



**Politechnika
Śląska**

**DYSCYPLINA NAUKOWA
INŻYNIERIA LĄDOWA I TRANSPORT**

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Jacek Rozmus

**Metoda oceny i doboru komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach
kolejowo-drogowych**

The method of evaluation and selection of a variable message sign content at level
crossings

Promotor
dr hab. inż. Rafał Burdzik, prof. PŚ

Promotor pomocniczy
dr inż. Ireneusz Celiński

Katowice 2022

Podziękowania

Dziękuję Rodzinnie, Promotorowi i Promotorowi Pomocniczemu.

SPIS TREŚCI

Streszczenie	5
Spis zastosowanych oznaczeń	7
1. Wstęp	9
1.1 Geneza oraz uzasadnienie wyboru tematu	13
1.2 Cel rozprawy	14
1.3 Teza pracy	18
2. Aktualny stan zagadnienia	20
2.1 Przegląd literatury	20
2.2 Omówienie podstawowych terminów stosowanych w pracy	22
2.2.1 Rozpoznawanie znaków drogowych pionowych i poziomych	22
2.2.2 Rozpoznawanie znaków VMS, DMS	23
2.2.3 Czas reakcji i uważność kierujących pojazdami	25
2.3.1 Techniki Eye Trackingowe	29
2.3.2 Pozyskiwanie danych z magistrali CAN	31
2.3.3 Wspomaganie wibroakustyczne	33
2.3.4 Techniki wizyjne	33
3. Zakres i plan badań	35
4. Metoda i model oceny komunikatu znaku zmiennej treści	37
4.1 Metoda oceny komunikatu	37
4.2 Model doboru treści komunikatu	49
4.3 Czasy reakcji	53
4.4 Odległości reakcji	59
5. Badania empiryczne	61
5.1. Badania postrzegania sceny ruchu PKD przez uczestników ruchu drogowego	62

5.2	Badania charakterystyki ruchu pojazdów i pieszych na PKD	86
5.3	Badanie postrzegalności VMS na PKD	88
5.4	Badania ankietowe postrzegania treści komunikatów	90
5.5	Badania pilotażowe znaków zmiennej treści – usytuowanie lica znaku i ocena komunikatów	99
5.6	Badania zasadnicze znaków zmiennej treści – metoda oceny i doboru komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych.....	139
5.6.1	Zasadnicze badania ET	143
5.6.2	Badania reakcji kierowców na komunikat znaku zmiennej treści.....	151
6.	Walidacja metody i modelu doboru komunikatu znaku VMS	163
7.	Wnioski, kierunki dalszych prac	171
8.	Bibliografia (APA style).....	174
9.	Spis tabel	188
10.	Spis rysunków	189
11.	Źródło finansowania badań	192
12.	Załączniki (pliki z danymi).....	193

Streszczenie

Tytuł: **Metoda oceny i doboru komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych**

W rozprawie szczegółowo opisano metodę oceny i doboru komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych. Metoda ta pozwala na dobór odpowiedniego komunikatu znaku zmiennej treści, podnoszącego poziom bezpieczeństwa kierowców pojazdów kołowych, poprzez zweryfikowanie procesu decyzyjnego kierowcy pojazdu kołowego w bezpośrednim otoczeniu przejazdów kolejowo - drogowych.

Na potrzeby rozprawy powstały terenowe poligony badawcze odzwierciedlające warunki rzeczywiste oraz wykorzystano kierujących w różnym przedziale wiekowym i różnej płci. Dzięki wykorzystaniu różnego rodzaju technik pomiarowych zebrano dane, które pozwoliły na jednoznaczną ocenę zachowań oraz czasów reakcji kierującego pojazdem kołowym na komunikat znaku zmiennej treści (VMS) w przedpolu przejazdu kolejowo-drogowego (PKD).

W rozdziale pierwszym rozprawy omówiono genezę powstania rozprawy, jak również cel, zakres i tezę. Rozdział drugi stanowi przegląd literatury obrazujący sposoby i procesy pozyskiwania niezbędnych danych do zobrazowania procesu decyzyjnego kierowcy. W rozdziale trzecim przedstawiono zakres i plan badań. W rozdziale czwartym szczegółowo opisano opracowaną metodę i model oceny komunikatu znaku zmiennej treści oraz zdefiniowano podstawowe pojęcia przyjęte do celów realizacji badań. W rozdziale piątym przedstawiono badania empiryczne w podziale na 6 etapów. Rozdział piąty przedstawia sposób pomiaru różnych charakterystyk narządu wzroku oraz reakcji motorycznych kierowców pojazdów kołowych na bodźce zewnętrzne wywołane komunikatami wyświetlanymi na znaku VMS na przedpolu przejazdu kolejowo-drogowego, zachowaniem pieszych oraz otoczeniem jezdni. Analiza danych zebranych na poligonach badawczych precyzyjnie formułuje kolejne składowe czasu reakcji i sposób reakcji badanych kierowców wyznaczając kierunek do wyciągnięcia wniosków z niniejszej rozprawy. Ostatni etap badań został opisany w rozdziale szóstym, który prezentuje procedurę i wyniki walidacji metody i modelu doboru komunikatu znaku VMS, realizowaną w warunkach *in situ* na prawdziwym przejeździe kolejowo-drogowym kategorii D. W rozdziale siódmym przedstawiono wnioski końcowe i wskazano kierunki dalszych badań.

Abstract

Title: Method of evaluation and selection of a variable message sign content at level crossings

The dissertation describes in detail the method of evaluation and selection of the variable message sign message on rail-road crossings. This method allows for the selection of an appropriate variable message sign, increasing the safety level of wheeled vehicle drivers by verifying the decision-making process of the wheeled vehicle driver in the immediate vicinity of rail-road crossings.

For the purposes of the dissertation, field testing grounds were created that reflect real conditions, and drivers of various age groups and sexes were used. Thanks to the use of various types of measurement techniques, data was collected that allowed for an unambiguous assessment of the behavior and reaction times of the driver of a wheeled vehicle to the message of the variable message sign (VMS) in the foreground of the rail-road crossing (PKD).

The first chapter of the dissertation discusses the genesis of the dissertation, as well as its purpose, scope and thesis. The second chapter is a literature review showing the methods and processes of obtaining the necessary data to illustrate the driver's decision-making process. The third chapter presents the scope and plan of the research. The fourth chapter describes in detail the developed method and model for evaluating the message of the variable message sign and defines the basic concepts adopted for the purpose of the research. The fifth chapter presents empirical research divided into 6 stages. The fifth chapter presents the method of measuring various eye characteristics and motor reactions of drivers of wheeled vehicles to external stimuli caused by messages displayed on the VMS sign in the foreground of the rail-road crossing, the behavior of pedestrians and the surroundings of the road. The analysis of the data collected on the testing grounds precisely formulates the subsequent components of the reaction time and the manner of reaction of the tested drivers, setting the direction for drawing conclusions from this dissertation. The last stage of the research is described in the sixth chapter, which presents the procedure and results of validation of the method and model for selecting the VMS sign, performed in situ on a real road-rail crossing of the D category. Chapter seven presents the final conclusions and indicates the directions for further research.

Spis zastosowanych oznaczeń

A9 – znak „przejazd kolejowy z zaporami”

A10 - znak „przejazd kolejowy bez zapor”

ADP - zbiór danych z systemu autodiagnostyki pojazdu

B20 - znak "STOP" zgodnie z Kodeksem Drogowym

CAN – ang. Control Area Network, szeregową magistrala komunikacyjną i standard komunikacji między elektronicznymi modułami sterującymi w pojazdach samochodowych

EEG - nieinwazyjna metoda diagnostyczna służąca do badania bioelektrycznej czynności mózgu za pomocą elektroencefalografu

EMG - diagnostyka czynności elektrycznej mięśni i nerwów obwodowych (elektroencefalografia) za pomocą urządzenia wzmacniającego potencjały bioelektryczne mięśni i nerwów – elektromiografu.

ET – ang. Eye Tracking, technologia śledzenia wzroku, która wykorzystuje urządzenie zwane eyetrackerem

G-1a - znak, słupek wskaźnikowy z trzema kreskami umieszczany po prawej stronie jezdni, który informuje o zbliżaniu się do przejazdu kolejowego

G-1b - znak, słupek wskaźnikowy z dwiema kreskami umieszczany po prawej stronie jezdni, który informuje o zbliżaniu się do przejazdu kolejowego

G-1c - znak, słupek wskaźnikowy z jedną kreską umieszczany po prawej stronie jezdni, który informuje o zbliżaniu się do przejazdu kolejowego

IPS – system identyfikacji pojazdu szynowego informujący użytkowników ruchu kołowego i pieszych o zbliżającym się pojeździe szynowym na przejazdach kolejowo-drogowych kat. D

IR – iloczyn ruchu; iloczyn liczby pojazdów drogowych i pociągów przejeżdżających przez przejazd kolejowo-drogowy w ciągu doby

OBD – On-Board Diagnostics, złącze diagnostyczne w samochodach, pozwalające na połączenie zewnętrznych urządzeń diagnostycznych do komputera pojazdu

PKD – przejazd kolejowo-drogowy

SDPK - sygnalizator drogowy przejazdu kolejowego

UTK – Urząd Transportu Kolejowego

WGS 84 - zbiór parametrów (z 1984) określających wielkość i kształt Ziemi oraz właściwości jej potencjału grawitacyjnego. Elipsoida WGS-84 jest podstawowym układem odniesienia w systemach nawigacji satelitarnej.

VMS – znak zmiennej treści (variable message sign)

1. Wstęp

Analiza i zachowanie bezpieczeństwa w transporcie stanowi fundament podczas planowania, projektowania, tworzenia i eksploatacji systemów transportowych. Potencjalne punkty w których dochodzi do zagrożenia ruchu, to nie tylko skrzyżowania dróg kołowych ale również przejazdy kolejowo-drogowe (PKD). Na skrzyżowaniach dróg kołowych z kolejowymi w ostatnich latach obserwuje się wzrost liczby wypadków w tym ofiar śmiertelnych.

W Polsce skrzyżowanie linii kolejowych z drogami występuje w ponad 12 100 miejscach. Rok 2020 r. to około 62% wypadków na przejazdach kolejowo-drogowych odnotowano na przejazdach kategorii D. W tabeli 1 przedstawiono dane nt. liczby wypadków, osób ciężko rannych i ofiar śmiertelnych na przejazdach kolejowo-drogowych w miejscach do tego przeznaczonych, w latach od 2010 do 2022 (do kwietnia). Analizując bezpieczeństwo w transporcie kolejowym należy także uwzględnić wypadki w miejscach niedozwolonych, jednak to stanowi odrębny obszar badawczy.

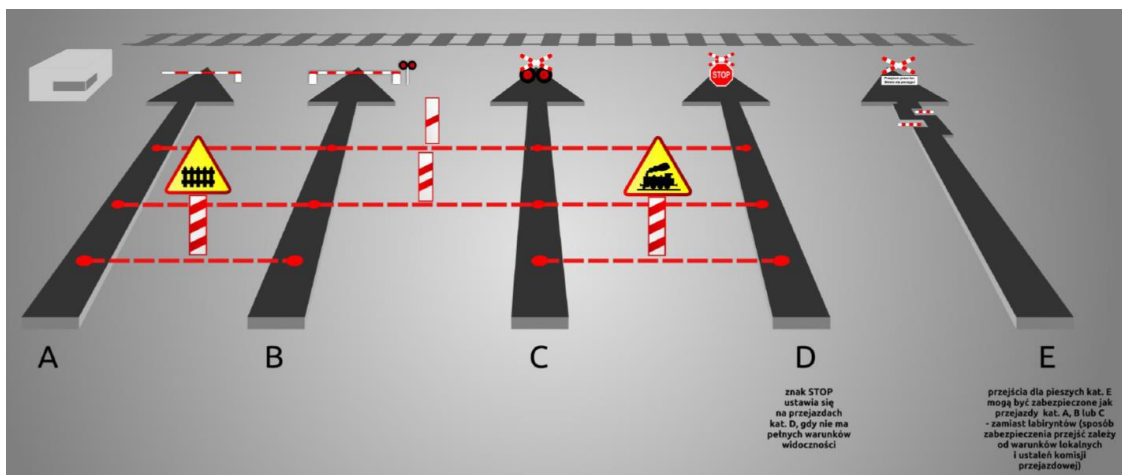
Tabela 1. Liczba wypadków i kolizji, zabitych, ciężko rannych w latach 2010 do 2022 (do kwietnia)

Rok	Liczba ogółem (wypadki i kolizje)	Ofiary śmiertelne	Ciężko ranni
2010	289	52	56
2011	240	62	51
2012	257	59	36
2013	231	49	36
2014	200	42	24
2015	189	55	40
2016	198	48	37
2017	201	42	29
2018	205	49	32
2019	185	55	19
2020	158	44	20
2021	194	49	17
2022 (do IV)	53	12	10

Źródło: <https://www.bezpieczny-przejazd.pl/o-kampanii/statystyki/>

Kategoryzacja przejazdów kolejowych na podstawie ustalonego iloczynu ruchu pozwala w sposób prewencyjny zwiększyć bezpieczeństwo (Rys. 1). Analizując poszczególne kategorie przejazdów oraz proces podejmowania decyzji przez kierowców możemy zauważyć, że o ile na przejazdach kategorii: A, B, C proces ten jest „wspomagany” zaporami, sygnalizacją świetlną, znakami pionowymi, oświetleniem przedpola przejazdu to w przypadku kategorii D kierowca podejmuje decyzję tylko i wyłącznie w oparciu o znaki pionowe i dostępną widoczność przedpola PKD. Każdy kierowca niezależnie od wieku, warunków atmosferycznych, topografii terenu znajdując się w przedpolu przejazdu kolejowego kategorii D analizuje niezależnie proces przejazdu przez przejazd, podejmując nie zawsze właściwą decyzję, co pokazują statystyki przedstawione w tab. 1.

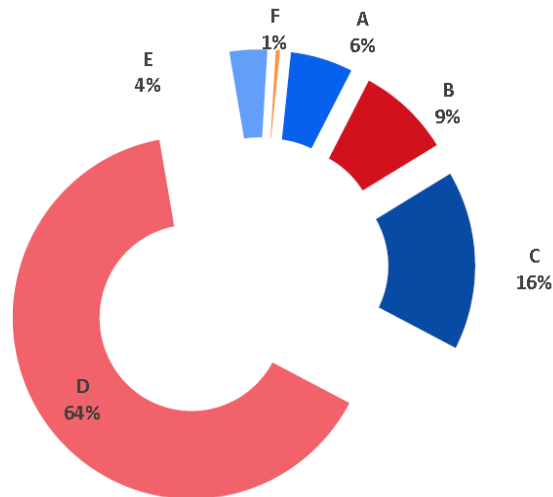
Każdy przejazd kolejowy to skrzyżowanie linii kolejowej z drogą publiczną tak na jednym jak i różnych jej poziomach. Ustalając kategorię przejazdu kolejowego uwzględniamy między innymi następujące czynniki: liczbę torów i dopuszczalne prędkości transportu kolejowego, kategorię drogi kołowej, warunki widoczności oraz iloczyn ruchu na przejeździe kolejowym. Iloczyn ruchu na przejeździe (IR) to współczynnik, który jest iloczynem średniodobowego natężenia ruchu drogowego i średniodobowego natężenia ruchu kolejowego.



Rys. 1. Kategoryzacja przejazdów kolejowych

źródło: UTK

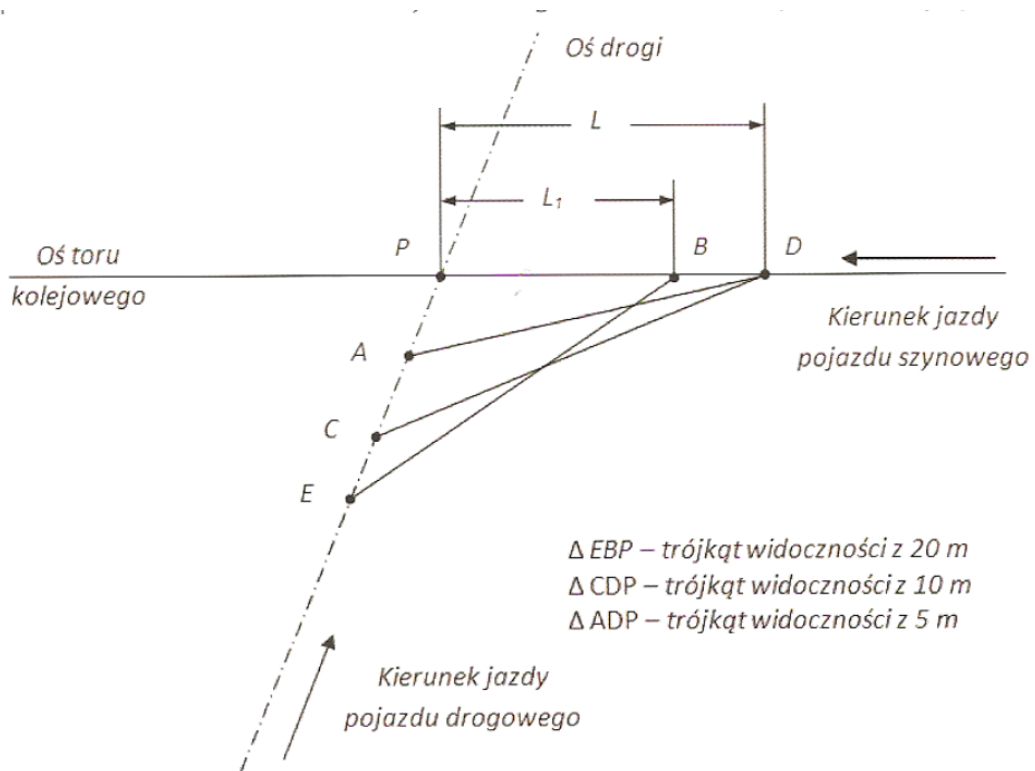
Proces podejmowania decyzji przez kierowcę ma szczególne znaczenie na przejazdach kolejowo-drogowych kategorii D i E, co najlepiej obrazują dane statystyczne dotyczące wypadkowości przedstawione na rysunku 2.



Rys. 2. Udział procentowy wypadków na przejazdach i przejściach przez tory w podziale na ich kategorie

źródło: dane UTK z okresu 2013 - 2018

Bezpieczeństwo ruchu na PKD warunkowane jest szeregiem czynników. Podstawowym czynnikiem wpływającym na bezpieczeństwo ruchu kolejowego jest stan techniczny infrastruktury kolejowej. Inne ważne czynniki wpływające na ruch kolejowy i jego bezpieczeństwo to: stan taboru i organizacja ruchu. Organizacja ruchu na PKD jest wariantowana, przy czym wg badań statystycznych najbardziej niebezpieczne w tym zakresie są PKD kategorii D. W przypadku bezpieczeństwa na PKD kategorii D kluczowe staje się właściwe podejmowanie decyzji, głównie przez kierujących pojazdami drogowymi. Najbardziej istotnym czynnikiem uwzględnianym w podejmowaniu tych decyzji jest informacja o zbliżającym się pojeździe szynowym, która w przypadku PKD kategorii D-F silnie uzależniona jest od widoczności [130]. W tym celu wprowadzono pojęcie trójkąta widoczności. W przypadku PKD kategorii D wymagane jest, żeby w normalnych warunkach atmosferycznych (bez opadów i mgły) czoło zbliżającego się pojazdu szynowego, lub jego latarnie sygnałowe, było widoczne dla kierowcy pojazdu drogowego z odległości minimum 20 m, mierzonej od skrajnej szyny wzdłuż osi jezdni. Widoczność pojazdu szynowego musi być zagwarantowana przez cały czas zbliżania się do PKD od określonej minimalnej odległości (20m dla kat. D). Geometryczne warunki widoczności przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3 Geometria trójkąta widoczności czola pojazdu szynowego

Źródło: [130]

Przejazdy kolejowe kategorii E to przejścia przez tory użytku publicznego, które mogą być wyposażone w sygnalizację świetlną, roгатki, kołowrotki, barierki lub labirynty. W tym przypadku przez kierowców można rozumieć rowerzystów lub osoby kierujące hulajnogami, coraz częściej elektrycznymi. Trójkąt widoczności oczywiście istotny jest także dla pieszych. Przejazdy kategorii F to przejazdy kolejowo-drogowe i przejścia zlokalizowane na drogach wewnętrznych, które mogą być zabezpieczone, zgodnie z umową między zarządcą kolei a użytkownikiem przejazdu kolejowo-drogowego lub przejścia, stale zamkniętymi roгатkami lub zgodnie z warunkami technicznymi określonymi dla kategorii A lub B.

Na liniach kolejowych, różnych zarządców infrastruktury obserwowana jest mała liczba systemów monitorujących bezpieczeństwo na PKD. Dotyczy to zwłaszcza przejazdów kategorii D. Dlatego tak istotna jest problematyka implementacji innowacyjnych systemów wspomagających bezpieczeństwo na tych obiektach.

Spośród wymienionych wyżej aspektów bezpieczeństwa ruchu na PKD dobrze zarządzanych na obszarze kraju jest kilka. Implikuje to konieczność prowadzenia dalszych prac w kierunku

doskonalenie bezpieczeństwa ruchu drogowego na PKD. Przejazdy kolejowo-drogowe są w tym aspekcie szczególnym elementem infrastruktury transportu.

