizacji badań statystycznych.....	61
Rysunek 26. Algorytm realizacji badań – wywiady bezpośrednie	65
Rysunek 27. Zdjęcie poglądowe Symulatora jazdy Instytutu Transportu Samochodowego	69
Rysunek 28. Zdjęcie poglądowe Symulatora jazdy Instytutu Transportu Samochodowego	71
Rysunek 29. Zdjęcie poglądowe Symulatora jazdy Instytutu Transportu Samochodowego	75
Rysunek 30. Algorytm realizacji badań symulatorowych	75
Rysunek 31. Zdjęcie poglądowe przebiegu badania symulatorowego.....	76
Rysunek 32. Znak alternatywny „lotnisko” implementowany do scenariusza przejazdu.....	79
Rysunek 33. Znak alternatywny „piktogram1” implementowany do scenariusza przejazdu	79
Rysunek 34. Znak alternatywny „piktogram2” implementowany do scenariusza przejazdu	79
Rysunek 35. Algorytm realizacji badań eyetrackingowych kierowców i pieszych	81
Rysunek 36. Ścieżka śledzenia wzroku - wygenerowano za pośrednictwem oprogramowania Tobii Pro Lab	82
Rysunek 37. Mapa ciepła	83
Rysunek 38. Etapy metody AHP	86
Rysunek 39. Wyniki badań przeprowadzonych na przejściu dla pieszych z azylem w miejscowości Mysłowice ul. Oświęcimska.....	91

Rysunek 40. Wyniki badań przeprowadzonych na przejściu dla pieszych w miejscowości Łędziny – ul. Łędzińska	92
Rysunek 41. Wyniki badań przeprowadzonych na przejściu dla pieszych w miejscowości Łędziny – ul. Aleksandra Fredry.....	92
Rysunek 42. Wyniki badań przeprowadzonych na przejściu dla pieszych w miejscowości Mysłowice.....	94
Rysunek 43. Miejsce realizacji badań prędkości pojazdów zbliżających się do przejścia dla pieszych.....	96
Rysunek 44. Miejsce realizacji badań prędkości pojazdów zbliżających się do przejścia dla pieszych.....	100
Rysunek 45. Miejsce niedozwolone do przejścia.....	102
Rysunek 46. Przykładowe miejsce wystąpienia kolizji z udziałem niechronionych uczestników ruchu drogowego.....	104
Rysunek 47. Zależności prędkości do skutków najechania kierowcy kierującego pojazdem mechanicznym na niechronionego uczestnika ruchu drogowego	126
Rysunek 48. Zdjęcie poglądowe – terenowe badania eyetrackingowe	146
Rysunek 49. Badane przejście dla pieszych ul. Gołonoska w Dąbrowie Górniczej	147
Rysunek 50. Średnia wartość średnicy źrenicy	147
Rysunek 51. Ruchy sakkadowe – przejście dla pieszych ul. Gołonoska w Dąbrowie Górniczej – pora dzienna	148
Rysunek 52. Ruchy sakkadowe – przejście dla pieszych ul. Gołonoska w Dąbrowie Górniczej – pora nocna.....	149
Rysunek 53. Mapa cieplna – przejście dla pieszych ul. Gołonoska w Dąbrowie Górniczej – pora nocna	149
Rysunek 54. Mapa cieplna – przejście dla pieszych ul. Gołonoska w Dąbrowie Górniczej – pora dzienna	150
Rysunek 55. Analiza fiksacji pieszy – pojazd ul. Gołonoska w Dąbrowie Górniczej	150
Rysunek 56. Czasy trwania fiksacji - potwierdzenie komunikacji pieszy - pojazd	151
Rysunek 57. Mapy ciepła – przejazdy badanych Dąbrowa Górnicza – pora dzienna	151
Rysunek 58. Ruchy Sakkadowe – przejazdy badanych Dąbrowa Górnicza – pora dzienna ...	152
Rysunek 59. Mapy ciepła – przejazdy badanych Dąbrowa Górnicza – pora nocna	152
Rysunek 60. Ruchy sakkadowe – przejazdy badanych Dąbrowa Górnicza – pora nocna.....	153
Rysunek 61. Czas fiksacji wzroku dla pory dziennej w odniesieniu do kierowców.....	154
Rysunek 62. Czas fiksacji wzroku dla pory nocnej w odniesieniu do kierowców.....	154
Rysunek 63. Średnie wartości średnic źrenic w odniesieniu do pełnych fiksacji wzroku w porze nocnej	156
Rysunek 64. Średnie wartości średnic źrenic w odniesieniu do pełnych fiksacji wzroku w porze dziennej	156
Rysunek 65. Badane przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach	157
Rysunek 66. Mapa ciepła – przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach.....	157
Rysunek 67. Wskazanie strefy obserwowanej przez kierowcę - przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach	158
Rysunek 68. Ścieżka śledzenia wzroku - przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach	158
Rysunek 69. Porównanie średnic źrenicy badanych kierowców – pora dzienna.....	160
Rysunek 70. Przejazd Mysłowice ulica Mikołowska – pora dzienna	161
Rysunek 71. Porównanie średnic źrenicy badanych kierowców – pora nocna.....	161
Rysunek 72. Mapa ciepła wszystkich badanych kierowców przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach – pora nocna.....	162
Rysunek 73. Mapa ciepła wszystkich badanych kierowców przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach – pora dzienna.....	162