Najważniejsze w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego są działania w obrębie infrastruktury drogowej. To jest podstawa prowadzenia dalszych działań. Dotyczy to głównie projektowania infrastruktury zapewniającej warunki bezpiecznego użytkowania dróg. Często projektowana jest ta infrastruktura w taki sposób, aby wymusić bezpieczne zachowania po stronie uczestników ruchu drogowego. Działania są więc wielopoziomowe, polegają na szeregu działań informacyjnych (np. kampanii informacyjne w mediach) oraz działaniach prewencyjnych (rozbudowa infrastruktury poprzez zmianę kategorii przejazdów na wyższą zwiększającą bezpieczeństwo).

W ostatnich latach istotne stają się zagadnienia modernizacji i rozwoju infrastruktury drogowej w zakresie elementów punktowych infrastruktury drogowej o wysokim poziomie zagrożenia zdarzeniami drogowymi i wypadkami. Takimi elementami są niewątpliwie przejazdy kolejowo-drogowe, a zwłaszcza kategorii D. Ponadto w tych punktach sieci transportowej dochodzi do wypadków o dużej ciężkości następstw.

1.1 Geneza oraz uzasadnienie wyboru tematu

Genezą niniejszej dysertacji doktorskiej są prace projektowe Autora związane ze zwiększeniem poziomu bezpieczeństwa przejazdów kolejowych kategorii D poprzez budowę systemów informacyjnych wyposażonych w znaki VMS. System tego typu działa przez zastosowanie odpowiednich komunikatów o zagrożeniach wyświetlanych na znakach zmiennej treści. Takim komunikatem może być treść: Uwaga pociąg. Jest to informacja wspomagająca proces podejmowania decyzji na PKD przez kierującymi pojazdami drogowymi.

Aktualnie ustawodawstwo na terenie RP, nie przewiduje metodyki doboru komunikatów w środowisku rzeczywistym na znakach zmiennej treści dla przejazdów kolejowo-drogowych.

W niniejszym opracowaniu podjęto analizę postrzegania przez kierowców komunikatów eksponowanych przez znaki zmiennej treści (ang. Variable Message Signs - VMS) oraz doboru treści tych znaków w aspekcie poprawności założonej reakcji. Treść komunikatu ma z założenia wymuszać określone reakcje po stronie kierujących pojazdami. Jako studium przypadku przyjęto kilka rozwiązań poligonowych odwzorowujących różne PKD , na których

zastosowano znaki VMS. Na znakach wyświetla się różne warianty treści komunikatów, analizując reakcje kierujących na te treści.

Zebrane dane na temat reakcji kierujących w odpowiedzi na odpowiednie treści w określonych kontekstach sytuacyjnych mogą posłużyć do poznania rzeczywistego procesu podejmowania decyzji przez kierujących pojazdami, co w rezultacie pozwoli na stworzenie innowacyjnego systemu informacyjno-ostrzegawczego dla przejazdów kat. D. System ten, zdaniem Autora, przyczyni się do poprawy bezpieczeństwa ruchu na PKD kat. D.

Na uwagę zasługuje również fakt iż ograniczenia techniczno-finansowe przy budowie bezpiecznych przejazdów kolejowo-drogowych nie pozwalają na zaawansowaną zabudowę systemową przejazdu w każdej istotnej lokalizacji z punktu widzenia bezpieczeństwa użytkowników ruchu.

Asumptem do podjęcia przedmiotowych badań są prace techniczno-eksploatacyjne, prowadzone przez Autora na przejazdach kolejowych oraz prace przy usuwaniu skutków wypadków na PKD. Doświadczenie Autora wskazuje, że jedną z głównych przyczyn zdarzeń i wypadków na PKD kat. D. jest (poza brawurą i beżmyślnością) brak wspomagania decyzji kierujących pojazdami kołowymi.

1.2 Cel rozprawy

Podstawowym celem niniejszej dysertacji doktorskiej jest opracowanie metody i modelu oceny doboru komunikatów dla znaków zmiennej treści zlokalizowanych na przejazdach kolejowo-drogowych. Nie jest to cel trywialny z uwagi na liczbę możliwych sytuacji na PKD jak również możliwe do wyświetlenia treści komunikatów. Wpływ na percepcje treści komunikatu ma także szereg innych czynników opisanych dalej w pracy.

W pracy określono również cel użyteczny, w formie oceny doboru treści komunikatów znaków zmiennej treści w kontekście minimalizacji czasu reakcji kierujących i poprawności zrozumienia komunikatu. Wyróżniono po stronie kierujących pojazdami kołowymi procesy postrzegania znaku/komunikatu i percepcji treści komunikatu. Jak również sparametryzowano ich reakcje w tym kontekście z wykorzystaniem technologii z branży automotive.

Znaki zmiennej treści (VMS) mogą stanowić dodatkowe wyposażenie dla różnych rodzajów systemów przejazdowych, pełniąc funkcje wspomagania i ostrzegania użytkowników ruchu drogowego przed zbliżającym się do przejazdu kolejowo-drogowego pojazdem szynowym.

Kryterium doboru treści komunikatu do wyświetlenia na znaku VMS może być minimalizacja czasu reakcji użytkowników drogi. Znak i komunikat powinien zostać tak dobrany, aby minimalizować czas reakcji kierującego pojazdem/pieszego na wyświetlane treści oraz aby jego intuicyjność skutkowała poprawnością zakładanej reakcji (zgodnością).

W procesie ostrzeżenia przy wykorzystaniu VMS określono trzy zasadnicze problemy:

- dobór lokalizacji i parametrów fizycznych znaku VMS w stosunku do osi i przekroju drogi,
- dobór treści komunikatu wyświetlanego na znaku VMS w określonym kontekście sytuacyjnym,
- dobór odpowiedniej grafiki znaku zmiennej treści lub kombinacji grafiki i komunikatu.

W tym pierwszym przypadku organizator ruchu na PKD nie ma szerokiego pola manewru w celu minimalizacji czasu reakcji. Co najwyżej może zadbać o odpowiednią konfigurację przestrzenną znaku w odniesieniu do geometrii PKD, odpowiednie wymiary znaku i zastosowanie ewentualnych powtarzaczy i sygnałów dodatkowych na drogach dojazdowych do PKD.

W zakresie wyświetlanych treści należy zbadać ich wpływ na czas i poprawność reakcji kierujących pojazdami i pieszych zbliżających się do PKD. Z uwagi na obserwowane prędkości na drodze (jej poszczególnych użytkowników), w praktyce czas reakcji kierujących pojazdami jest istotny z punktu widzenia doboru treści i grafiki komunikatu dla znaku VMS, zwłaszcza dla dróg z dopuszczalnymi prędkościami powyżej 40 km/h.[18]

Problem można przedstawić również w formie zagadnienia maksymalizacji odległości kierującego w chwili reakcji od miejsca posadowienia znaku (widzialności).

Wynikiem realizacji badań opisanych w niniejszej pracy jest opracowanie metody i modelu oceny (doboru) treści komunikatów wyświetlanych na znakach VMS lokalizowanych na PKD. Stanowi to istotny wkład naukowy w zakresie poprawy bezpieczeństwa ruchu na PKD. W zakresie praktycznym dotyczy to także optymalizacji lokowania znaków VMS w obszarze PKD w przyległym pasie drogowym, optymalizacji typu i parametrów wyświetlaczy, optymalizacji toru jazdy pojazdów przed PKD, doboru odpowiedniego oświetlenia na przejazdach.

W pracy problem ten ograniczono do zastosowania jednego typu wyświetlacza VMS – skupiając się wyłącznie na doborze usytuowania lica znaku w stosunku do osi jezdni i przekroju jezdni oraz treści wyświetlanych komunikatów. W praktyce najlepsze wyniki osiągnięto dla lokalizacji znaków VMS po prawej stronie jezdni. W dalszym opisie badań skupiono się zatem na analizie doboru komunikatu do znaku VMS.

Celem perspektywicznym opracowania metody oceny doboru treści komunikatów znaków zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych jest poprawa bezpieczeństwa na PKD, w szczególności na przejazdach kategorii D. Zdaniem Autora, lepiej percypowany komunikat powoduje zwiększenie bezpieczeństwa ruchu na PKD.

W odniesieniu do postawionego w dysertacji celu sformalizowany został model doboru treści komunikatu VMS na PKD. W tym modelu uwzględniono obliczenia czasu reakcji na wyświetlane treści komunikatów i odległości miejsca reakcji od lica znaku. W obliczeniach wykorzystano szerokie spektrum zmiennych objaśniających, pozyskiwanych z wykorzystaniem takich technik badawczych jak:

- Eye Tracking (ET) – badano parametry narządu wzroku kierujących pojazdami drogowymi,
- techniki wizyjne -badano komponenty behawioralne kierujących, jak np. reakcje związane z obsługą urządzeń pokładowych,,
- analizy sygnałów pomiarowych poruszania się pojazdu z wykorzystaniem magistrali (CAN - Control Area Network, OBD – On-Board Diagnostics),
- analizy sygnału GPS (lokalizacja pojazdu na drodze przed PKD),
- pomiary z wykorzystaniem mikroradarów, (prędkość pojazdu na drodze przed PKD),
- analiza drgań pojazdu w trzech ortogonalnych osiach,
- wykorzystanie sygnałów akustycznych jako znaczników czasowych komunikatów kierowców (analiza w tzw. kanale werbalnym, ta problematyka opisana została szczegółowa dalej).

Kryterium realizacji celu pracy jest zasadny wybór odpowiednich treści komunikatów ze zbioru komunikatów możliwych do zastosowania - wyświetlenia na PKD w kontekście zdarzeń jakie zachodzą w okresie ich eksploatacji. W związku z czym w pracy definiowany jest zbiór komunikatów dopuszczalnych, który z wykorzystaniem prezentowanej w pracy metody jest następnie ograniczany z wykorzystaniem zastosowanych miar oceny. Wybrano treści komunikatów, możliwie najlepiej opisujących zdarzenia zachodzące na PKD.

W trakcie badań określano następujące miary oceny:

- średniej odległości reakcji,
- średniego czasu reakcji,
- czas widzialności znaku,
- czas rozpoznawalności treści komunikatu,
- czas intuicyjności komunikatu,
- czas skuteczności komunikatu,
- zgodność reakcji.

Należy nadmienić, że znając prędkość poruszającego się pojazdu wszystkie miary czasu mogą być przeliczane na miary odległości, co z punktu widzenia lokalizacji znaków w środowisku infrastruktury drogowej, dla znanej prędkości dopuszczalnej w danej lokalizacji, jest istotną informacją techniczną.

W celu realizacji pomiarów i analizy wyników sformułowano następujące definicje przyjętych miar.

Czas widzialności znaku jest to czas liczony od początku próby (początek jazdy w wyznaczonej odległości) do czasu zauważenia znaku VMS. Ten czas jest silnie zależny od rozmiaru i lokalizacji znaku VMS oraz warunków otoczenia (ukształtowanie terenu, roślinność) i warunków atmosferycznych.

Czas rozpoznawalności treści komunikatu to czas mierzony od momentu zauważenia znaku VMS do momentu zrozumienia treści komunikatu. Przez zrozumienie należy rozumieć percepcje przesłania zawartego w komunikacie dla VMS. Ten proces może być mierzony automatycznie lub deklaratywnie, poprzez stosowny komunikat kierującego pojazdem.

Ten czas może być ponadto miarą czytelności komunikatu (np. różnica w liczbie znaków liter w komunikacie, czytelność piktogramu w pływa na te czasy itp.)

Czas intuicyjności komunikatu to czas liczony od momentu zrozumienia treści komunikatu do momentu inicjacji reakcji zgodniej z treścią komunikatu. Ten czas może być miarą doboru treści komunikatu pod kątem intuicyjnej „rozumiałości” (np. rozumienie komunikatu sprawdź pasy – dla jednego to sprawdzenie zapięcia dla innego sprawdzenie naprężenia pasa lub intuicyjne zrozumienie (czas reakcji) na komunikat STOP lub HAMUJ lub ZATRZYMAJ POJAZD).

Czas skuteczności komunikatu to czas mierzony od momentu inicjacji reakcji zgodniej z treścią komunikatu do czasu zakończenia manewru. Ten czas może pozwalać na ocenę treści komunikatu pod kątem skuteczności egzekucji (wykonalności). Jest on istotny dla znaków „natychmiastowych”, np. STÓJ! Gdzie dobór komunikatu ma zminimalizować czas realizacji. Podczas badań prowadzonych w ramach realizacji rozprawy doktorskiej czas ten nie był analizowany ponieważ jest on silnie zależy od naturalnego czasu reakcji kierowcy, stylu jazdy i parametrów funkcjonalno-konstrukcyjnych zespołów pojazdu. Tego typu analizy wymagały by próby odzwierciedlającej dane populacyjne, co z kolei negatywnie wpływało by na pomiary z wykorzystaniem np. Eye Trackingu (niepotrzebna przewlekłość badań).

Zgodność reakcji jest miarą intuicyjności zrozumienia komunikatu i poprawności reakcji z zakładanymi oczekiwaniami.

1.3 Teza pracy

Możliwość zasadnego doboru odpowiednich treści komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych ma istotne znaczenie dla poprawy bezpieczeństwa ruchu kołowego na tych obiektach infrastruktury transportowej. Podstawą doboru jest ocena treści tych komunikatów zaproponowana w niniejszej rozprawie na podstawie zdefiniowanych miar czasowo-przestrzennych. Dobór treści komunikatów realizowany jest na podstawie miar czasu i odległości reakcji kierujących pojazdami zbliżającymi się do PKD.

W zawiązku z tym w niniejszej dysertacji doktorskiej sformułowano następującą tezę:

Istnieje możliwość doboru i oceny komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych na podstawie miar czasu i zgodności reakcji z komunikatem przez kierowców pojazdów drogowych

W celu weryfikacji tak sformułowanej tezy przyjęto następujące założenia i hipotezy badawcze. Założono, że czas reakcji kierowcy zależy od przyjętych zmiennych objaśniających:

- treści komunikatu,
- formatu komunikatu (w tym: liczba linii, rozmiar, krój liter, łączenie znaków i obrazów, kolorystyka i inne),
- stanu wzroku kierowcy,
- parametrów fizykalnych komunikatu wynikających z cech konstrukcyjnych znaku VMS (luminancja, miganie, wypełnienie pikseli itp.),
- widoczności znaku,
- geometrii podejścia do przejazdu kolejowo-drogowego,
- miejsca i wysokości lokalizacji znaku VMS w pasie drogowym,
- warunków atmosferycznych,
- parametrów psychofizycznych kierowcy,
- warunków ruchu na drodze (w tym: natężenia, struktury kierunkowej, struktury rodzajowej),
- prędkości dopuszczalnej na drodze i obserwowanej w strumieniu ruchu.

Przyjęto następujące hipotezy badawcze:

H1:

Postrzeżenie i percepcja komunikatu znaku zmiennej treści zależy od typografii i lokalizacji znaku.

H2:

Zgodność z oczekiwaniami pożądanego reakcji kierowców zależy od treści komunikatu znaku VMS.

H3:

Stopień postrzeżenia i percepcji komunikatu znaku zmiennej treści może być określony z wykorzystaniem połączenia analizy danych z informacji werbalnych kierujących pojazdami kołowymi, Eye Trackingu, technik audiowizualnych, technik wibroakustycznych i danych pochodzących z magistrali CAN (odczyt parametrów trakcyjnych pojazdu).

Powyższa teza rozprawy jest udowadniana na podstawie pomiaru średniej odległości reakcji kierowcy i czasu oraz zgodności tej reakcji na wyświetlane dynamicznie treści różnych komunikatów na znaku zmiennej treści w badanej próbie. Pomiar średniej odległości reakcji i czasu reakcji realizowany jest jednocześnie z wykorzystaniem danych w kilku torach informacyjnych (werbalny, ET, CAN, drgania itp.).

Z kolei analiza i optymalizacja treści komunikatu będzie przedmiotem kolejnych rozszerzonych badań Autora w kolejnych latach. Te badania wymagają zaangażowania większych środków i przebadania większej próby reprezentatywnej kierowców na PKD. Prezentowane tu badania i szeregowanie treści komunikatów dla znaku VMS należy określić mianem rankingu prowadzonego na podstawie kilku podstawowych charakterystyk.

2. Aktualny stan zagadnienia

2.1 Przegląd literatury

Tematyka doboru znaku zmiennej treści ma szeroki kontekst badawczy, dotyczy różnych zagadnień od technik wizyjnych po opracowania z nurtu kognitywistycznego. W przeglądzie literatury uwzględniono dotychczas opublikowane badania w tym zakresie. Uwzględniono również publikacje związane z proponowanym do zastosowania w niniejszej rozprawie aparatem badawczym. Aparat ten, zaproponowany w celu doboru treści komunikatów dla VMS, oparty został na kilku zupełnie odmiennych technologiach: Eye Trackingu, aparaturze diagnostycznej pojazdów samochodowych oraz wykorzystaniu czujników wibroakustycznych. Patrząc wstecz, rozpoznawanie znaków drogowych było badane w odniesieniu do ich lokalizacji w przestrzeni fizycznej (fakt rozpoznania znaku jako takiego w środowisku sieci drogowej w kontekście jego lokalizacji przestrzennej), jego kształtu i barwy. Jest to badanie binarne, albo znak zostaje rozpoznany, albo nie.

Po wprowadzeniu do powszechnego użytku znaków zmiennej treści przedmiotem zainteresowania badaczy stał się stosowany piktogram i komunikat wyświetlany na licu (tablicy) takiego znaku. W zakresie barwy z uwagi na stosowane normatywy te badania mają ograniczone znaczenie. Na marginesie należy zauważyć, że takie ograniczenia występują również dla piktogramów i treści tekstowych stosowanych na znakach jakkolwiek występują tu duża różnorodność tych elementów.

Z procesem percepcji znaku drogowego lub komunikatu wyświetlanego na tablicy zmiennej treści związane są procesy kognitywne i wynikające z nich reakcje kierujących pojazdami. Kiedyś te badania bez dostępności prostych technik biometrycznych i autodiagnostycznych pojazdów były niezmiernie problematyczne. Teraz przy szerokiej dostępności mobilnych narzędzi dla badań typu: ET, EEG, autodiagnostycznych, badania behawioralne i kognitywne kierujących pojazdami drogowymi są znacznie bardziej dostępne.

Badaczy interesuje obecnie, nie tylko gdzie, kiedy, ale również w jaki sposób postrzegany jest znak drogowy. W tym kontekście pojawiają się w badaniach również analizy czasu reakcji kierujących pojazdami na treści zamieszczone na znakach lub tablicach zmiennej treści. Przedmiotem obserwacji badaczy jest również zmienność osobnicza w populacji w zakresie procesu rozpoznawania znaków drogowych, która niejako nakłada się na zmienności procesów psychomotorycznych kierujących pojazdami np. czas reakcji.

Tego typu badania umożliwiło również pojawienie się w drugiej połowie XX w. różnego rodzaju symulatorów ruchu budowanych z wykorzystaniem techniki komputerowej i zastosowaniem symulacji komputerowej. Te symulatory można łatwo łączyć z technikami badania ET, EEG i innymi.

Środowisko symulatora komputerowego ruchu drogowego, w którym istnieje możliwość parametryzacji procesu ruchu w czasie i w przestrzeni w ramach uruchomionego pojedynczego procesu symulacji umożliwia szerokie badania w zakresie percepcji znaków drogowych w tym VMS.

Dodatkowym wsparciem tego rodzaju badań są często ankiety kierujących pojazdami dotyczące ich subiektywnego odczucia w zakresie procesu rozpoznawania znaków drogowych. Jest to tym niemniej badanie o charakterze pomocniczym, ale pozwala zwerbalizować problemy nie obserwowane w badaniach z wykorzystaniem technologii.

Tak jak napisano, współcześnie tego rodzaju badania behawioralne i kognitywne prowadzone z wykorzystaniem symulacji ruchu i symulatorów fizycznych są wspomagane takimi technologiami jak Eye Tracking, EMG, EEG i inne. W odniesieniu do badania parametrów ruchu pojazdu w kontekście procesu rozpoznawania znaków drogowych mogą być obecnie wykorzystywane takie technologie jak V2V (Vehicle-to-Vehicle) i V2I (Vehicle-to-Infrastructure).

W niniejszej dysertacji zaproponowano w celu parametryzacji procesu percepcji znaków zmiennej treści zastosowanie techniki Eye Trackingu w połączeniu z techniką komputerowej diagnostyki pojazdowej i techniką wizyjną oraz wspomaganie metodami wibroakustycznymi. W badaniach zastosowano sygnały pochodzące zarówno z systemu czujników zabudowanych fabrycznie w pojazdach i rejestrowanych w magistrali CAN (Control Area Network) oraz niezależny system pomiarowy rejestrujący przyspieszenia drgań nadwozia oraz sygnał akustyczny, jako znacznik komunikatów osób uczestniczących w badaniach. Kanał werbalny wprowadzono jako równoległy tor pomiarowy dla innych technologii z uwagi na subiektywność doboru pewnych charakterystyk pomiarowych i niedokładności urządzeń pomiarowych. Ta subiektywność wynika również z niejednorodności osobniczych w zakresie procesu postrzegania sceny wizualnej w badanej populacji.

Celem wymienionych wyżej typów badań z zastosowaniem wzmiankowanych technologii jest: optymalne kształtowanie rozwiązań geometrycznych w sieci drogowej, optymalnej lokalizacji znaków drogowych, dobór odpowiednich piktogramów na znakach drogowych, dobór odpowiedniej konstrukcji pojazdu i systemów wspomagających kierowanie nim, prace

związane z konstrukcją i wprowadzeniem do eksploatacji pojazdów autonomicznych, czy wreszcie dobór odpowiednich komunikatów wyświetlanych na znakach zmiennej treści. W przeglądzie literatury pominięto szereg badań o charakterze psychologicznym i kognitywnym z uwagi na wdrożeniowy charakter opracowania przewodu.

Przegląd wybranych publikacji w zakresie opisanych wyżej zagadnień badawczych w odniesieniu do znaków drogowych i stosowane w ramach tych badań technologie opisano poniżej.

2.2 Omówienie podstawowych terminów stosowanych w pracy

W celu usystematyzowania pojęć istotnych podczas lektury dysertacji doktorskiej omówiono podstawowe terminy stosowane w rozprawie określając przyjętą interpretację. Dotyczą one głównie zagadnień związanych z rozpoznawaniem znaków zmiennej treści oraz czasem reakcji kierujących na określone znaku lub komunikaty. W rezultacie syntetycznej analizy aktualnego stanu wiedzy oraz ujednolicenia pojęć stosowanych w przedmiotowym obszarze badawczym przeprowadzono pozycjonowanie badań własnych na tle badań innych autorów.

2.2.1 Rozpoznawanie znaków drogowych pionowych i poziomych

Rozpoznawanie znaków drogowych zlokalizowanych w sieci drogowej jest współcześnie poruszane szeroko w literaturze przedmiotu. Kontekstem stosowanym współcześnie w tych badaniach jest wykrywanie obecności i typu znaku na różne potrzeby w tym sterowania pojazdem [1-12]. Najbardziej intensywnym obszarem prac badawczych, w którym wykorzystywane są procedury rozpoznawania znaków drogowych jest wspomaganie kierującego pojazdem, inteligentne systemy kierowania pojazdami i sterowanie pojazdem autonomicznym [4,6,7,10,12]. Rozpoznanie znaku może być utrudnione konfiguracją terenu i zabudową bądź roślinnością nasadzana lub samosiewną w otoczeniu znaku drogowego. Zatem badania tego typu mają charakter podstawowy w kontekście prawidłowości lokalizacji oznakowania w sieci drogowej i możliwości percepcji tego oznakowania. Jakkolwiek samo oznakowanie wynika z uwarunkowań infrastrukturalnych i ruchowych to miejsce lokalizacji wynikające z normatywów prawa może być zawsze dobierane lepiej z uwagi na warunki towarzyszące.

Poza identyfikacją obecności znaku drogowego w określonym przekroju sieci drogowej (czyli wykrycie przez kierującego jego obecności), prezentowane w literaturze procedury służą do analizy jego koloru, kształtu i ewentualnie treści [1,2]. Treści rozumianej w tym przypadku jako symbol graficzny. Wykorzystywane są w tym celu metody z grupy technik wizyjnych w tym klasyfikatory, sieci neuronowe i logika rozmyta [3,5,8,9,10,11]. Bardzo skuteczne są w tym zakresie techniki wizyjne oparte o procedury z popularnej biblioteki OpenCV. W tych przypadkach rozpoznawanie dotyczy obiektu na stałe zlokalizowanego w określonym przekroju sieci drogowej i posiadającego stałą typografię. Problem komplikuje się dla znaków, które mogą zmieniać lokalizację w sieci drogowej i wyświetlać zmienne treści. W takich badaniach pomija się pamięć ścieżki przemieszczenia z punktu widzenia kierujących pojazdami poruszającymi się stałymi trasami w regularny sposób. W odróżnieniu od procesu rozpoznania znaku w lokalizacji (które może być realizowane przez odpowiednie mnemoniki) rozpoznanie treści znaku w formie jego piktogramu i symboli odpowiada bezpośrednio za prawidłowość procesu percepcji. Przy czym większość tego typu badań dotyczy znaków stałych (konwencjonalnych). Ten proces ma jednak inną specyfikę niż rozpoznawanie znaków dynamicznych i o zmiennej treści.

2.2.2 Rozpoznawanie znaków VMS, DMS

W odróżnieniu od procesu rozpoznawania typowych znaków pionowych i poziomych w sieci drogowej, rozpoznawanie znaków typu VMS (Variable Message Sign) i podobnych jest problemem innej natury. Przede wszystkim istotna jest warstwa tekstowa znaku, jej zmienność, nietypowe położenie w stosunku do osi drogi, a nie warstwa graficzna i jej zrozumienie w określonej lokalizacji przestrzennej [13-22]. W tym celu wykorzystywane są głównie badania prowadzone w zaawansowanych symulatorach ruchu drogowego [13,16,17,18,19]. Różnicą istotną jest też zmiana schematu kolorystycznego- treść-tło.

Z uwagi na konstrukcję symulatorów (koherentne środowisko, z jednym algorytmem graficznym odwzorowującym scenę ruchu na urządzeniu wyświetlającym) jednym mechanizmem wymuszeń (używanym w danym przebiegu symulacyjnym), z rejestracją wszystkich dostępnych parametrów symulacji w pojedynczych spójnych zbiorach danych eliminuje się tak trudne do rozwiązania problemy jak odczytanie w czasie rzeczywistym treści znaku w odniesieniu do jego lokalizacji i jego percepcji przez kierującego pojazdem. Tu problemem jest głównie korelacja odpowiednich grup danych (w liczbie do 60-70 zmiennych).

Nie jest to już takie oczywiste w przypadku badań w rzeczywistej sieci drogowej. W takim rozproszonym systemie trzeba zbierać dane z różnych obiektów, dane różnego typu i zapisywane w różnych strukturach danych i korelować je następnie w czasie [18,20]. Metodą wspomagającą tego typu badania są wywiady ankietowe [19]. Jakkolwiek są one pomocne, to te badania nie udzielają dokładnych danych w zakresie parametrów procesu percepcji znaków zmiennej treści jak również są przede wszystkim subiektywne. Pominąć należy w tym miejscu subiektywność procesu badawczego, która może wystąpić nawet w symulatorze (interpretacja danych).

Kolejną grupą poruszanych zagadnień w kontekście znaków VMS jest badanie wpływu kontekstu i treści znaku na proces jego percepcji i odpowiedzi na te treści kierujących pojazdami [15-21]. W tej grupie występuje również szereg problemów szczegółowych. Takim problemem jest problem efektu wprowadzenia znaków VMS w przekroju sieci drogowej na uważność kierujących pojazdami [29]. Kolejny problem to problem efektywności tego typu znaków [30,34]. Istotną kwestią z uwagi na komunikaty przekazywane w warstwie tekstowej, a nie tylko graficznej jest problem projektowania tego typu znaków [31]. Podgrupą dla znaków VMS są znaki typu VAS Vehicle activated signs, które są uruchamianie w odpowiedzi na konkretne zdarzenia generowane przez pojazdy w sieci drogowej, tego typu zagadnienie podjęto w pozycji [32]. Analizy wieloczynnikowe w odniesieniu do wpływu znaków VMS na kierujących pojazdami przedstawiono w pracy [33]. Problem badania reakcji kierujących pojazdami na dynamiczne znaki zmiennej treści poruszono w opracowaniu [35]. Inne problemy poruszane w ramach badania znaku VMS w kontekście możliwości ich stosowania oraz ich wpływu na ruch drogowy to:

- badanie zasilania znaków VMS w kontekście ich celowego wzbudzenia [36],
- porównywanie komunikatów tekstowych i graficznych w kontekście ich percepcji i efektywności percepcji [37],
- wykorzystanie VMS w uczeniu maszynowym dla pojazdów z systemem asystenta kierowcy [38],
- rozpoznawanie znaków VMS przez użytkowników z niepełnosprawnościami [39],
- wprowadzenie znaków VMS w kontekście pojazdów typu Connected Vehicles [40, 41],

- szeroką grupą analiz są studia przypadków (case study) dla fragmentów sieci drogowych w różnych miejscach na świecie w powiązaniu z systemami ITS i zlokalizowanymi w nich znakami VMS [42.]

Krótko podsumowując podstawowe badania odnoszone są do:

- lokalizacji,
- treści statycznej,
- treści dynamicznej,
- kontekstu werbalizowanego przez ankiety.

Badania wykonywane są w:

- sieci fizycznej,
- symulacji,

Przedmiotowa dysertacja łączy różne grupy technik badawczych, wprowadza nowe kanały informacyjne do badania i realizuje je w środowisku naturalnym sieci drogowej. Trudno w tej chwili wprowadzić badania innego typu w tej skali.

2.2.3 Czas reakcji i uważność kierujących pojazdami

W literaturze czas reakcji kierujących pojazdami opisywany jest jako parametr zależny od cech psychofizjologicznych [103-115], co powinno być brane pod uwagę również przy określaniu organizacji ruchu, systemów sterowania ruchem, a w ramach tych, w projektowaniu znaków VMS, a zwłaszcza treści komunikatów. Dopiero uwzględnienie relacji czas reakcji- bodziec pozwala na formułowanie zasadnych wniosków w przedmiocie doboru treści komunikatu. Badania czasów reakcji kierujących pojazdami lokalizowane są w kontekście rzeczywistej sieci drogowej i w przypadkach awaryjnego hamowania pojazdów [106,117]. Oba przypadki są istotne z punktu widzenia tej rozprawy, jakkolwiek dobór treści komunikatu nakierowany jest na duże odległości od znaku co ogranicza przypadki awaryjnego hamowania. Podobne przypadki obserwowane są w ramach badań prezentowanych w niniejszej rozprawie gdzie następuje zmiana parametrów ruchu pojazdu na podejściu do przejazdu kolejowo-drogowego na skutek określonej sytuacji nadzwyczajnej związanej z pojawieniem się jakiegoś obiektu w obszarze PKD lub na torach szlakowych linii kolejowej (raczej zwolnienie niż gwałtowne

hamowanie) [7-10]. W tym kontekście należy zwrócić uwagę na fakt, że przed PKD często tworzą się strumienie pojazdów o małych odstępach między nimi. Zatem istotne są badania czasów reakcji w kontekście modeli typu CFM (Car-following models) [113]. Uzyskane w ramach badań czasy reakcji mogą być porównywane z wynikami innych badaczy, realizujących badania w tym kontekście [114]. Podobnie jak w badaniach Eye Trackingowych tak i w tych w badania obejmowane są wybrane grupy użytkowników pojazdów których cechy fizjologiczne i inne mogą wpływać na zmierzony czasu reakcji [119-120].

Kolejnym zagadnieniem, które jest badane w literaturze, a które wpływa na możliwość podjęcia reakcji na znak zmiennej treści jest uważność kierującego pojazdem [121-125]. Uważność kierującego, która się zmienia dynamicznie na ścieżce przemieszczenia przez sieć drogową wpływa na możliwość podjęcia zasadnej reakcji w odpowiednim czasie na konkretne treści wyświetlane na znaku. Niestety z wykorzystaniem eye trackera badanie uważności jest możliwe wyłącznie w ograniczonym zakresie (dlatego wsparto te badania komunikatami werbalnymi kierujących pojazdami drogowymi) . W przyszłości ten wątek badań można rozszerzyć z wykorzystaniem takich urządzeń jak EMG i EEG [126-129]. Na Wydziale Transportu i Inżynierii Lotniczej Politechniki Śląskiej będzie to już możliwe w 2023 r.

Na podstawie powyższych zestawień dotyczących zagadnień poruszanych w literaturze w odniesieniu do tematyki niniejszej rozprawy, można stwierdzić, że badanie i dobór odpowiednich treści komunikatów na znaki zmiennej treści jest zasadne. Jest zasadne również w przypadku znaków VMS lokalizowanych przed przejazdami kolejowo-drogowymi. Zestawiając tą bogatą tematykę i różne konteksty badania znaków VMS w sieci drogowej zilustrowano również różnorodność podejścia w tego typu badaniach przede wszystkim w kontekście zakładanych problemów badawczych.

Poniżej na rys. 4 przedstawiono wybrane grupy problemów badawczych w odniesieniu do badań znaków zmiennej treści z wykorzystaniem techniki Eye Trackingu i autodiagnostyki pojazdowej.



Rys. 4. Pozycjonowanie badań własnych oraz katalog metod, technik i zagadnień

Na podstawie analizy aktualnego stanu wiedzy oraz obszarów badawczych w zakresie doboru znaku zmiennej treści przeprowadzono pozycjonowanie badań własnych w kontekście bazy badawczej dostępnej dla doktoratu. Główne obszary badawcze pogrupowano według liczebności publikacji. Obszary te obejmują badania znaków VMS z wykorzystaniem symulatorów, badania czynnika ludzkiego z uwzględnieniem uwarunkowań psychotechnicznych i zachowań kierowców oraz z uwagi na docelowy obszar zastosowań badania bezpieczeństwa na przejazdach kolejowo-drogowych. Obszary te zestawiono ilustracyjnie na rysunku 5.



Rys. 5. Główne obszary badawcze w zakresie badań znaków VSM

Zgodnie z przyjętym celem badań czyli opracowaniem metody oceny i doboru komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych zdefiniowano własny obszar badawczy, który obejmuje częściowo wybrane zagadnienia z głównych obszarów. Obszar badań własnych nazwano badania i ocena doboru komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych. Jego kontekst przedstawiono na rysunku 6 .



Rys. 6. Pozycjonowanie badań własnych

Tak zdefiniowany obszar badań własnych wymusza opracowanie autorskiej metody badawczej z zastosowaniem kilku zupełnie odmiennych względem siebie technik pomiarowych.

W celu badań widoczności i postrzegania znaku VMS zastosowano metody Eye Trackingu. Te metody umożliwią śledzenie zachowania narządu wzroku kierującymi pojazdami drogowymi zbliżającymi się do PKD.

Z uwagi na ograniczenia tych metod zostały one wspomagane komunikatorem akustycznym kierującego pojazdem drogowym (kanał werbalny) oraz poprzez metody wizyjne. Metody wizyjne umożliwiają badanie zachowania się kierującego pojazdem w odpowiednich kontekstach sytuacyjnych. Badany jest tzw. komponent postawy behawioralny.

Do badań percepcji, intuicyjności i zgodności komunikatu, a w konsekwencji zasadnej bądź nie reakcji kierowcy, zastosowano badania parametrów jazdy pojazdu z wykorzystaniem sygnałów z magistrali CAN (autodiagnostyka pojazdu) oraz niezależnych sygnałów wibroakustycznych, jako trójosiowych sygnałów przyspieszeń drgań pojazdu oraz wspomaganie znaczników czasowych za pomocą kodowanego sygnału akustycznego.

Kanał werbalny, umożliwia weryfikowanie wskazań aparatury kontrolno-pomiarowej. Ścisłej pozycjonowanie tych wskazań w określonym kontekście, w czasie i w przestrzeni.

Dodatkowo każdorazowo rejestrowano obraz video prezentujący scenę ruchową jaką obserwuje kierujący pojazdem. To realizowała kamera przednia pojazdu. Dodatkowo umieszczono kamerę perspektywiczną rekonstruującą obraz wideo całej sceny ruchu na PKD.

Tak skompletowane zbiory danych, zsynchronizowane czasowo, umożliwiają określenie kryteriów doboru komunikatu znaku VMS.

Opracowana metoda jest zgodna z hipotezą badawczą nr 3. Bardzo istotnym aspektem badań własnych jest ich prowadzenie w warunkach rzeczywistych, z prawdziwym pojazdem kierowanym przez osobę.

2.3.1 Techniki Eye Trackingowe

W niniejszej pracy zdecydowano się na wykorzystanie do analizy procesu rozpoznawania treści znaków VMS techniki Eye Tracking. Technika ta ma bardzo szerokie spektrum zastosowania we wszystkich zagadnieniach, gdzie istotne jest kontrolowanie parametrów wzroku osoby badanej [43-53]. Technika, w różnych swoich odsłonach ma ponad stuletnią historię [54].

Najnowsze urządzenia możliwe do wykorzystania w tym zakresie przeznaczone do badań mobilnych (w pojazdach, w ruchu pieszym, w codziennym wykorzystaniu przestrzeni: sklepy, domy, ogólnie przestrzeń publiczną) są produkowane w formie okularów, coraz częściej nie odbiegających kształtem od typowych okularów korekcyjnych [55,56].

W pracy zastosowano okulary SMI 2.0 pracujące z częstotliwością 60 Hz [55]. Umożliwiają one pomiar parametrów wzroku kierującego pojazdem w czasie rzeczywistym. W trakcie badań zbierane są przede wszystkim dane na temat lokalizacji na scenie ruchu punktu skupienia wzroku (tzw. fiksacje) i przejść pomiędzy tymi punktami tzw. ruchy sakkadowe [57-66].

Poza tym zbierane są dane na temat procesu mrugania kierowcy [67-71].

Każdy z obserwowanych parametrów: fiksacje, sakkady, czas mrugania jest zapisywany w odniesieniu do możliwych do uzyskania w danym przypadku kilkunastu profili wartości, pozycja, przyspieszenia, prędkości, czas trwania itp. Taki zapis procesu postrzegania sceny ruchu umożliwia analizę procesu percepcji znaku zmiennej treści, w przypadku uzupełnienia

go o dane z systemu diagnostyki pojazdowej. Można wtedy powiązać reakcje kierującego z parametrami jazdy pojazdu w kontekście zachowania się narządu wzroku.

Z uwagi na uniwersalność (wspólny zbiór parametrów określających wzrok) i elastyczność stosowanej w badaniach narządu wzroku technologii eye trackingu mobilnego (analiza dowolnej sceny ruchu) służy ona do wielu często bardzo odmiennych od siebie zagadnień związanych z postrzeganiem znaków. Ważny jest kontekst przedmiotowy i podmiotowy każdego z tych badań. Takie badanie dotyczyć może procesu rozpoznawania znaku z uwagi na jego znajomość (stopień rozpoznawalności z uwagi na komponent wiedzy kierującego) [72]. To zagadnienie jest ważne z uwagi na uniformizację i ergonomię znaków drogowych stosowanych w różnych obrębach sieci drogowej. Jest ważne również z uwagi na proces szkolenia kierowców. Podobne zagadnienie związane ze zdolnością kierującego do rozpoznawania znaków drogowych opisano w pozycji [73]. To zagadnienie związane jest również z badaniem jego wpływu na stopień rozproszenia kierujących pojazdami [74,75].

Inna interesująca grupa zagadnień to badanie wpływu zmienności i różnorodności informacji na znakach zmiennej treści na możliwość ich percepcji przez różne grupy odbiorców. Dotyczy to zwłaszcza krajów zlokalizowanych w Afryce i w Azji, które nie używają alfabetu łacińskiego [76-82].

Kolejny istotny obszar badawczy to badanie wpływu reklam przydrożnych na uważność kierującymi pojazdami [83]. Z punktu widzenia przedmiotu zainteresowania niniejszej pracy interesujące są badania zachowań kierujących pojazdami w trakcie procesu ich rozpoznawania [84-87].

Wymienione wyżej badania zachowania kierujących pojazdami związane z procesem percepcji znaków i znaków zmiennej treści mogą być prowadzone w kontekście bezpieczeństwa ruchu drogowego [88-90].

Obszarem badań jest również problem kalibracji systemu ET do oceny skuteczności i wydajności różnych znaków zmiennej treści [91]. Kalibracja urządzeń typu ET realizowana w dużych grupach badawczych z reguły nastęrcza różnych problemów z uwagi na cechy osobnicze występujące w każdej populacji. Jakkolwiek występowanie osób z wadami wzorku w populacji jest naturalne, to wpływa to ujemnie na realizację badań znacznie je utrudniając (znacznie wydłuża czas, wymaga stosowania szkieł korekcyjnych i dłuższej kalibracji systemu).

W literaturze przedmiotu zwracana jest uwaga na konieczność dalszych badań w zakresie znaków VMS w celu aktualizacji i ulepszenia obecnych praktyk stosowania znaków VMS. Mimo działań na rzecz harmonizacji tego typu oznakowania, spotykana jest szeroka gama znaków, komunikatów i layoutów. Dotyczy to zwłaszcza znaków stosowanych w obszarach objętych/zagrożonych kongestią ruchu [92]. W tym kontekście należy zauważyć, że obszar badania jest słabo rozpoznany.

Kolejną grupą badań są badania wpływu danych demograficznych w badanych próbach na proces percepcji i zrozumienia znaków zmiennej treści [93]. Przy czym w tego rodzaju analizach badane są w szczególności takie cechy komunikatów jak: użycie wielkich vs małych liter, znanych piktogramów vs nie rozpoznawalnych piktogramów [93]. Badania na większej próbie typu reprezentowanego wymagają niestety zaangażowania znacznie większych środków do ich skutecznej realizacji.

Większość wymienionych badań symulacyjnych, ankietowych i innych natury empirycznej dostarczają często niespójnych wniosków. W związku z tym potrzebne są dalsze badania naukowe w tym zakresie. Dotyczy to badań różnych typów VMS, różnych komunikatów dla wyświetlanych treści i ich rozmieszczenia na licach znaków [92]. Zdaniem Autora, tego typu wnioski znalazły swoje odzwierciedlenie w ramach podsumowania niniejszej rozprawy.