Rysunek 74. Strefa aktywności wzroku wszystkich badanych kierowców przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach – pora nocna.....	163
Rysunek 75. Strefa aktywności wzroku wszystkich badanych kierowców przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach – pora dzienna.....	164
Rysunek 76. Ścieżka śledzenia wzroku wszystkich badanych kierowców przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach – pora nocna.....	164
Rysunek 77. Ścieżka śledzenia wzroku wszystkich badanych kierowców przejście dla pieszych ul. Mikołowska w Mysłowicach – pora dzienna.....	165
Rysunek 78. Potencjalna sytuacja kolizyjna – przejazd badanego kierowcy Chorzów Batory (kobieta 26 lat) Źródło: opracowanie własne.....	168
Rysunek 79. Potencjalna sytuacja kolizyjna – przejazd badanego kierowcy Chorzów Batory (kobieta 55 lat)	168
Rysunek 80. Potencjalna sytuacja kolizyjna – przejazd badanego kierowcy Chorzów Batory (mężczyzna 63 lata) Źródło: opracowanie własne.....	169
Rysunek 81. Badane przejście dla pieszych Chorzów Batory	171
Rysunek 82. Zdjęcie poglądowe podczas prowadzenia badań eyetrackingowych wraz z badaniami dotyczącymi zachowań kierowców w stosunku do osób korzystających z elementów odbaskowych w miejscowości Bieruń.....	175
Rysunek 83. Strefa bliskiego otoczenia przejść dla pieszych w odniesieniu do kierowców, pieszych oraz użytkowników rowerów i hulajnóg.....	188
Rysunek 84. Obliczenie wskaźników spójności dla kryteriów technicznych.....	195
Rysunek 85. Wyznaczenie wag i wskaźników spójności dla kryteriów dotyczących wzorców zachowań pieszych.....	199
Rysunek 86. Wyznaczenie wag i wskaźników spójności dla kryteriów dotyczących zachowań kierowców.....	203
Rysunek 87. Przykładowe przejścia dla pieszych wybrane do procesu walidacji metod i modeli oceny bezpieczeństwa, przejścia nr 1 w ciągu ulicy Stefana Batorego w Chorzowie	207
Rysunek 88. Algorytm postępowania oceny bezpieczeństwa technicznego przejścia dla pieszych	208
Rysunek 89. Aplikacja wsparcia bezpieczeństwa ruchu – ocena bezpieczeństwa technicznego	209
Rysunek 90. Algorytm postępowania oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań pieszych	211
Rysunek 91. Aplikacja wsparcia bezpieczeństwa ruchu – ocena bezpieczeństwa zachowań pieszych.....	211
Rysunek 92. Algorytm postępowania oceny bezpieczeństwa w kontekście zachowań kierowców	213
Rysunek 93. Aplikacja wsparcia bezpieczeństwa ruchu – ocena bezpieczeństwa zachowań kierowców.....	214
Rysunek 94. Płytki radaru dla systemu zwiększającego bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego.....	219
Rysunek 95. Algorytm działania systemu.....	220
Rysunek 96. Schemat struktury systemu zwiększającego bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego.....	221
Rysunek 97. Obszar detekcji niechronionych uczestników ruchu drogowego oraz kierowców	222
Rysunek 98. Testy funkcjonalne adaptacyjnego systemu zwiększającego bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego.....	223
Rysunek 99. Widok trybu konfiguracji programu do pomiaru prędkości pojazdów przy użyciu detektora mikrofalowego	224

Rysunek 100. Widok trybu „Pomiar prędkości” programu obsługi detektora mikrofalowego - przyjazd pojazdu, prędkość 39 km/h	224
Rysunek 101. Prototyp systemu zwiększającego bezpieczeństwo niechronionych uczestników ruchu drogowego – testy systemu w warunkach rzeczywistych.....	225
Rysunek 102. Miejsce realizacji testów walidacyjnych systemu.....	226
Rysunek 103. Miejsce prowadzenia prób walidacyjnych	227
Rysunek 104. Zestawienie urządzeń systemu wsparcia bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego.....	227
Rysunek 105. Zdjęcie poglądowe pulsującego znaku VMS	230
Rysunek 106. Punkty fiksacji - znak VMS (badania walidacyjne).....	231