2.3.2 Pozyskiwanie danych z magistrali CAN

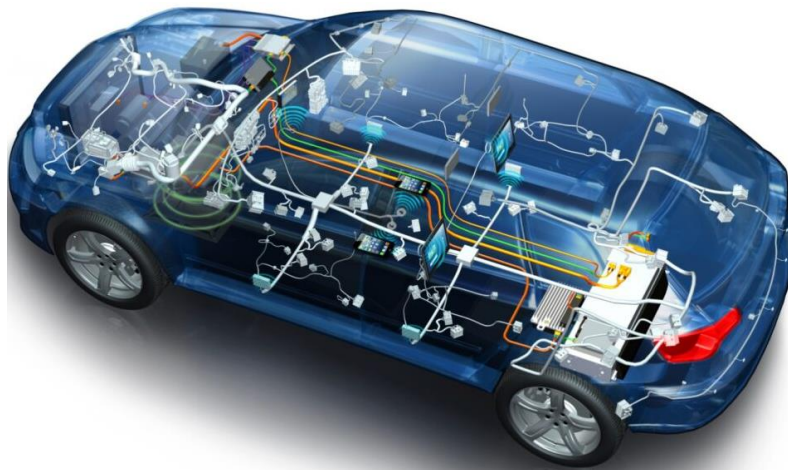
Z uwagi na przyjęte założenie prowadzenia badań w warunkach rzeczywistych w prawdziwym pojeździe kierowanym przez osobę istotnym aspektem jest rejestracja parametrów jazdy badanego pojazdu. W niniejszej rozprawie postanowiono powiązać pomiar zachowania kierującego pojazdem (narząd wzroku, nogi) z parametrami jazdy pojazdu. To umożliwi powiązanie danych z eye trackera w zakresie czasu i sposobu rozpoznania znaku zmiennej treści z parametrami ruchu pojazdu, a więc i z rzeczywistą reakcjami kierującego na rozpoznane treści. Te reakcje przejawiają się w obsługiwanych w czasie kolejnych podzespołach pojazdu (hamulec, dźwignia przyśpieszenia, przełożenie skrzyni biegów itp.).

Diagnostyka pojazdowa jest ważnym tematem badań, współcześnie zwłaszcza w obszarze aktywnych i pasywnych systemów bezpieczeństwa. Takich systemów jest ABS (aktywny) i pasywnych jak napinacz pasów. Jakkolwiek systemy autodiagnostyki stosowane są w warunkach stacjonarnych, dla oceny stanu podzespołów pojazdu to mogą być wykorzystywane

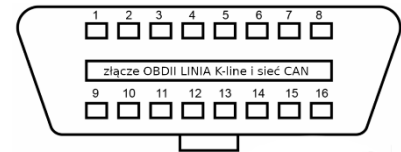
również w takich badaniach mobilnych, takich jak prezentowane w niniejszej rozprawie [94-102]. Bez diagnostyki samochodowej trudno w warunkach terenowych łączyć dane z systemów Et i wizyjnych z rzeczywistymi reakcjami kierujących pojazdami.

Koncepcja i technologia magistrali szeregowej CAN powstała już w 1981 roku w firmie Roberta Bosch'a. Głównym założeniem tej koncepcji było opracowanie technologii, która umożliwi komunikację wszystkich zespołów elektroniki w pojeździe w sposób stabilny, z wykorzystaniem zarówno łączności przewodowej jak i bezprzewodowej (w tym światłowody). Na przełomie 40 lat liczba elementów i zespołów elektroniki pojazdowej wzrosła do ogromnych rozmiarów jednak podstawowa idea magistrali CAN nadal efektywnie odpowiada za wzajemną i stabilną komunikację pomiędzy nimi. Przykładową sieć połączeń CAN w dzisiejszych pojazdach oraz złącze diagnostyczne OBD, które umożliwia dostęp do sygnałów z czujników poszczególnych podzespołów przedstawiono na rysunku 7.

a)



b)



Rys. 7. Sieć CAN (a) oraz złącze diagnostyczne OBD dostępu do sygnałów z magistrali (b)

źródło: www.google.pl

Korzystanie z danych autodiagnostyki samochodowej pozwala pozycjonować reakcje kierowcy w kontekście innych zjawisk rejestrowanych przez Autora w czasoprzestrzeni PKD. Dotyczy to głównie charakterystyki narządu wzroku kierującego pojazdem.

2.3.3 Wspomaganie wibroakustyczne

Przyjęte założenie analizy reakcji kierowcy na zmienne komunikaty znaków VMS sprowadza się głównie do możliwości wyznaczania kolejnych czasów związanych z reakcją na znak VMS. W tym celu ważna jest synchronizacja czasowa rejestrowanych sygnałów pomiarowych oraz identyfikacja znaczników czasu skorelowanych z odpowiednim zachowaniem kierowcy. W przypadku analizy czasu reakcji istotna jest duża dokładność, która zdeterminowana jest częstotliwością próbkowania systemu pomiarowego. W przypadku czujników zabudowanych w pojeździe i zintegrowanych szyną CAN częstotliwość próbkowania często nie jest satysfakcjonująco wysoka dlatego jako dodatkowy argument zastosowano wspomaganie wibroakustyczne, w którym częstotliwość próbkowania wynosiła 50 kHz, co daje czas próbkowania 0,0002 s, który jest w zupełności wystarczający w zakresie analizy czasu reakcji kierowcy.

Zastosowana metoda wspomaganie wibroakustycznego polega na synchronicznej rejestracji wybranych sygnałów z magistrali CAN oraz niezależnych sygnałów trójosiowych przyspieszeń drgań nadwozia pojazdu oraz zastosowanie jako komunikatora werbalnego filtrowanych sygnałów akustycznych (dla celów zgrubnej lokalizacji sygnałów wymuszenia). Zestaw synchronicznych sygnałów chwilowej prędkości jazdy, położenia dźwigni przyspieszenia, prędkości obrotowej silnika, przyspieszeń drgań nadwozia w ortogonalnych kierunkach X,Y i Z umożliwia analizę reakcji (zachowań) kierowcy. Dodatkowo synchronicznie rejestrowany sygnał akustyczny umożliwił korelację czasową określonych komend osoby kierującej pojazdem (np. komendy widzę, rozumiem) z sygnałami „opisującymi” jego reakcję w parametrach jazdy.

2.3.4 Techniki wizyjne

Do celów kontrolnych i weryfikacji oraz w sytuacjach problemowych wymagających poszerzonej analizy interpretacyjnej każdorazowo podczas pomiarów rejestrowano obraz video prezentujący scenę ruchową jaką obserwuje kierujący pojazdem. Zastosowano kamerę przedpola pojazdu i kamerę sceny.

Zastosowanie ciągłej rejestracji obrazu za pomocą kamery zamocowanej w okolicy lusterka wstecznego umożliwiło obserwację sceny ruchowej obserwowanej przez kierowcę podczas kolejnych testów. W sytuacji braku jednoznaczności wyników pozostałych pomiarów

stosowano podgląd video, który wspomagał analizę interpretacyjną wyników. Dodatkowo w pierwszym etapie badań stosowano rejestrację video widoku dźwigni przyśpieszenia i hamulca, która umożliwia podgląd na reakcję kierowcy w zakresie naciskania na te dźwignie. W kolejnych iteracjach badań zrezygnowano z tego źródła informacji. W sumie wykorzystano 5 kamer video.

3. Zakres i plan badań

Na podstawie analizy aktualnego stanu wiedzy oraz w związku z realizacją określonych celów rozprawy, czyli opracowaniem metody i modelu oceny i doboru znaków zmiennej treści zlokalizowanych na przejazdach kolejowo-drogowych oraz dobór treści lub piktogramu w kontekście minimalizacji czasu reakcji i poprawności zrozumienia komunikatu, zdefiniowano zakres i sformułowano plan badań.

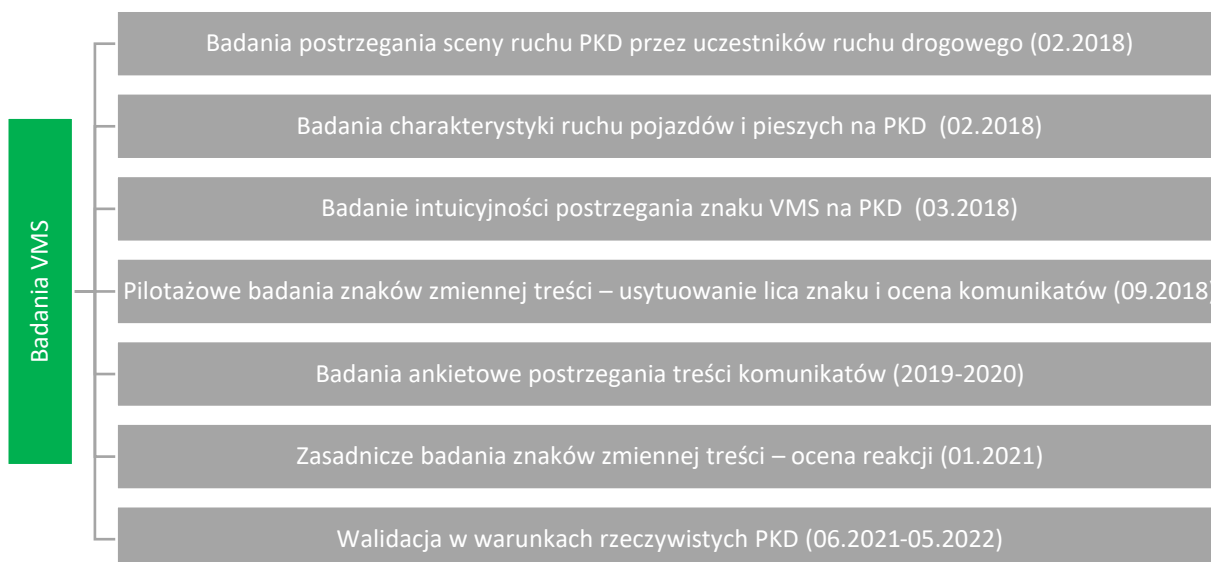
Zakres badań obejmował kompleksowe pomiary w zakresie analizy postrzegania i reakcji kierowców na wybrane komunikaty znaków zmiennej treści. W związku z powyższym zaplanowano:

- badania postrzegania sceny ruchowej i charakterystyk potoków ruchu (kołowego i pieszego) w otoczeniu PKD,
- badanie intuicyjności postrzegania znaku VMS na PKD,
- badania postrzegania usytuowania lica znaku i ocena komunikatów (badania pilotażowe),
- badania reakcji kierowców z zastosowaniem zsynchronizowanych wielokanałowych technik pomiarowych kompletnego systemu (badania zasadnicze).

Dodatkowo w badaniach zastosowano metody ankietowe, których celem było pozyskanie wiedzy w zakresie postrzegania znaków zmiennej treści jako takich.

Całość badań zakończyły testy walidacyjne obejmujące cały rok kalendarzowy oceny funkcjonowania systemu wykorzystującego znak zmiennej treści dobrany w efekcie opracowanej metody zabudowany na rzeczywistym PKD (Autor zabudował na zlecenie system przejazdowy na bocznicy jednego z operatorów kolejowych w woj. śląskim).

Zakres i czasowy harmonogram badań przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 8. Zakres i harmonogram czasowy badań własnych

4. Metoda i model oceny komunikatu znaku zmiennej treści

4.1 Metoda oceny komunikatu

W celu zdefiniowania modelu odpowiedniego dla metody proponowanej w rozprawie, służącej określeniu właściwych komunikatów znaków i/lub treści wyświetlanych na VMS należy zdefiniować zbiór parametrów w postaci zmiennych objaśnianych i zmiennych objaśniających. Komunikat na znaku VMS w takim układzie pomiarowym jest bodźcem, na który kierujący pojazdem winien zareagować w określony sposób (w zamierzeniu organizatora ruchu dobierającego treść komunikatu). Reakcja kierowcy (jej parametry czasoprzestrzenne) na VMS określa czy dany komunikat jest odpowiedni w danym kontekście czy nie. Kontekst w tym ujęciu to sytuacja ruchowa na PKD (zbliżające się/ bądź nie inne pojazdy drogowe i pojazdy szynowe na szlaku kolejowym).

Analizując wartości parametrów odpowiadających reakcjom poszczególnych uczestników badania, można porządkować te komunikaty w określonym porządku dobierając w ten sposób najlepsze z nich do odpowiedniego kontekstu.

Poza kontekstem ma znaczenie również komponent postawy behawioralnej kierujących pojazdami - czyli niezależnie od treści w populacji mogą być obserwowane odmienne reakcje na nie (szerzej o tym w podrozdziale dot. analizy ankiet).

Zbiór zmiennych objaśnianych w formie odpowiednich czasów i odległości podano poniżej. Zmienne objaśniane związane są z procesem percepcji znaków i ich treści, a zmienne objaśniające pobierane są z systemu kierujący-pojazd. Elementy tak zdefiniowanego modelu badawczego przedstawiono na rys.9.



Rys. 9. Wizualizacja elementów modelu badawczego

Część zmiennych objaśniających badano z wykorzystaniem techniki Eye Tracking a część z pomocą podsystemu autodiagnostyki pojazdowej i innych np. systemu wizyjnego, hamowania, GPS oraz podsystemu wibroakustycznego wspomagania.

Eye Tracking właściwy jest dla badania rozpoznawania znaku (percepcji komunikatu i jego treści) a podsystem autodiagnostyki do badania czasów reakcji wynikających z procesu rozpoznawania komunikatów.

Można założyć, że percepcja treści znaku VMS implikuje określone reakcje kierującego ip.. zwalnianie, hamowanie itp., pamiętając, że ta percepcja jest intencjonalnie implikowana przez organizatora ruchu dobierającego stosownej treści.

Pewien zbiór takich reakcji w określonym czasie jest właściwy i zgodny z oczekiwaniem. Właściwy (dobrze dobrany) komunikat/znak to taki, który jest odpowiednio wcześnie rozpoznawany i powoduje właściwe reakcje kierującego. Im wcześniej rozpoznany komunikat VMS tym więcej czasu/odległości pozostawia dla właściwych reakcji i decyzji po stronie kierującego pojazdem zbliżającego się do PKD, na który zaraz może wjechać pojazd szynowy.

Zatem skuteczność znaku VMS determinują czynniki związane z widzialnością i rozpoznaniem znaku oraz intuicyjny (intuicyjnie rozumiany) komunikat wywołujący właściwą reakcję kierującego. W obydwu przypadkach czas/odległość stanowi fundamentalną wielkość.

W badaniu założono prawidłowość rozpoznania znaku i jego treści na podstawie wskazań wolicjonalnych, tzn. kierowca sam definiuje chwile rozpoznania treści znaku. Te chwile da się rozpoznać bezpośrednio w ET i systemie autodiagnostyki, przy określeniu kilku założeń, tym niemniej ten wolicjonalny komunikat pozwala na wstępne pozycjonowanie tych chwil czasu w analizowanych charakterystykach.

Bezpośrednio nie badany jest okres od momentu zadziałania bodźca do chwili pojawienia się reakcji (latencja) w układzie percepcji człowiek - układ drogowy (znak VMS). Jednak w badaniach zasadniczych podjęto próbę estymacji tego czasu wykorzystując do tego celu wspomaganie wibroakustyczne.

Poniżej zdefiniowano zmienne objaśniające wykorzystywane w modelu doboru treści komunikatu na znaku VMS lokalizowanym przed przejazdem kolejowo-drogowym.

Czas reakcji (bezwzględny), t_{rb} jest to chwila (czasu rzeczywistego, np. w systemie WGS 84), w której następuje reakcja (dowolna) kierującego pojazdem zbliżającym się do lica VMS na treści wyświetlane na tym znaku (w pojeździe zastosowano odbiornik standardu NEMA180 z wgranymi poprawkami jonosferycznymi, umożliwiającymi bardzo dokładny pomiar pozycji pojazdu).

W badaniach pilotażowych analizowano czy reakcja kierującego na bodziec kontekstowy (treść znaku VMS) jest prawidłowa (nie jest badana latencja, a badane wartości są dyskretne). Takie założenie wynika z szerokiego wachlarza możliwych reakcji na bodźce, które wymagałyby uprzedniej kategoryzacji w ramach badań populacyjnych. W tym zakresie występuję szereg problemów opisanych w literaturze, a zbadanie których przekracza zakres niniejszej pracy. Zauważono także pewne zjawiska mikrosnu w badanej próbie, które wpływało na badane charakterystyki.

Treści określone są komunikatem wyświetlanym na znaku, który może składać się ze znaków alfanumerycznych lub grafiki lub kombinacji obu z nich. Czas reakcji kierującego powinien być jak najszybszy, w sensie: najmniejszy w kierunku upływu czasu (odstęp czasu między chwilą reakcji a minięciem znaku VMS). Przy czym nie należy go mylić z klasycznie pojmowanym czasem reakcji jako przedziałem czasu od impulsu do realizacji pewnego zadania manualnego (w tym wypadku związanego ze zmianą parametrów jazdy). Z uwagi na dane populacyjne można uznać, że właściwy czas reakcji mieści się w bezwzględnym czasie reakcji od 0,4(0,3; 0,25) s do 07 s i więcej i ten jest dodawany do momentu obserwacji reakcji od chwili reakcji właściwej.

Możliwe treści komunikatu znaku VMS określa ich skończony zbiór. Zdecydowano się po wstępnej selekcji na 24 znaki, zarówno alfanumeryczne jak i piktogramy/mieszane. Dobór podyktowany jest przeprowadzonym badaniem z wykorzystaniem metodyki Delfickiej na gronie specjalistów z zakresu inżynierii ruchu drogowego i kolejowego (Katedry Transportu Kolejowego, Katedry Transportu Drogowego i Katedry Systemów Transportowych Inżynierii Ruchu i Logistyki, Politechniki Śląskiej).

Czas reakcji, poza chwilą na osi czasu, może być określony również względnie. Względnie można określić ten czas jako ekwiwalentny czas (prognozowany) dojazdu kierującego do przejazdu PKD, t_{rw} przy znanej prędkości i odległości pojazdu od lica znaku VMS. Jest to czas pozostający do chwili potencjalnego konfliktu z pojazdem szynowym (czas ten może być

dłuższy z uwagi na różnice czasu dojazdu do PKD pojazdu kołowego i szynowego). Komunikat wyświetlany jest dla pewnego punktu detekcji pojazdu szynowego na szlaku kolejowym. Od tego punktu do PKD pojazd szynowy pokonuje również pewną odległość.

Czas reakcji, ten rozumiany literalnie jako bezwzględny i właściwy wynika z czynności manualnych wykonywanych przez kierującego pojazdem drogowym związanych z obsługą pojazdu mechanicznego a uwzględniających dostrzeżone i zrozumiane treści. Zatem w podsystemie autodiagnostyki pojazdowej można obserwować reakcję na komunikaty wyświetlane na VMS (czas reakcji + właściwy czas reakcji).

Oczywiście w rzeczywistej sieci drogowej mogą to być również reakcje wynikające z kompozycji strumienia ruchu i jego charakterystyki. W przedmiotowym badaniu wyeliminowano ten problem stosując najazd pojedynczego pojazdu na PKD i izolując tor testowy. W tym celu wybrano fragment sieci drogowej, który wyłączono z ruchu pojazdów i pieszych. Zapewniło to, że na scenie PKD występowały tylko zdarzenia kontrolowane przez organizatora badania). Jest to oczywiście znaczne uproszczenie, ale taki zabieg pozwala sprawnie i bezpiecznie przeprowadzić badania.

W takim układzie jedynym powodem obserwacji reakcji w podsystemie autodiagnostyki powinien być znak VMS i jego percepcja (w praktyce istotne są interakcje w obu strumieniach ruchu na PKD w tym strumieniu kolizyjnym). W rzeczywistym strumieniu ruchu drogowego byłoby to znacznie trudniejsze zagadnienie pomiarowe. Z praktyki tego typu badań Autor wie, że wtedy występuję znacznie większe rozpraszanie uwagi kierujących pojazdami (często prowadziło by to do zaniku treści w kanale werbalnym i mogłoby stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu).

Oba czasy reakcji są „poprzedzane” przez dwie inne składowe czasu:

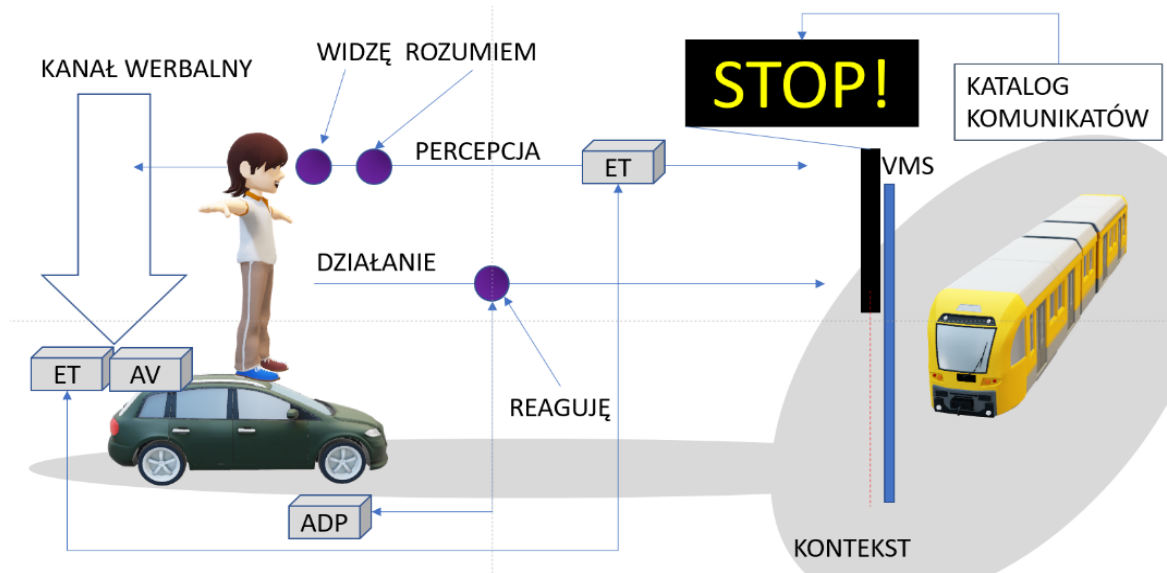
- czas związany z postrzeganiem komunikatu (a właściwie jego pierwszym postrzeżeniem jako bodźca dystalnego)
- czas percepcji znaku (jego zrozumieniem, bez analizy jego składowych).

Poza badaniem czasów w układzie odniesienia- prawidłowość percepcji nie była weryfikowana w inny sposób.

W toku zbliżania się kierującego do PKD najpierw postrzegany jest znak a dopiero potem jego treść. Jakkolwiek w badaniu były obserwowane przypadki, że proces ten zachodził w tym samym czasie. Trudno to jednak odseparować z uwagi na kanał werbalny wykorzystywany w

badaniu procesu percepcji (w rzeczywistości bardzo małe, ale jednak różnice tych czasów muszą występować).

W celu identyfikacji kolejnych składowych czasu zastosowano w badaniach pilotażowych wielokanałowy system rejestracji, który symbolicznie przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Kanały informacyjne wykorzystywane w badaniu, kanał werbalny

Czas postrzegania komunikatu t_{po} to chwila, w której kierujący pojazdem dostrzega znak VMS i komunikat. Dostrzeżenie samego znaku bez treści (widzenie pola znaku) niewiele wnosi do jego stanu wiedzy, choć powinien ten fakt zwiększyć ostrożność. Ten proces kończy komunikat w kanale werbalnym (WIDZE). Był on potrzebny z uwagi na założenie o uwarunkowaniach tego procesu w badaniu ET (nie zawsze punkt fiksacji pokrywa się komunikatem widzę, uwidaczniają się tu problemy z kalibracją części kierujących, zwłaszcza przy dużych wadach wzroku).

Bardzo często wynika to z problemu kalibracji z uwagi na powszechne wady wzroku w polskim społeczeństwie, przy czym w warunkach pandemii nie zalecono stosowanie szkieł korekcyjnych w badaniu. Stąd wykorzystywany system ET nie posiadał urządzeń do korekcji optyki narządu wzroku osoby badanej (terenowe warunki nie zawsze zapewniają odpowiednie warunki higieniczne zwłaszcza w zimie i przy opadach atmosferycznych).

W przypadku werbalizacji faktu dostrzeżenia znaku VMS czas potwierdzenia postrzeżenia znaku można pokrywać z punktami fiksacji wzroku. Przy dużych prędkościach dojazdu do

PKD czas ten pokrywa ekwiwalentnie nawet do 17 metrów długości drogi (dla 60 km/h). Tyle trwa wypowiedzanie i odbiór komunikatu w kanale werbalnym!

Czas percepcji to czas, t_{pe} , w którym kierujący przetworzył (odczytał) komunikat VMS i go zrozumiał. Czas ten nie jest rozkładany na komponenty składowe takie jak np. latencja. Te składowe poniżej 0.5 s. nie są istotne z uwagi na sposób notowania chwili percepcji i wynikająca stąd dokładność (zależną od prędkości pojazdu).

W badaniu zastosowano dwa systemy referencji pozycji pojazdu. System GPS i system znaczników wizualnych namalowanych na jezdni.

Jakkolwiek w systemie ET dokładność pomiaru dochodzi do 1 milisekundy to sam zapis ogranicza dokładność do 0.5 sekundy.

Wartości tych czasów uzyskuje się w ten sposób, że kierujący pojazdem podaje/ wypowiada komunikaty (kierowany czynnikami wolicjonalnymi i wiedzą):

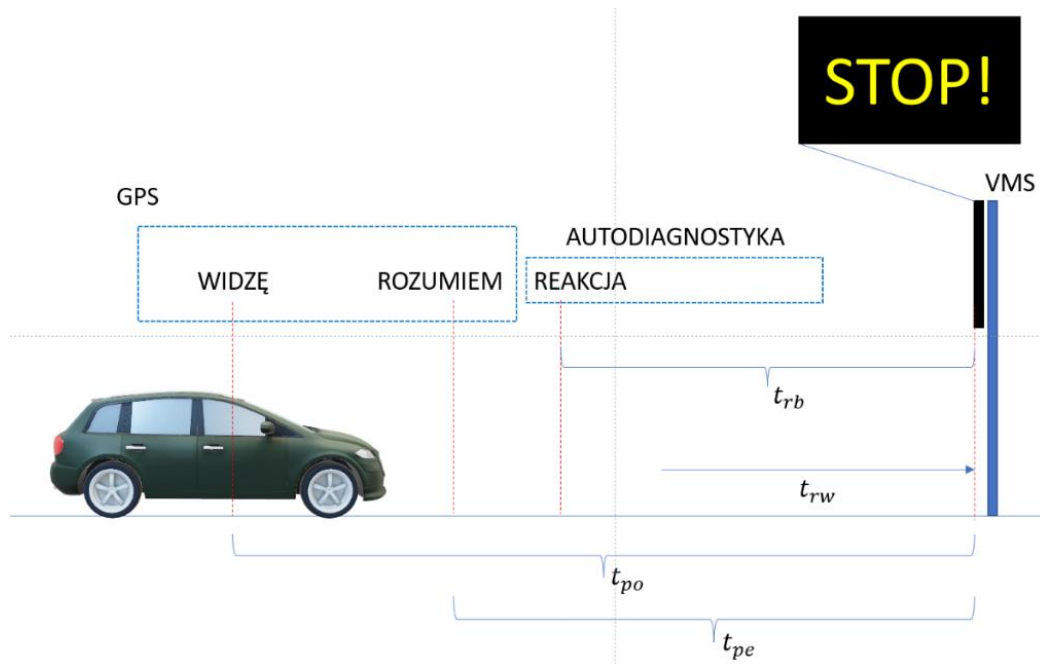
- WIDZĘ,
- ROZUMIEM.

Dodatkowo niezależnie od pomiaru wystąpienia tych chwil wolicjonalnych, bada się ten proces z wykorzystaniem techniki Eye Trackingu (obserwacja pokrywania punktów fiksacji na obszarze znaku VMS). To jest bardzo skomplikowane zagadnienie nastrożające mnóstwo problemów. W kolejnych badaniach wymaga to zastosowania sceny ruchu z przesłonięciem obrazu tła, które często zakłóca obraz sceny ruchu drogowego lub realizacji badań w warunkach nocnych z punktowym oświetleniem sceny PKD (przynajmniej dla celów analiz porównawczych)

Werbalizacja percepcji i zrozumienia jak napisano już wyżej jest wolicjonalna - osoba obsługująca pomiary, jadąca na fotelu pasażera nie notuje tej obserwacji, zapisywana jest ona w kanałach AV (audio-video) na ET i na kamerach instalowanych w pojeździe. Problematiczne dla różnych prędkości jest niemal natychmiastowe komunikowanie sygnału *Rozumiem* po komunikacie *Widzę*.

Te elementy pomiaru będą przyczynkiem do dalszych badań Autora w tym przedmiocie. Są one trudne z uwagi na wariantowanie próby i prędkości w których realizowanej są pomiary. W tym celu w przyszłości będzie wykorzystywany pojazd z tempomatem.

Kolejne składowe czasu oraz komunikaty werbalne przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 11. Analizowane czasy, interpretacja graficzna

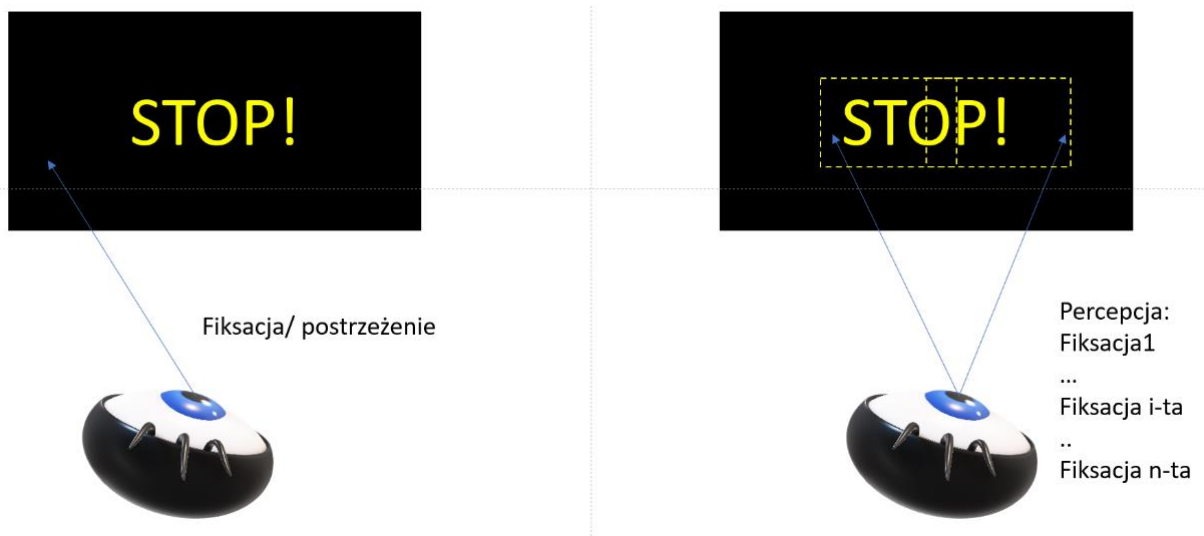
Przyjęto zatem, że w przedmiotowym badaniu mamy do czynienia ze schematem decyzyjnym: start badania, działam, jadę, (bodziec), widzę (rozumiem), rozumiem (widzę) → działam itp.. Wykluczając na torze testowym inne bodźce (w możliwym do zrealizowania zakresie w sieci publicznej dróg) zakłada się, że działania wynikają bezpośrednio z wyświetlanych komunikatów na znakach VMS. Niestety złożoność techniczna i organizacyjna badania pilotażowego mogła powodować również nieliczne reakcje na ruch na scenie ruchu drogowego. Jednak dzięki wykorzystaniu kanałów: ET, autodiagnostyki, werbalnego, technik wizyjnych i układu hamowania, na podstawie korelacji charakterystyk udało się Autorowi wyeliminować te problemy.

Odpowiednie czasy dla chwili postrzeżenia i zrozumienia treści znaku (percepcji) deklaruje w trakcie jazdy testowej kierujący pojazdem, w tym celu podaje komunikat werbalny. Czasy te mogą być niezależnie zmierzone z wykorzystaniem metody Eye Trackingu. Czasy poszczególnych urządzeń pomiarowych były synchronizowane na zegar atomowy (źródło: time.is). Zegar ten działa z dokładnością ± 0.029 sekundy []. Synchronizację przeprowadzono dla każdego badanego niezależnie (czas trwania badań wynosił od kilku do kilkudziesięciu minut, czasem urządzenia wymagały dodatkowej kontroli i podjęcia odpowiednich działań serwisowych, wymiany baterii itp.)

Należy jeszcze, w tym miejscu, odnieść się do uwagi, że postrzeżenie znaku VMS traktuje się jako pokrycie punktu fiksacji z powierzchnią znaku. Obserwowano nieliczne przypadki, że takie pokrycia nie było. W takim przypadku korelowano najbliższy punkt fiksacji z czasem wypowiedzania komunikatu Widzę. Ponadto kalibrowano punkty pomiarowe w ET zgodnie ze specyfikacją producenta SMI (ten problem można rozwiązać przez separację sceny PKD i jej tła. Ten problem może wynikać również z procesu kalibracji urządzenia do Eye Trackingu i cech narządu wzroku osoby badanej. Stanowi to interesujący wątek badawczy, tym niemniej wyłączony z zakresu pracy (w badaniach nie korzystano z pomocy optyka/okulisty). Badania pilotażowe trwały wiele dni z wykorzystaniem grup pomiarowych do kilkunastu osób dziennie, plus osoby testowe, co stanowi o złożoności prezentowanych badań. Można dodać, że w badaniach było zaangażowane kilkanaście pojazdów w tym dźwig HDS.

Zrozumienie treści komunikatu traktuje się jako ruch sakkadowy po powierzchni znaku, który można konotować z jego akwizycją (zakończenie omiatania wzrokiem treści komunikatu, co jest rutynowe w przypadku piktogramów). Ten czas i towarzyszące jemu reakcje oczu kierującego łatwo ustalić na podstawie łączenia tych reakcji z czasem wypowiedzania komunikatu Rozumiem. Pojawiają się tu odpowiednie wzorce przestrzenne. Zasadniczo w pierwszym kroku następuje zorientowanie wzroku (fokus) na znaku, obejmujący w większości przypadków tylko jego część, a następnie ruch sakkadowy obejmuje całość komunikatu ruchem wodzącym (odczytanie komunikatu). Ewentualnie następuje charakterystyczne drganie/wodzenie wzroku po obiekcie piktogramu. Autor dysponuje danymi w tym zakresie jakkolwiek wzorce rozpoznawania znaków drogowych nie są przedmiotem analizy tego opracowania. Ich analiza wymaga zastosowania uczenia maszynowego.

Zjawiska te zilustrowano na rysunku 12.



Rys. 12. Schemat percepcji znaku i widzenia znaku

Czas reakcji (od chwili reakcji do uruchomienia jakiegoś podzespołu pojazdu z włączeniem czasu reakcji fizycznej/naturalnej) na treść komunikatu jest mierzony w podsystemach autodiagnostyki pojazdowej (badania pilotażowe), które uzupełniono w badaniach zasadniczych o autorski system wspomaganie wibroakustycznego. W związku z tym można wyróżnić następujące potencjalne błędy pomiarowe:

- czasu postrzegania, Δ_{po} (błąd określony miarą kątową urządzenia do ET wynoszący $>1^\circ$, plus problem kalibracji osoby badanej, gdzie często pojawia się dodatkowe przesunięcie)
- czasu percepcji, Δ_{pe} (j.w.)
- czasu reakcji, Δ_{rb} (niepewność pomiaru i częstotliwość próbkowania w systemie autodiagnostyki i wibroakustycznym).

Dwa pierwsze wynikają ponadto z cech osobniczych i zastosowanego systemu notacji komunikatu werbalnego (zapis audio wideo). Trzeci ze specyfiki podsystemów autodiagnostyki pojazdowej. Zasadniczo, z drobnymi wyjątkami można zapisać, że (w kierunku upływu czasu):

$$Czas_reakcji < Czas_rozumieć < Czas_widzę$$

Podobnie definiuje się odległości dla procesu biologicznego i mentalnego, odpowiednio postrzegania i percepcji znaku VMS.

Na podstawie zrealizowanych badań z wykorzystaniem ET, autodiagnostyki pojazdowej i wspomaganie wibroakustycznego. Dzięki zastosowaniu znaczników bodźców w formie

znaczników werbalnych (komendy „widzę” i „rozumiem”) określono estymatory kolejnych składowych czasów percepcji i reakcji:

- czas widzialności znaku, który określa czas od momentu wyruszenia pojazdu z określonego miejsca startowego do momentu wypowiedzenia komendy „widzę”. Czas ten może być miarą określającym widoczność znaku w zależności od wielkości znaku, zastosowanego komunikatu lub piktogramu (wielkość liter) lub miejsca usytuowania znaku. Czas ten wyznaczany jest na podstawie deklaratywnej komendy kierującego pojazdem i liczony od początku pomiaru z wyznaczonej pozycji startowej;

- czas rozpoznawalności (czytelności) treści komunikatu wyznaczany jako różnica pomiędzy deklaratywnym czasem komendy „rozumiem” i czasem komendy „widzę”. Czas ten może być miarą czytelności komunikatu (np. różnica w liczbie znaków liter w komunikacie, czytelność piktogramu itp.). Wzór na czas rozpoznawalności (czytelności) treści komunikatu jest następujący:

$$t_{roz} = t_r - t_w [s] \quad 1)$$

t_r - czas wypowiedzenia komendy „rozumiem”

t_w - czas wypowiedzenia komendy „widzę”

- czas intuicyjności komunikatu (czas reakcji) wyznaczany jako różnica pomiędzy deklaratywnym czasem komendy „rozumiem” i obiektywnym czasem początku (inicjacji) reakcji. Czas ten może być miarą doboru treści komunikatu pod kątem intuicyjnej „zrozumiałości” (np. zrozumienie komunikatu sprawdź pasy – dla jednego to sprawdzenie zapięcia dla innego sprawdzenie naprężenia pasa). Wzór na czas intuicyjności (czytelności) treści komunikatu jest następujący:

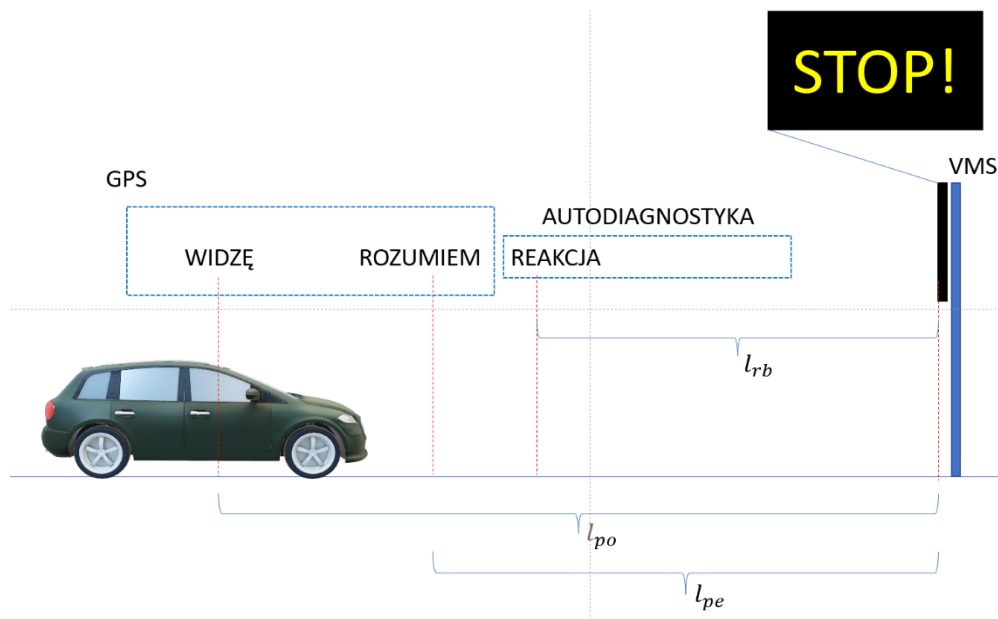
$$t_i = t_{reak} - t_r [s] \quad 2)$$

t_{reak} - czas początku (inicjacji) reakcji

W opracowanej metodzie badań zastosowano system wspomaganie wibroakustycznego oraz kodowanych sygnatur komend. Na podstawie, których wyznaczano znaczniki czasowe w synchronizowanych wielkościach pomiarowych definiujących parametry jazdy. Jako swoiste

znaczniki pomiarowe stosowano, komendy werbalne „widzę” i „rozumiem” oraz oczekiwane i znaczące zmiany parametrów jazdy i drgań nadwozia pojazdu.

Z analizowanymi czasami związane są określone odległości pojazdu kontrolnego od lica znaku VMS. W modelu zdefiniowano odległości reakcji, postrzegania komunikatu i percepcji. Podejście takie uzasadnione jest brakiem możliwości porównywania czasów reakcji dla różnych prędkości jazdy. Poniżej przedstawiono definicje i interpretacje przyjętych w modelu odległości. Zdefiniowane i przyjęte w modelu odległości przedstawiono na rys. 13.



Rys. 13. Schemat percepcji znaku i widzenia znaku

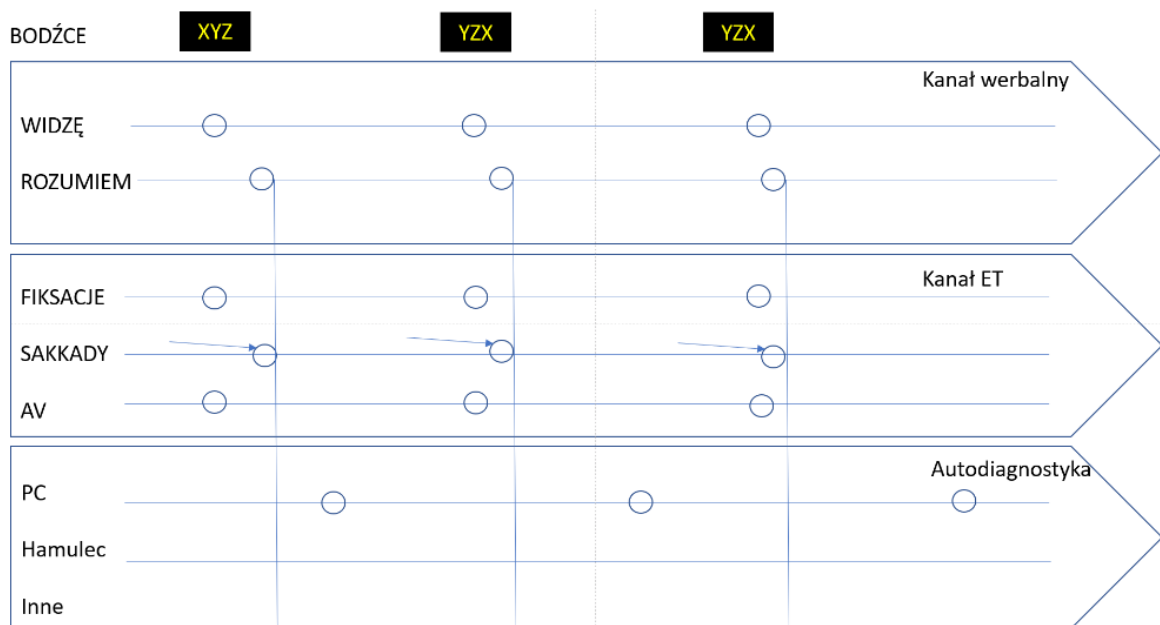
Odległość postrzegania komunikatu l_{po} to dystans od VMS, na którym kierujący pojazdem dostrzega znak i komunikat (dostrzeżenie samego znaku bez treści niewiele wnosi do jego stanu wiedzy, poza koniecznością zwiększenia uważności).