Spis wykresów

Wykres 1. Liczba wypadków śmiertelnych w poszczególnych krajach Unii Europejskiej w 2023 r. na milion mieszkańców	17
Wykres 2. Liczba incydentów na przejściach dla pieszych z udziałem pieszych w latach 2020-2022.....	62
Wykres 3. Porównanie wpływu rozpraszaczy na zachowania pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej.....	93
Wykres 4. Podsumowanie zachowań niebezpiecznych dla grupy 900 kierowców.....	96
Wykres 5. Wyniki analizy dla prędkości zbliżania się do przejścia dla pieszych.....	98
Wykres 6. Wyniki analizy dla prędkości zbliżania się do przejścia dla pieszych.....	98
Wykres 7. Przykładowe analizy prędkości zbliżania się pojazdów do badanego przejścia dla pieszych – Zdarzenie-4	99
Wykres 8. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – przyczyna wypadku	105
Wykres 9. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – czas posiadania uprawnień do kierowania pojazdem przez sprawców wypadków	106
Wykres 10. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – stan nawierzchni drogowej	106
Wykres 11. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – rodzaj drogi, na której doszło do zdarzeń	107
Wykres 12. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – wiek osób poszkodowanych - pieszych	108
Wykres 13. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – stan trzeźwości kierowców w momencie wystąpienia zdarzenia drogowego.....	109
Wykres 14. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia - zbyt długie przejście dla pieszych	110
Wykres 15. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – pasy zużyte, niewyraźne	110
Wykres 16. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – przejście zasłonięte przez pojazdy	111
Wykres 17. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – brak wygrodzeń, zbyt mały azyl	111
Wykres 18. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia –brak oświetlenia	112
Wykres 19. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – zestawienie sumaryczne.....	112
Wykres 20. Podsumowanie analizy 100 wypadków drogowych w odniesieniu okoliczności wystąpienia zdarzenia – zestawienie sumaryczne determinant bezpieczeństwa.....	113
Wykres 21. Płeć respondentów	114
Wykres 22. Wiek respondentów	114
Wykres 23. Status respondentów posiadających uprawnienia do kierowania pojazdami.....	115
Wykres 24. Liczba pokonanych kilometrów rocznie przez respondentów jako kierowców	115
Wykres 25. Występowanie wady wzroku u respondentów.....	116
Wykres 26. Doświadczenie udziału w wypadku drogowym wśród respondentów	116
Wykres 27. Odsetek respondentów będących naocznymi świadkami wypadków drogowych.	117
Wykres 28. Odsetek respondentów będących kierowcami zawodowym.....	117

Wykres 29. Struktura odpowiedzi na pytanie o pozytywny wpływ zmiany przepisów dotyczących pierwszeństwa pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej – dotyczy respondentów, którzy chociaż raz w życiu mieli kolizję/wypadek (n=227).	118
Wykres 30. Ocena wpływu zmiany przepisów dotyczących pierwszeństwa pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej według wieku respondentów	119
Wykres 31. Ocena pozytywnego wpływu zmiany przepisów dotyczących pierwszeństwa pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej w zależności od posiadania prawa jazdy	120
Wykres 32. Ocena wpływu zmiany przepisów dotyczących pierwszeństwa pieszych na przejściach dla pieszych bez sygnalizacji świetlnej – porównanie kierowców zawodowych i pozostałych osób	120
Wykres 33. Czynniki zwiększające ryzyko wypadku na przejściu dla pieszych – opinia respondentów	122
Wykres 34. Czynniki zwiększające ryzyko wypadków na przejściach dla pieszych – opinia respondentów, którzy chociaż raz w życiu brali udział w kolizji, wypadku drogowym n=227, 704 wskazania przez tę grupę, wskazania te mają istotny wpływ na zwiększenie ryzyka.	124
Wykres 35. Ocena zagrożenia wystąpienia wypadku związanego z korzystaniem z telefonu podczas prowadzenia pojazdu mechanicznego	125
Wykres 36. Badania świadomości polskich uczestników ruchu drogowego w odniesieniu do prędkości i potencjalnych konsekwencji najechania pojazdem na niechronionego uczestnika ruchu drogowego.....	127
Wykres 37. Pytanie dotyczące badania świadomości i doświadczeń w ruchu drogowym, grupa 555 uczestników.....	127
Wykres 38. Porównanie odczuć jazdy na symulatorze w stosunku do poruszania się konwencjonalnym samochodem osobowym (grupa badanych z wypadkiem)	130
Wykres 39. Czytelność piktogramu i napisu podczas badania	131
Wykres 40. Wybór pomiędzy piktogramem lub napisem.....	131
Wykres 41. Krzywa redukcji prędkości	136
Wykres 42. Porównanie marginesu czasu do zderzenia dla kierowców p01 oraz p12 (70 km/h)	138
Wykres 43. Porównanie marginesu czasu do zderzenia dla kierowców p01 oraz p12 (50 km/h)	139
Wykres 44. Porównanie marginesu czasu do zderzenia dla kierowców p01 oraz p12 (90 km/h)	140
Wykres 45. Zmiany średnicy źrenicy w czasie – przejazd badanego kierowcy Chorzów Batory	166
Wykres 46. Skupienie wzroku badanego kierowcy – przejazd badanego kierowcy Chorzów Batory.....	166
Wykres 47. Zmiana średnicy źrenicy oraz pozycji wzroku w czasie – przejazd badanego kierowcy Chorzów Batory (mężczyzna 63 lata).....	169