Odległości percepcji to dystans od znaku VMS, l_{pe} , na którym kierujący przetworzył (odczytał) komunikat VMS i go zrozumiał. Wartości tych odległości uzyskuje się w ten sposób, że kierujący pojazdem podaje komunikaty (w zależności od stopnia komplikacji komunikatu pojazd może w tym czasie przejechać nawet kilkadziesiąt metrów).

Odległość reakcji (bezwzględna), l_{rb} jest to dystans do znaku VMS, na którym to dystansie następuje reakcja kierującego pojazdem zbliżającym się do lica VMS na treści wyświetlane na

tym znaku. Odległość reakcji wynika z czynności manualnych wykonywanych przez kierującego związanych z obsługą pojazdu mechanicznego a uwzględniających dostrzeżone i zrozumiane treści. Odległość ta jest poprzedzana przez odległości: związanej z postrzeganiem komunikatu (a właściwie jego pierwszym postrzeżeniem jako bodźca dystalnego) i percepcją znaku (jego zrozumieniem). Na tej odległości może być realizowana np. droga hamowania. Na tej odległości kierowca może spróbować przyspieszyć i wyprzedzić pojazd szynowy.

Podobnie jak dla czasów korelowane są informacje z kanału werbalnego i sygnały z urządzeń pomiarowych. Zilustrowano to na rysunku 14.



Rys. 14. Kanały informacyjne wykorzystane w badaniu i ich związki

Na schemacie pokazanym na rys. 14 widać wzajemne konotacje pomiędzy sygnałami informacyjnymi w poszczególnych kanałach: werbalnym, ET i autodiagnostycznym. Obserwacja tych kanałów z wykorzystaniem wspólnej podstawy czasu (synchronizacja na jeden zegar w sieci WWW) pozwala na porównywanie tych punktów ze sobą i określanie właściwych wzorców w sygnałach z ET i autodiagnostyki.

Odległości reakcji, postrzegania i percepcji mogą być mierzone z wykorzystaniem systemu WGS 84 (NEMA 180), markerów trasowanych na jezdni toru testowego lub przypisywane mogą im być sygnatury czasowe z ET.

W badaniu tor testowy został odceniony z wykorzystaniem markerów fluorescencyjnych (co 1 metr + linia tzw. pit stop co 10 metrów) jak również urządzeń do dyskretnej lokalizacji położenia pojazdu (czujniki ultrasonograficzne, notowany przód pojazdu testowego, na rys.

oznaczone jako tzw. muchołapki). Każdy sygnał pojawiający się w kanałach informacyjnych może być przypisany do określonego przekroju drogi na torze testowym (dokładność do 1 metra).

Odległość reakcji jest dystansem jaki dzieli przekrój drogi, w którym następuje dostosowanie parametrów jazdy do treści rozpoznanego znaku a przejazdem PKD. Dla odległości można przyjąć jako punkt odniesienia zapory przejazdowe, znak B20, lub SDKP (sygnalizator drogowy przejazdu kolejowego). Odległość reakcji od lokalizacji znaku VMS powinna być jak największa. Z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że:

$$\text{Odległość}_{\text{widzę}} > \text{odległość}_{\text{rozumię}} > \text{odległość}_{\text{reakcji}} \quad 3)$$

W relacji można zastawać relacje nieostre, ale tego wątku nie badano szczegółowo.

Odległość reakcji liczona jako miejsce reakcji od lica znaku:

$$l_{rb} = l_{VMS} + \Delta S \quad 4)$$

gdzie:

ΔS – różnica odległości miejsca reakcji i lokalizacji znaku

l_{VMS} - lokalizacja VMS (wymaga zastosowania układu współrzędnych WGS 84 lub inny, np. kilometraż drogi)

4.2 Model doboru treści komunikatu

Parametry odpowiednich czasów i odległości traktowane są jako zmienne objaśniane. Od ich wartości (czasu / odległości) zależy zasadność wyboru określonego znaku (treści komunikatu) wyświetlanego na VMS. Ta zasadność jest walidowana i modyfikowana przez analizy komponenty postawy behawioralnej kierujących pojazdami (ankiety zamieszczone w rozprawie).

Z uwagi na bezpieczeństwo ruchu, większa odległość identyfikacji (w konsekwencji reakcji) umożliwia bezpieczne dostosowanie parametrów ruchu pojazdu do wyświetlanych treści.

Podobnie jest z wymienionymi czasami. Poniżej zdefiniowano model i zmienne objaśniające dla odpowiednich czasów i odległości.

Zasadniczo model rozpoznawania treści komunikatu można zapisać w formie uporządkowanej dziewiątki:

$$MRTVMS = \langle D, W, P, C, K, L, ET, ADS, F \rangle \quad 5)$$

gdzie:

- D - Zbiór opisujący parametry drogi (podejścia na PKD), parametry geometryczne i strukturalne, organizacyjne itp.
- W - Zbiór opisujący widoczność, widoczność w metrach, z różnych pasów
- P - Zbiór opisujący warunki atmosferyczne, różne widoczności w tych samych warunkach atmosferycznych- np. zanieczyszczenie)
- C - Zbiór opisujący kierującego pojazdem (różnorodne cechy osobowe i behawioralne, wiek, wzrost, staż za kierownicą itp.)
- K - Zbiór parametrów komunikatu (treść, długość słowa, wymiary znaku, kolor, piktoram itp.)
- L - Sposoby montażu znaku w przekroju drogi (prawo, lewo, góra)
- ET - Zbiór danych ET (fiksacje, sakkady, AOI itp.)
- ADS - Pomiar reakcji z wykorzystaniem autodiagnostyki pojazdowej
- F - Relacje funkcyjne łączące poszczególne parametry modelu

Z uwagi na rozmiar i zakres badań oraz ograniczenia finansowo-organizacyjne badania procesu rozpoznawania treści komunikatów zawężono do następujących zbiorów:

- zbioru komunikatów (24 elementy) - K,
- zbioru określającego sposób montaż (2 elementy: góra, lewo) – L, w/po badaniach pilotażowych wybrano montaż konwencjonalny
- zbioru danych ET,
- zbioru danych auto diagnostycznych - ADS.
- dane uzupełniające (GPS, muchołapki itp.)

Pozostałe zbiory z uwagi na warunki pomiaru należy uznać za stałe, z wyjątkiem zbioru C opisującego kierującego pojazdem, jednak w tym przypadku zastosowano różnorodną próbę badawczą.

Zbiór opisujący parametry drogi dotyczy geometrii podejścia na PKD, na którym usytuowany jest badany znak. W praktyce podejścia do PKD mają bardzo różną geometrię i należałoby analizować pewne kategorie podejść po ich uprzedniej klasyfikacji. Tym bardziej, że ta geometria ma wpływ na percepcję znaku VMS. Takie badanie ogranicza zdefiniowany zakres prezentowanej rozprawy jakkolwiek pojedyncze parametry geometrii drogi wykorzystano w funkcjach opisujących poszczególne czasy i odległości definiowane w tym rozdziale. Przebadanie różnych możliwych konfiguracji przekracza zakres tej rozprawy z uwagi na możliwości techniczno-organizacyjne i finansowe Autora.

Zbiór opisujący widoczność jest również istotny tym bardziej, że zmienność obserwowanych charakterystyk może być szczególnie silna w tym zakresie (odległość percepcji we mgle). W badaniu, z uwagi na ograniczony zakres, zdecydowano się na realizację pomiarów przy maksymalnej widoczności (250 [m]) w warunkach słonecznej pogody bez opadów i zanieczyszczeń powietrza (te występowały w różnych dniach badań w ograniczonych przedziałach czasowych). Otrzymane w pracy rezultaty traktować należy zatem jako wartości (czasu i odległości) maksymalne i zarazem jako referencyjne w idealnych warunkach ruchowo-atmosferycznych. Przebadanie różnych możliwych warunków atmosferycznych przekracza zakres tej rozprawy z uwagi na możliwości techniczne-organizacyjne i finansowe Autora. Jakkolwiek tu mogą występować pewne różnice w zakresie przedmiot analizy (np. śnieżyce)

Zbiór opisujący warunki atmosferyczne został również wyeliminowany z uwagi na zakres prac jakie wymagałoby uwzględnienie szerokiego spektrum różnych warunków jakie można obserwować w Polsce.

Zbiór opisujący kierującego pojazdem znalazł ograniczone zastosowanie w formie współczynników korygujących stosowanych w przedstawionych niżej zależnościach. Przebadanie różnych konfiguracji próby reprezentatywnej osób badanych przekracza zakres tej rozprawy z uwagi na możliwości techniczne-organizacyjne i finansowe Autora. W ograniczonym zakresie wariantowano wiek osoby badanej, płeć, wykształcenie, staż za kierownicą itp.

Zbiór parametrów komunikatu ma z całą pewnością największy wpływ na czas percepcji znaku i wynikająca stąd możliwość wykonania reakcji. W tym kontekście znaki podzielić należy na: tekstowe, graficzne i mieszane. Kolejnym parametrem znaku jest długość tekstu komunikatu i liczba wierszy jeżeli występuje więcej niż jeden. Wynika to z czasu jaki jest potrzebny na odczytanie treści komunikatu. Standardowo wg. badań empirycznych człowiek jednorazowo

czyta od 4 do 8 znaków. Kolejny wiersz wymaga ponadto wykonania ruchu sakkadowego o średniej amplitudzie. Kolejny istotny parametr to miganie komunikatu, w badaniach zdecydowano się uwzględnić również impulsową pracę znaku VMS. Kolejne istotne parametry komunikatu to jego kompozycja barwna, przy czym zdecydowano się na zastosowania kombinacji BO, (czarno-pomarańczowy). Ten zbiór wynika z przeprowadzonej metody delfickiej pozwalającej na dobór standardowych treści komunikatów.

Sposoby montażu znaku w przekroju drogi (prawy, lewy, góra). W ramach badań pilotażowych umieszczano znak VMS w różnych konfiguracjach ostatecznie zdecydowano się na badanie montażu po prawej stronie jezdni i bezpośrednio nad jezdnią, w badaniu finalnym wyłącznie po prawej stronie jezdni.

Zbiór danych ET, zdecydowano się umieścić w opisanych niżej zależnościach z uwagi na ich różną specyfikę. Większość charakterystyk ET opiera się na zmierzonych punktach fiksacji. Tym niemniej zaawansowane przetwarzanie tych punktów powoduje, że na proces percepcji i postrzegania znaku VMS można patrzeć w różny sposób - przez różne zmienne. Przy czym w każdym badaniu określano każdorazowo: parametr Eye Trackingowy analizowany, lokalizację VMS, rozdzielono pomiary w zakresie ET i autodiagnostyki (przy wspólnej podstawie czasu). Stosując takie kategoryzowanie profilu badania można zapisać badane zmienne objaśniane z wykorzystaniem zaledwie kilku zmiennych objaśniających. Podano zależności dla pomiarów z wykorzystaniem Eye Trackingu.

Zbiór danych z wykorzystaniem autodiagnostyki pojazdowej oraz podsystemu wspomaganie wibroakustycznego służy do obiektywnej analizy i oceny reakcji kierowcy w kontekście doboru komunikatu znaku VMS. Określając treści komunikatów uwzględnia się przede wszystkim oczekiwane zachowanie kierującego pojazdem na wyświetlony komunikat. Obiektywnym przejawem poprawności reakcji kierowcy jest zmiana parametrów jazdy, w tym zatrzymanie. Rejestrując wybrane sygnały z magistrali CAN oraz drgania nadwozia istnieje możliwość identyfikacji reakcji, np. poprzez spadek prędkości jazdy, naciśnięcie dźwigni hamulca, zmiany prędkości obrotowej silnika lub przyspieszeń drgań wzdłużnych. Zestawiając synchronicznie rejestrowane czasy komunikatu werbalnego (rozumieniem) oraz początku reakcji (zmian parametrów jazdy) istnieje możliwość oceny czasu reakcji, w tym inicjacji działania.

Zbiór danych F określa relacje funkcyjne łączące poszczególne parametry modelu, definiując zmienne współzależne. Wzajemne relacje poszczególnych parametrów modelu mogą mieć charakter zmienny ponieważ dotyczą badań o charakterze behawioralnym.

4.3 Czasy reakcji

Jako zmienne objaśniane w zaproponowanym modelu rozpoznawania i doboru treści komunikatu znaków VMS przyjęto czasy reakcji. Zaproponowano ogólny zapis funkcyjny kolejnych czasów.

Czas reakcji bezwzględny to czas, w którym zachodzi obserwacja zmiany parametrów pojazdu po dostrzeżeniu i zrozumieniu treści komunikatu. Czas ten zależy od czasów postrzegania i percepcji a wpływające na jego wartość zmienne to:

$$t_{rb} = f(k_i, \Delta t, et_j, l_m, v_t, \Delta l, w_s, \rho, \varepsilon, Q, TR, \tau, SN, RV) / w_o \rightarrow \quad 6)$$

*max****

, gdzie (podano w kolejności wpływu na procesy postrzegania i percepcji):

- k_i - i-ty komunikat [1..24]
- Δt - różnica czasu pomiędzy chwilą dostrzeżenia znaku a jego rozpoznaniem [ms]
- et_j - j-ty parametr Eye Trackingowy [ket]*
- l_m - m-ty sposób montażu [L,R,U]
- v_t - prędkość chwilowa pojazdu [m/s]
- Δl - aktualna odległość pojazdu od znaku VMS [m]
- w_o - korekta behawioralna [-]
- w_s - parametr związany z kategorią pojazdu [SOD,S.C.,A]
- ρ - inercja w układzie/hamowania/przyspieszania [ms]
- ε - czas reakcji kierującego (cecha psychofizyczna)[ms]
- Q - natężenie ruchu na pasie/ ważone natężeniami z pasów sąsiednich jeśli występują [poj./h]
- TR - typ reakcji (hamowanie, przyspieszanie, zmiana biegu)** [0,1,2]
- τ - typ jednostki napędowej [Pb,ON,E,HYB]
- SN - stan nawierzchni [1..10]
- RV - pozycja pojazdu szynowego [-]

*- to jaki parametr ET uwzględniamy w obliczeniach może mieć wpływ na identyfikację czasu (jej wartość)

**- ten parametr w systemie diagnostyki można wartościować zakresowo.

***- jako największa różnica między tym czasem a chwilą minięcia znaku VMS (lub zatrzymania się przed nim)

Podczas badań poligonowych (pilotażowych i zasadniczych) i w trakcie ich analizy, czasy te w praktyce są odczytywane z zapisu AV filmów w układach pomiarowych (ET i kamkordery i z podsystemu autodiagnostyki). Empirycznie czas ten wyznaczano zgodnie z zależnością:

$$t_{rb} = t_{mVMS} - t'_{rb} \quad 7)$$

t_{mVMS} - czas osiągnięcia lica znaku VMS [ms]

t'_{rb} - czas znalezienia się pojazdu w przekroju, w którym nastąpiła reakcja [ms]

Na bazie pomiaru czasu reakcji, postrzegania i percepcji możemy zapisać, że całkowity czas jazdy od chwili dostrzeżenia znaku VMS do PKD wynosi:

$$t_j = \Delta t + t_{rb} + t_{wrb} \quad 8)$$

gdzie:

t_{wrb} - właściwy czas reakcji psychofizjologiczny (dane populacyjne)

Czas reakcji względny to prognozowany czas dojazdu kierującego do przejazdu PKD przy znanej prędkości i odległości pojazdu od lica znaku VMS. Jest to czas pozostający do chwili potencjalnego konfliktu z pojazdem szynowym. Czas ten zależy od czasu dojazdu do PKD pojazdu szynowego a wpływające na jego wartość zmienne to (max. oznacza tu oddalenie od lica znaku):

$$t_{rw} = f(k_i, \Delta t, et_j, l_m, v_t, \Delta l, w_s, g, Q, TR, K, \tau, SN, PP)a/w_o \quad 9)$$

→ max

k_i - i-ty komunikat [1..24]

Δt - różnica czasu pomiędzy chwilą dostrzeżenia znaku a jego rozpoznaniem [ms]

et_j - j-ty parametr Eye Trackingowy [ket]

l_m - m-ty sposób montażu [R,L,U]

- v_t - prędkość chwilowa [m/s]
- Δl - aktualna odległość od znaku VMS [m]
- w_o - korekta behawioralna [-]
- w_s - parametr związany z kategorią pojazdu [SOD,S.C.,A]
- g - pochylenie drogi [%]
- a - przyspieszenie pojazdu w chwili reakcji [m/s²]
- Q - natężenie ruchu na pasie [poj./h]
- TR - typ reakcji (hamowanie, przyspieszanie, zmiana biegu)** [0,1,2]
- K - gęstość ruchu na pasie [poj/m]
- τ - typ jednostki napędowej [Pb,ON,E,HYB]
- SN - stan nawierzchni [1..10]
- PP - prognoza sytuacyjna w układzie PKD

Z uwagi na problematyczne obliczenia i przeliczenia tego parametru dalej nie badano (dalszy ruch pojazdu do lica VMS zależy od zbyt wielu parametrów, które szacuje się za pomocą PP – tzw. prognozy sytuacyjnej w układzie PKD).

Czas postrzegania, definiowany jest jako chwila dostrzeżenia znaku, zatem nie ma na ten proces wpływu sama treść komunikatu, jego kompozycja i struktura (uwzględniane w funkcji opisującej czas percepcji), ale przede wszystkim widoczność powierzchni znaku na tle sceny ruchu i pewna jej konfiguracja. Czas ten zapisujemy w postaci zależności:

$$t_{po} = f(k_i, w_{VMS}, \Delta_B, L, \varphi, et_j, l_m, v_t, \Delta l, \beta, \alpha, p, N, Q, QL, QP, QVD)/w_o \rightarrow max \quad 10)$$

- k_i - i-ty komunikat [1..24]
- w_{VMS} - proporcja powierzchni znaku do pola widzenia [%], szacowana tabelarycznie
- Δ_B - różnica – kontrast znak VMS/tło [1:n]
- L - luminancja znaku [cd/m²] wg. Danych producenta
- φ - kąt pomiędzy osią drogi a linia kolejową [°]

- et_j - j-ty parameter Eye Trackingowy [ket]
- l_m - m-ty sposób montażu [R,L,U]
- v_t - prędkość chwilowa [m/s]
- Δl - aktualna odległość od znaku VMS [m]
- w_o - korekta behawioralna [-]
- w_s - parametr związany z kategorią pojazdu [SOD,S.C., A]
- β - stan uważności/zmęczenie kierującego (mierzony np. za pomocą pomiaru procesu mrugania w Eye Trackingowym urządzeniu)
- α - przejrzystość powietrza [AQI] Wskaźnik jakości powietrza AQI (z ang. Air Quality Index) to indeks poziomu zanieczyszczeń.
- p - obecność pasażera [binarnie]
- N - hałas w pasie drogowym [dB]
- Q - natężenie na badanym pasie [poj./h]
- QL - natężenie na lewo od badanego pasa [poj./h]
- Qp - natężenie na prawo od badanego pasa [poj./h]
- QVD - comfort quality driving, wyposażenie pojazdu, systemy rozpoznawania znaków itp..

Czas percepcji, definiowany jako chwila w której następuje zrozumienie treści komunikatu podawanego na znaku VMS, zależy w znacznej mierze od sposobu w jakim ta treść jest podawana, od struktury i formy komunikatu. Dłuższy komunikat wpływa na zwiększenie czasu percepcji. Jego bardziej rozbudowana warstwa treści również. Czas ten można zapisać jako:

$$t_{pe} = f(k_i, k_w, k_{dw}, k_k, k_b, et_j, l_m, v_t, \Delta l, \Delta t, dt, \beta, \alpha, p, N, Q, QL, QP, QVD)/w_o \rightarrow \max [ms] \quad (11)$$

- k_i - i-ty komunikat, treść jako taka: jeden z 24 analizowanych znaków [-] [1..24]
- k_w - liczba wierszy komunikatu [-]
- k_{dw} - długość najdłuższego wiersza [zn]
- k_k - zastosowany schemat barwny [bo, br, bg] -> bo black/orange
- k_b - zastosowane stałe lub impulsowe wyświetlanie komunikatu [0/1]

- Δt - różnica między czasem postrzegania i percepcji [ms]
- l_m - m-ty sposób montażu [R,L,U]
- v_t - prędkość chwilowa [m/s]
- Δl - aktualna odległość od znaku VMS [m]
- w_o - korekta behawioralna [-]
- dt - aktualny czas jazdy
- β - stan uważności/zmęczenie kierującego (mierzony np. za pomocą pomiaru procesu mrugania)
- α - przejrzystość powietrza [AQI] Wskaźnik jakości powietrza AQI (z ang. Air Quality Index) to indeks poziomu zanieczyszczeń.
- p - obecność pasażera

Z oczywistych względów na postrzeganie wpływ ma mniejsza liczba czynników niż na percepcję, w którą zaangażowane są również procesy kognitywne. Postrzegać to widzieć lico znaku, z komunikatem, ale jeszcze bez jego zrozumienia.

Percepcja oznacza zrozumienie treści komunikatu, które wymaga zaangażowania procesów kognitywnych a nie tylko procesu postrzegania w kanale wzrokowym (uwzględnia same latencje w torze wzrokowym). To właśnie w tym przypadku dobór treści komunikatu ma istotne znaczenie. Ponieważ jedne z treści mogą być odczytywane lepiej a inne gorzej, co związane jest z intuicyjnością komunikatu. Na rysunku 15 przedstawiono przykładowe komunikaty VMS, które z uwagi na ich strukturę znacząco różnią się czasem percepcji.



Dwa wiersze, 18 znaków, polskie litery

Dwa wiersze, 11 znaków, polskie litery,
Dwa piktogramy o trudno czytelnym kształcie

Jeden wiersz, 6 znaków

Rys. 15. Trzy treści komunikatu o odmiennym czasie percepcji

Na rysunku 15 widać złożoność problemu. Jednorazowo czytający ogarnia do 7-9 znaków, przy średniej 4-5. Dalszy odczyt możliwy jest przez ruch sakkadowy, który przeniesie punktu fiksacji.

Podczas gdy komunikat awaria jest (lub może być czytany) czytany „na raz”, góra na dwa ruchu oczu, to pozostałe treści wymagają większej liczby ruchów sakkadowych (w tym w pionie), ponadto łączenie obrazków i tekstu może wprowadzać błędy poznawcze i stwarzać problemy innej natury.

Drugim istotnym parametrem wpływającym na czas percepcji jest treść komunikatu i związana z tym jego intuicyjność. Niektóre komendy są na tyle ogólne, że trudno spodziewać się określonej reakcji (np. AWARIA). To wydłuży czas reakcji... Taka kategoryzacja odpowiedzi kierującego na komunikat przekracza zakres niniejszej rozprawy. Określić je wtedy można jako komunikaty nieintuicyjne. Przykładem treści, która ma silnie intuicyjny charakter jest komenda STOP, która jednoznacznie określa oczekiwaną reakcję i nie wprowadza konieczności interpretacyjnej. Zbadanie parametrów statystycznych tych reakcji wymaga zastosowania rozmiarów próby, przekraczających możliwości organizacyjne Autora, aczkolwiek jest to interesujący przyczynek do dalszych prac w tym zakresie.

Dodatkowo podczas definiowania czasów reakcji zdecydowano się uwzględnić korektę behawioralną, która może znacząco determinować wartości czasów. Z uwagi na ograniczony zakres badań przyjęto uproszczoną interpretację korekty behawioralnej zakładając, że na rozpoznawanie treści komunikatu wpływ ma stan narządu wzroku (bez korekcji, z korekcją). A zauważyć należy, że wpływ ten występuje w perspektywie wielu uwarunkowań znajdujących się głównie po stronie kierującego pojazdem.

4.4 Odległości reakcji

Z uwagi na fakt, że czasy reakcji, ale również w mniejszym stopniu postrzegania i percepcji znacząco zależą od prędkości jazdy, co utrudnia porównywanie kolejnych znaków VMS, analogicznie zdefiniowano kolejne odległości związane z reakcją na znak VMS.

Odległość reakcji, definiowana jako dystans pomiędzy przekrojem sieci drogowej w której reakcja ma miejsce a lokalizacja lica znaku VMS, ma ona wpływ na bezpieczeństwo ruchu, można go zgrubnie oszacować w formie:

$$l_{rb} = t_{rw} \bar{v}_{rb} \rightarrow \max \quad 12)$$

\bar{v}_{rb} - średnia prędkość pomiędzy przekrojem sieci drogowej w którym następuje reakcja, a przekrojem lokalizacji znaku VMS

Zakładając, że zgodnie z prawem o ruchu drogowym po wystąpieniu reakcji po stronie kierującego pojazdem nie nastąpi przyspieszenie, jak również w zgodzie z tym prawem redukcja prędkości nie będzie miała gwałtownego charakteru. Proponuje się uwzględnienie pomiaru średniej prędkości z uwagi na fakt, że po reakcji z pewnością jakieś ograniczenie prędkości powinno nastąpić na odcinku od miejsca reakcji do lica znaku VMS.

Dodatkowo wprowadzono pojęcia odległości postrzegania i percepcji komunikatu znaku VMS.

Odległość postrzegania:

$$l_{po} = t_{rw} v_{po} \rightarrow \max \quad 13)$$

v_{po} - prędkość w przekroju sieci drogowej w którym następuje postrzeganie

Z samego faktu dostrzeżenia znaku nie wynika, jeszcze, żadna reakcja a tym samym regulacja prędkości. W związku z czym można do obliczeń przyjąć prędkość obserwowaną w tym przekroju (przekrój postrzegania).

Odległość percepcji:

$$l_{pe} = t_{pe} \sup(\bar{v}_{pe}, v_{pe}) \rightarrow \max \quad 14)$$

\bar{v}_{pe} - średnia prędkość pomiędzy przekrojem sieci drogowej w którym następuje percepcja, a przekrojem lokalizacji znaku VMS

v_{pe} - prędkość w przekroju w którym rejestrowana jest percepcja

W tym przypadku aczkolwiek, nie jest jeszcze obserwowana zmiana prędkości, to sam fakt percepcji może powodować:

- utrzymanie dotychczasowej prędkości, jeśli treść komunikatu nie nakazuje zachować się w inny sposób (sytuacje szczególne);
- redukcję prędkości pojazdu na odcinku od przekroju percepcji do lica znaku, jeśli wynika to z treści komunikatu (dotyczy większości treści komunikatów wyświetlanych na VMS).

5. Badania empiryczne

Badania niezbędne dla realizacji celu oraz weryfikacji tezy rozprawy doktorskiej zrealizowano w okresie od 02.2018 do 03.2022 r. W badaniach wykorzystano dostępne systemy i urządzenia pomiarowe.

W celu analizy parametrów procesu postrzegania komunikatu VMS zastosowano dwa podstawowe komplementarne kanały informacyjne. W jednym badając ten proces przez pomiar pracy narządu wzroku (technika Eye Tracking). W drugim przez pomiar danych z systemu diagnostyki pojazdu testowego (dane z magistrali CAN i innych urządzeń autodiagnostyki pojazdowej) oraz podsystemu wibroakustycznego (rejestracja drgań i sygnałów akustycznych). Każdy z zastopowanych systemów rejestracji wielokanałowej umożliwił prowadzenie komplementarnej analizy danych, i tak:

- system Eye Tracking, celem rejestracji parametrów procesu postrzegania treści znaku VMS, badając charakterystykę wzroku istnieje możliwość zmierzenia chwili czasu i odległości od kierowcy kiedy ostry stożek wzroku pokrywa lico znaku,
- system diagnostyki pojazdowej z wykorzystaniem kanału transmisji CAN, celem badania reakcji kierującego na postrzegane treści. Z postrzeganiem komunikatu kojarzone są reakcje kierującego pojazdem takie jak hamowanie i przyśpieszanie,
- system wspomagania wibroakustycznego, który umożliwia rejestrację przyśpieszeń drgań nadwozia w celu oceny reakcji (hamowanie, przyśpieszanie, skręt). Dodatkowo system ten zapewniał niezależny kanał informacji werbalnej, w którym badane osoby komunikowały stan postrzegania znaku VMS i komunikatu.

Jako dodatkowe badania uzupełniające zastosowano metody ankietowe (uzupełniające do badań empirycznych). Badania te umożliwiają analizę w zakresie komponentu poznawczego obecnego w populacji w stosunku do powszechnie spotykanych komunikatów treści na znakach VMS w kontekście PKD.

Badania empiryczne prowadzono w warunkach rzeczywistych z wykorzystaniem samochodów osobowych i dostawczych. Pierwsze badania rozpoznawcze prowadzono na rzeczywistych przejazdach kolejowo-drogowym w warunkach *in situ*. Kolejne badania pilotażowe i zasadnicze, z wykorzystaniem pełnowymiarowych wyświetlaczy znaków VMS prowadzono na

specjalnie przygotowanym torze testowym z wykorzystaniem określonego modelu samochodu osobowego i wyselekcjonowanej grupie badawczej.

Wnioski z przedmiotowych badań opisano w kolejnych podrozdziałach przedmiotowej rozprawy doktorskiej. Z uwagi na ilość uzyskanych w badaniach danych empirycznych, a zwłaszcza dominujący wśród nich format prezentacji w postaci charakterystyk opisywanych graficznie, zdecydowano się przenieść te dane do załączników do niniejszej rozprawy (5 plików elektronicznych, w takiej formie z uwagi a ich objętość, w archiwum Autora).

W pracy ograniczono się do opisu poszczególnych charakterystyk wykorzystanych w analizie danych i prezentacji najważniejszych danych pomiarowych. Umożliwia to zachowanie przejrzystości treści prezentowanych w niniejszej rozprawie.

Szczegółowy opis badań zamieszczono w załącznikach:

- badania postrzegania sceny ruchu PKD przez uczestników ruchu drogowego, załącznik 1
- badania charakterystyki ruchu pojazdów i pieszych na PKD, załącznik 2,
- badanie intuicyjności postrzegania znaku VMS na PKD,
- badania ankietowe postrzegania treści komunikatów, załącznik 3,
- badania pilotażowe znaków zmiennej treści – usytuowanie lica znaku i ocena komunikatów , załącznik 4,
- badania zasadnicze znaków zmiennej treści – ocena reakcji , załącznik 5.

5.1. Badania postrzegania sceny ruchu PKD przez uczestników ruchu drogowego

Dobór rodzaju znaku VMS oraz treści komunikatu powinien uwzględniać kontekst sytuacji ruchowej, który w znacznym stopniu determinuje sposób postrzegania sceny ruchu przez jego uczestników. Zatem znak, jego treść wynikać powinien przede wszystkim z sytuacji ruchowej na PKD. Z kolei jednak ta sytuacji może być opisana po stronie organizatora ruchu przez różne treści, co jest podstawowym problemem decyzyjnym w tym podejściu. Pewne treści będą lepsze niż inne. Zadaniem Autora było zmierzenie tych różnic.

W przypadku PKD należy wyszczególnić w kontekście krzyżowanie się potoków ruchu, dysproporcję masy i długości składu pociągu i pojazdu samochodowego, szczególną

infrastrukturę transportową oraz większą liczbę bodźców wzrokowych. Dlatego w przypadku doboru znaku ostrzegawczego tak istotne jest postrzeganie sceny ruchu przez jego uczestników. W tym celu najbardziej zasadne jest przeprowadzenie badań technikami ET, które poprzez śledzenie wzroku oraz podstawowych parametrów ruchu soczewki oka umożliwią analizę postrzegania.

Oczy są narządem, który akumuluje 90% informacji z otaczającego osobę postrzegającą świata. Zatem technika ET pozwala na rejestracje i analizę niemal całego spektrum informacji jakie dochodzą zarówno do kierowcy poruszającego się po przejeździe kolejowo-drogowym jak i do maszynisty na szlaku kolejowym. Badany znak VMS ma na celu głównie informowanie kierujących pojazdami na drodze przecinającej przejazd o pojazdach szynowych zbliżających się do niego. Przy czym informacja przekazywana na temat pozycji pojazdu szynowego dotyczy przez większość czasu zbliżania się go do przejazdu, danych niedostępnych dla wzroku kierowców-zwłaszcza tych usytuowanych na kolejnych pozycjach w kolejce oczekujących pojazdów. Stanowi to więc o możliwości wprowadzenia wartości dodanej do pojemności informacyjnej użytkowników przejazdów kolejowo-drogowych.

Przed podjęciem badań zasadniczych, Autor rozpoznał podstawie zjawiska i charakterystyki towarzyszące ruchowi na PKD. W tym celu wykonał szereg badań na kilku tego typu obiektach w woj. Śląskim. Te badania, pilotażowe, stały się podstawą do przygotowania badań głównych.

Wstępne badania przedstawione w niniejszej pracy pozwoliły na zwrócenie uwagi na kilka charakterystycznych cech postrzegania otoczenia przejazdu kolejowo-drogowego przez kierujących. W dalszych badaniach technika ET pozwoli na zweryfikowanie akwizycji (przyswajania) danych przekazywanych przez znak VMS w zakresie obecności pojazdu szynowego.

Z wykorzystaniem techniki ET badano przejazdy kierowców od miejsca umieszczenia znaku oznaczającego przejazd do miejsca zjazdu z przejazdu (opuszczenie przejazdu przez obrys pojazdu). Badania prowadzono w obu kierunkach ruchu, wielokrotnie dla jednego badanego kierowcy.

Badania zachowania uczestników ruchu drogowego na PKD będą stanowiły źródło danych służących do przeprowadzenia analiz w dziedzinie standaryzacji zachowań, jak również określenia stopnia decyzyjności podczas przejazdu przez przejazd kolejowo-drogowy.

Przykładowe zdjęcie z realizacji badań ET postrzegania w otoczeniu PKD przedstawiono na rys. 16 .



Rys. 16. Badania Eye Trackingowe (widok okularów)

W badaniach szczególną uwagę zwrócono na obserwacje:

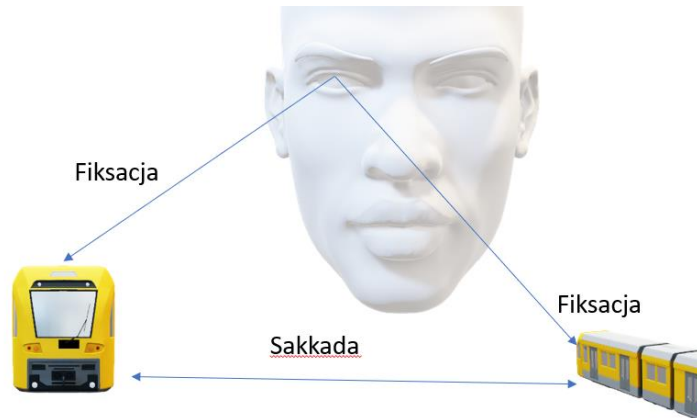
- ogólne, postrzeganie przejazdu kolejowo-drogowego przez uczestników ruchu kołowego,
- postrzeganie dodatkowych nośników informacji (znak aktywny B20, tablica LED – VMS).

W badaniu analizowano zachowania kierowców w różnym przedziale wiekowym i różnej płci. W ramach analizy wyników ET istotne są następujące parametry wzroku: punkty fiksacji, ruchy sakkadowe, średnica źrenicy i czas mrugania.

Punkt fiksacji wzroku, to punkt, na który skierowany jest wzrok osoby badanej w polu tak zwanego ostrego widzenia, jest to pole ok 2 stopni wycinanych z całego pola widzenia. Dla przykładu czytelnik książki przy odległości typowej dla czytania (35-40 centymetrów) nie jest większe od 7-9 mm. Pole widzenia często określane jest w liczbie znaków drukarskich od (4)7 do (9)10. W pewnym uproszczeniu punkt fiksacji wyznacza miejsce przecięcia się osi widzenia. Badanie tych punktów pozwala na identyfikację charakterystycznych elementów postrzegania na scenie ruchu ze strony kierującego pojazdem drogowym. Interesujące są czasy punktów fiksacji. Rozkład miejsc punktów fiksacji na scenie ruchu, w tym przypadku obszarze PKD. Te punkty to niejako wytyczne dla konfiguracji VMS i lokalizacji jego elementów.

Ruchy sakkadowe są to skokowe ruchy oczu związane z obserwowanymi obiektami, powodujące przenoszenie pola ostrego widzenia pomiędzy interesującymi obiektami na scenie ruchu, przejeździe PKD. Te ruchy są wykonywane intencjonalnie w celu obserwacji interesujących obiektów (poprzedza je proces kognitywny związany z kontekstem sytuacyjnym

i wiedzą kierującego pojazdem). W tym przypadku interesujących z punktu widzenia kierowcy przekraczającego PKD. Schemat ilustrujący punkty fiksacji i ruchy sakkadowe przedstawiono na rysunku 17.



Rys. 17. Ilustracja ruchów sakkadowych i punktów fiksacji

W badaniu określano czas trwania fiksacji wzroku uczestników badania w trakcie pokonywania przejazdu kolejowo-drogowego. Badano sposób identyfikacji (prawidłowość) znaku A9 z niewielkim wyprzedzeniem i stowarzyszone z nim wskaźniki, w mniejszym stopniu przywiązując uwagę do wskaźnika ostatniego (G1c).

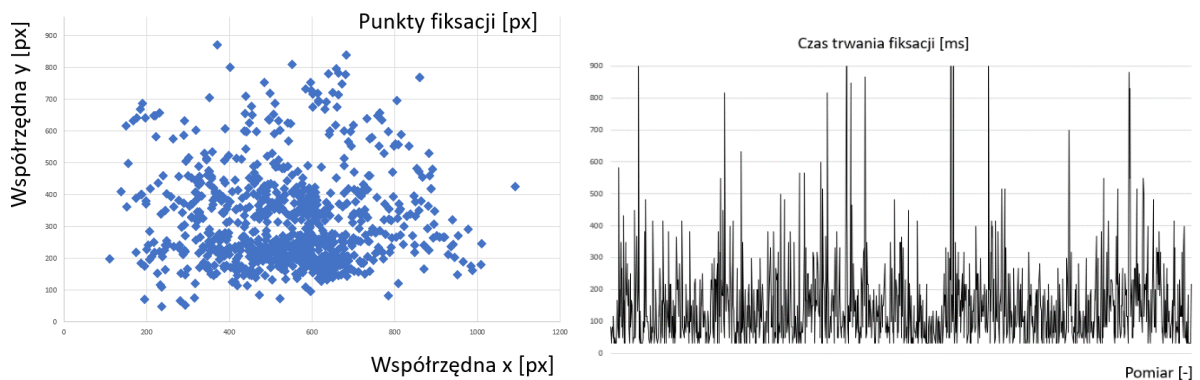
Na podstawie badań stwierdzono, że sygnalizatory przejazdowe dostrzegane są przez uczestników badania z dużym wyprzedzeniem. Kontrola otoczenia pojazdu na przejeździe nie różni się od kontroli poza jego obszarem. W badaniu obserwowano zwiększenie czasu fiksacji. Zwiększenie nastąpiło w odniesieniu do czasu fiksacji rejestrowanego bezpośrednio przed przejazdem. Kontrola obecności innych obiektów na PKD wykonywana jest etapowo. Podział na etapy wynika z obserwacji, że większy czas fiksacji jest obserwowany po przekroczeniu sygnalizatora. Na przejeździe kolejowo-drogowym uwaga jest jednak już skupiana niemal wyłącznie na strumieniu pojazdów jadących z naprzeciwka, co wymusza odpowiednie lokalizowanie elementów informacyjnych (znaków VMS) w obu strefach przejazdu lub nad jezdnią. Nie jest obserwowany istotny wzrost uważności badanych kierujących na przejeździe kolejowym.

Rozkłady punktów fiksacji i punktów ruchów sakkadowych rejestrowane są kamerą HD o rozdzielczości 960 x720 punktów obrazu. Na osi odciętych tych wykresów znajdują się współrzędne poziome tych punktów, a na osi rzędnych współrzędne pionowe tych punktów.

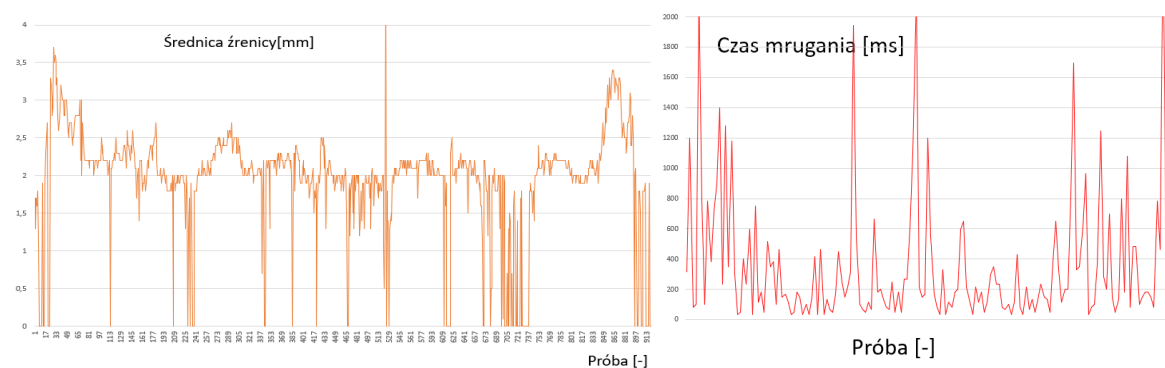
Jednostka miary dla obu osi są punkty ekranu. Środek obserwowanej sceny ma współrzędne 480 i 320 px. Tam zwykle koncentruje się uważność kierowcy.

Poniżej przedstawiono kilka przykładowych charakterystyk zrealizowanych w trakcie badania.

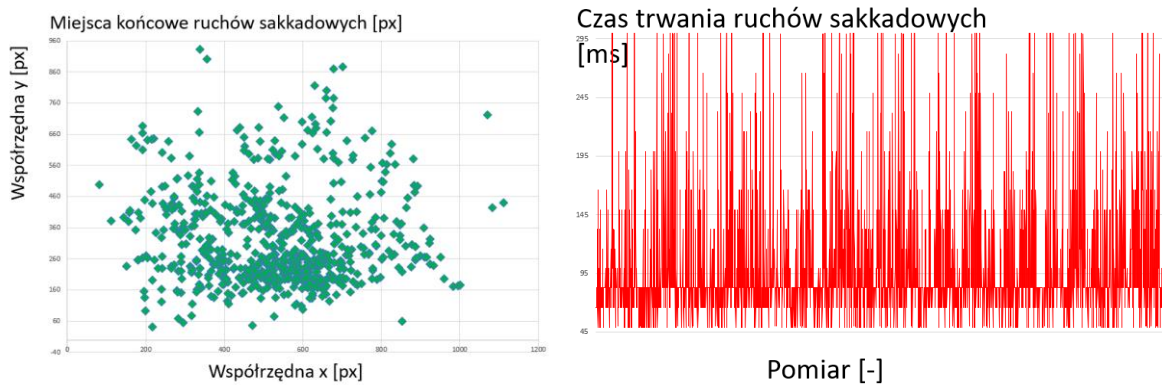
- czasy fiksacji,
- punkty fiksacji,
- średnica źrenicy,
- ruchy sakkadowe,
- czas mrugania itp.



Rys. 18. Przykładowa ilustracja rozkładu przestrzennego punktów fiksacji i czasów fiksacji



Rys. 19 Przykładowa charakterystyka narządu wzroku kierowcy: zmiany średnicy źrenicy i czasów mrugania



Rys. 20. Przykładowa ilustracja graficzna rozproszenia wzroku kierowcy

W takim rozkładzie ruchów sakkadowych widoczne są miejsca początkowe i końcowe ruchów sakkadowych. Dzięki temu można śledzić skąd i dokąd wędruje wzrok kierującego pojazdem. Wzrok ten wędruje pomiędzy punktami zainteresowania. Wzorzec rozkładu tych punktów jest istotnym kryterium wyboru VMS (znaku zmiennej treści).

Rozkład przestrzenny punktów fiksacji kierującego w czasie badania jest typowy w stosunku do badań innych kierowców i różnych dni. Trudno wyróżnić charakterystyczne wzorce na takim rozkładzie, rozkład ten jest stosunkowo jednorodny. W takim rozkładzie uwidacznia się duża asymetria pomiędzy lewą i prawą połówką sfery widzenia kierowcy pojazdu drogowego. Kierujący ma tendencję do obserwacji strumienia ruchu pojazdów jadących z na przeciwka i przyrządów pojazdu. Na przejeździe bez zapór jest to bardzo niebezpieczny rodzaj zachowania. Analogiczna asymetria rozkładu punktów ruchów sakkadowych jest obserwowana w odniesieniu do miejsc zakończenia tych ruchów. Są to punkty, na które przenoszona jest uwaga kierowcy. Uwaga jest przenoszona między generatorami uważności – impulsami. W badaniu stwierdzono, że rozkład tych punktów jest bardziej jednorodny w przestrzeni sfery widzenia, co może wskazywać na wystąpienie zwiększonej uważności kierowcy pojazdem.

Kolejnym parametrem analizowanym podczas badań były przyspieszenia ruchów sakkadowych kierowcy pojazdu drogowego. Rozmieszczenie elementów PKD w przestrzeni sceny ruchu powoduje zwiększenie przyspieszenia ruchów sakkadowych. Na obszarze przejazdu klejowo-drogowego obserwowane są silne przyrosty tej charakterystyki. Kierujący pojazdem drogowym charakteryzuje się znacznym przyspieszeniem ruchów sakkadowych oczu (podobnie amplitudą). W analizie stwierdzono, że u niektórych badanych widoczny jest spadek

czasu trwania ruchów sakkadowych na obszarze przejazdu kolejowo-drogowego. Widoczne jest tu prawdopodobnie zmniejszenie koncentracji kierującego, na krótko po jej zwiększeniu przy wjeździe na obszar przejazdu.

Dodatkowo analizowano czas mrugania kierowcy pojazdu drogowego. Ta charakterystyka wskazuje na związek wzrostu wartości tego parametru na przejeździe i bezpośrednio przed nim. PKD różnicuje ta charakterystykę przestrzennie. Wjazd na przejazd kolejowo-drogowy poprzedza seria krótkich mrugnięć. Jeszcze bardziej ta charakterystyka jest interesująca na PKD gdzie wartość tego parametru wzrasta.

Przeprowadzono także analizy fiksacji wzroku kierowcy pojazdu drogowego. Rozkład miejsc fiksacji wzroku wskazuje na te elementy, które postrzega kierujący w polu widzenia (polu ostrym). Często jednak koncentrują się w środku sceny z lekką asymetrią lewostronną (zgodną z pasem ruchu). Aczkolwiek nie można powiedzieć, że jest obserwowana silna asymetria punktów fiksacji w scenie ruchu. Taka charakterystyka może wynikać z ukształtowania profilu drogi przed przejazdem kolejowo-drogowym. To te miejsca powinno uwzględnić się w doborze lokalizacji wyświetlacza VMS.

Na podstawie badań można sformułować wniosek ogólny. W każdym z przypadków kierowcy poddanego analizie z wykorzystaniem ET obserwowany jest nieznaczny spadek uważności po wjeździe na obszar przejazdu. Działa tu aspekt zachowania stadnego i przeświadczenie o braku zagrożenia w przypadku wjazdu na przejazd z otwartymi zaporami. W tych przypadkach cała uwaga kierujących przekierowywana jest na strumień pojazdów nadjeżdżających z przeciwka. Rozkład i odstęp między tymi punktami wskazują wytyczne dla optymalnej lokalizacji VMS.

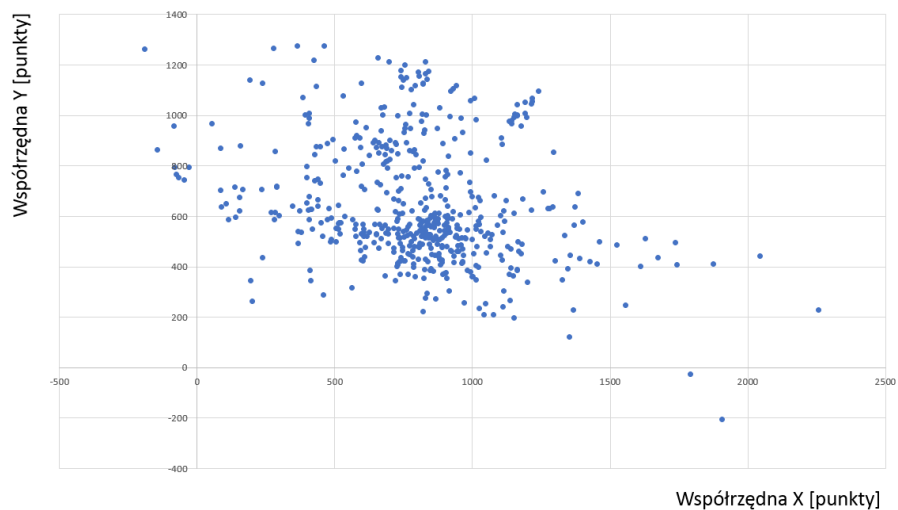
W badaniu punktów fiksacji ujawniono dynamiczny charakter postrzegania sceny ruchu przez poszczególnych kierujących. Jest on ilustrowany rozkładem punktów fiksacji. Uczestnicy ruchu drogowego z różną intensywnością skanują scenę ruchu wzrokiem. Niektórzy z nich mają tendencję do intensywniejszego przeszukiwania przedpola pojazdu. To pozwala również potwierdzić, że im wcześniej nastąpi komunikat o przeszkodzie znajdującej się na obszarze PKD tym lepiej. Stąd taką wagę w badaniach przykładają się do doboru treści komunikatu widocznego jak najwcześniej i jak najwcześniej rozumianego.

Na podstawie zrealizowanych badań można stwierdzić, że różny jest proces postrzegania sceny ruchu drogowego w obszarach przejazdów kolejowo-drogowych. Tak różny, że formułowane tu wnioski wymagają dużej ostrożności. Mimo to można wskazać pewne cechy wspólne dla

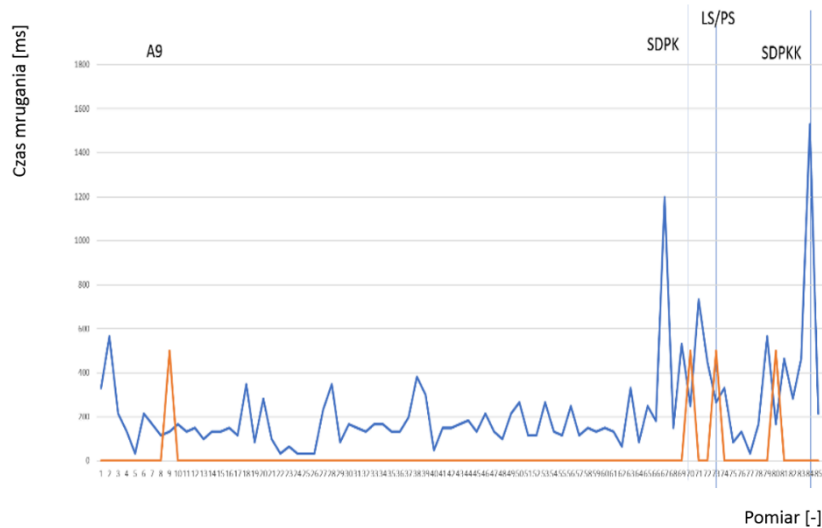
przebadanej próby kierujących pojazdami drogowymi. Widoczne w niemal każdym badaniu są charakterystyczne wzrosty uważności na drodze dojazdowej na PKD. Co więcej w pewnych przypadkach wzrost uważności kierującego pojazdem drogowym przybiera krańcowo różne wartości parametrów. Istnieje w tym zakresie wyraźna zmienność osobnicza. To wymusza wczesne ostrzeżenie kierujących pojazdami.

Obiekty PKD stanowią różne układy konfiguracji drogi i szlaku kolejowego oraz elementów oznakowania, infrastruktury społeczno-gospodarczej. Każdy przedmiot zainteresowania kierujących przyciągają ich uwagę w różny sposób. Tym niemniej można wskazać na takiej scenie ruchu interesujące fragmenty z punktu widzenia znaków VMS. Są to fragmenty sceny dobrze widoczne z daleka i raczej po prawej stronie PKD lub na górze (nad skrajnią drogi).

W zakresie rozkładu przestrzennego punktów fiksacji dominuje orientacja lewostronna na odległych obiektach (rys.21), co w żaden sposób nie jest skorelowane z obserwowanym ruchem składów pociągów w czasie realizacji badania. Nie jest zgodne również z rozmieszczeniem znaków pionowych i sygnalizatorów w kierunku ruchu na przejazd kolejowo-drogowy. Skorelowane jest natomiast z profilem podłużnym drogi z miejsca rozpoczęcia badania do miejsca lokalizacji przejazdu.



Rys. 21 Przykładowa ilustracja graficzna rozproszenia wzroku kierowcy



Rys. 22. Badania Eye Trackingowe – przykładowe dane – wykres czasu mrugania

Wykres powyższy prezentuje punkty fiksacji wzroku kierującego pojazdem kołowym w trakcie pokonywania przejazdu kolejowo-drogowego. Na rysunku 22 prezentuje czas zamknięcia oczu w trakcie przejeżdżania kierowcy przez przejazd. Z otrzymanych charakterystyk formułowano wstępne konkluzje na temat zachowania się kierowcy na przejeździe kolejowo-drogowym i jego postrzegania takiej sceny ruchu drogowego:

- kierowcy nie przywiązują znaczącej uwagi do ruchu szynowego na przejazdach kategorii wyższej niż D,
- uważność kierujących na obszarze niebezpiecznym przejazdu nie zawsze jest odpowiednia (w stosunku do odcinków drogi przed i za przejazdem),
- kierowcy postrzegają prawidłowo elementy informacyjne wyświetlacza VMS,
- kierowcy w różny sposób postrzegają przejazd kolejowo-drogowych (konieczność badań populacyjnych w przyszłości).

Dodatkowo określono czasy charakterystyczne dla przemieszczania się kierującego pojazdem kołowym przez przejazd kolejowo-drogowy. Zdefiniowano następujące charakterystyczne chwile czasu dla analizy zachowania kierującego pojazdem z wykorzystaniem techniki ET:

- osiągnięcie znaku A9/A10 (badano przejazdy z zaporami i bez zapor), wskaźnika G1a
- osiągnięcie wskaźnika G1b,
- osiągnięcie wskaźnika G1c,

- osiągnięcie sygnalizatora SDPK,
- czas podjęcia pierwszej akcji przed przejazdem związana z obserwacją ruchu kolejowego (LS),
- osiągnięcie SDKP zjazdowego.

Badanie zachowania kierujących pojazdami kołowymi na przejazdach kolejowo-drogowych opisane zostało w ten sposób charakterystycznymi chwilami czasu w trakcie pokonywania przejazdu kolejowo-drogowego. Z uwagi na różne konfiguracje przejazdu istnieją różne kombinacje tych czasów. W tabeli 2 zaprezentowane przykładowe wyniki badań.

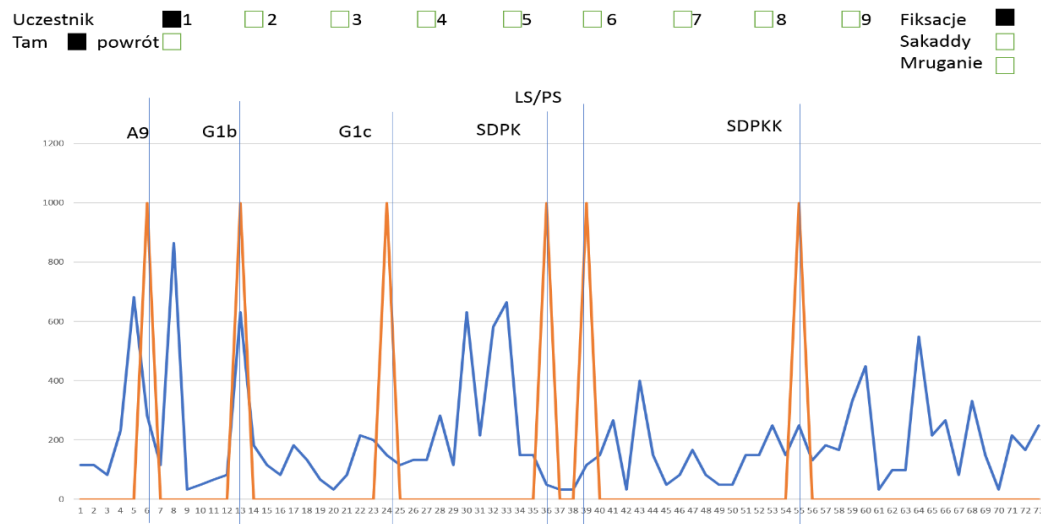
Tabela 2. Czasy charakterystyczne w trakcie przejazdu przez przejazd kolejowo-drogowy.

Znak (akcja)/uczestnik badania	A9/G1a	G1b	G1c	SDPK	LS	SDPK
Uczestnik 1	1:48:165	1:51:241	1:54:652	1:59:654	2:01:353	2:06:248
	A9/G1c					
	1:24:637	-	-	2:41:105	2:44:217	2:50:855
Uczestnik 2	1:30:976	1:38:563	4:13:479	4:25:259	-*	4:34:643
	A9/G1c					
	55:071	-	-	1:03:923	1:05:520	1:12:341
Uczestnik 3	51:511	1:02:342	4:19:055	4:35:246	-*	4:47:061
	A9/G1c					
	1:24:221	-	-	1:40:842	-*	1:49:178
Uczestnik 4	36:387	40:796	45:255	51:080	52:659	1:02:292
	A9/G1c				P**	
	1:17:566	-	-	1:26:750	1:28:547	1:38:762
Uczestnik 5	44:040	47:290	51:078	55:870	57:567	1:04:596
	A9/G1c				L	
	54:239	-	-	1:02:259	1:04:189	1:12:807
Uczestnik 6	1:11:010	1:13:872	1:16:767	1:21:842	1:24:570	1:29:878
	A9/G1c					
	1:49:261	-	-	1:56:599	1:58:778	2:04:102
Uczestnik 7						
	A9/G1c				L	
	1:18:747	-	-	5:13:277	5:15:856	5:22:311
Uczestnik 8	2:08:195	2:11:889	2:15:599	2:21:555	2:22:920	2:32:170
	A9/G1c				P	
	59:164	-	-	6:46:400	6:48:660	6:56:981

*- uczestnik jadąc w grupie pojazdów nie rozgląda się w ogóle na boki.

** - kierunek, w którym kierowca spogląda przy wjeździe na przejazd

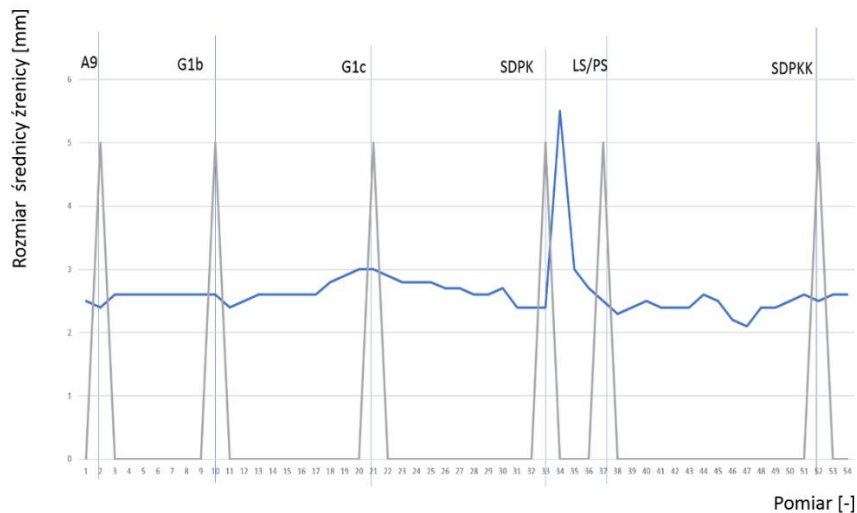
Parametry charakteryzujące zachowanie, definiowane jako kolejne składowe czasu, widoczne są także na podstawie analizy czasu trwania fiksacji wzroku. Wyniki przedstawiono na rysunku 23.



Rys. 23. Czas trwania fiksacji, uczestnik nr 1

Na rys. 23 zaprezentowano czas trwania fiksacji wzroku uczestnika badania nr 1 w trakcie pokonywania przejazdu kolejowo-drogowego. Uczestnik nr 1 w sposób prawidłowy identyfikuje znak A9 z niewielkim wyprzedzeniem i stowarzyszone z nim wskaźniki, w mniejszym stopniu przywiązując uwagę do wskaźnika ostatniego (G1c). Sygnalizatory przejazdowe dostrzegane są przez niego z dużym wyprzedzeniem. Kontrola otoczenia pojazdu na przejeździe nie różni się od kontroli poza jego obszarem. Obserwowane jest nieznaczne zwiększenie czasu fiksacji (do rejestrowanego bezpośrednio przed przejazdem) i liczby punktów zainteresowania. Kontrola obecności pojazdu szynowego wykonywana jest dwuetapowo, z większym czasem fiksacji i na większej odległości po przekroczeniu sygnalizatora. Na przejeździe kolejowo-drogowym (na jego powierzchni) uwaga jest jednak już skupiana niemal wyłącznie na strumieniu pojazdów jadących z naprzeciwka.

Dotarcie do miejsca przejazdu kolejowo-drogowego powoduje wzrost uważności (rozszerzenie rozmiaru średnicy, rys. 24), który spada szybko na przejeździe – co jest zjawiskiem niekorzystnym. Pomiar ten jest więc w swojej istocie pomocniczy – wskazuje w pewnym stopniu na zachowanie uważności kierującego pojazdem w trakcie pokonywania przejazdu kolejowo-drogowego.



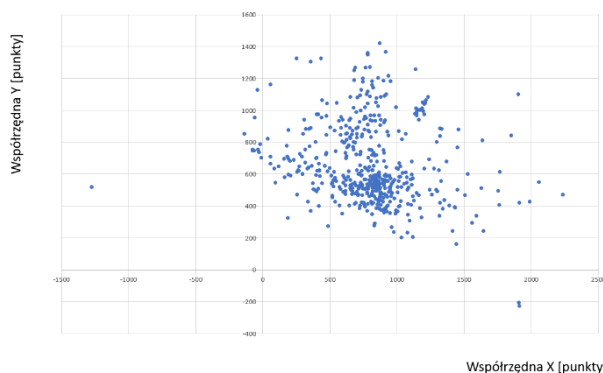
Rys. 24. Fiksacje, uczestnik nr 1, pomiar rozmiaru średnicy źrenicy [mm]

Rozmieszczenie znaków drogowych związanych z PKD powoduje powstawanie ruchów sakkadowych wynikających z obserwacji tych znaków przez kierującego przed przejazdem. Ponadto samo pokonywanie przejazdu kolejowo-drogowego i obserwacja pojazdów szynowych wymusza intensywne ruchy sakkadowe w poziomie. Obserwacja strumienia pojazdów z naprzeciwka wymusza ruchy sakkadowe w płaszczyźnie pionowej, ale o znacznie mniejszej amplitudzie. Należy zauważyć jednocześnie, że na przejeździe spada czas trwania tych ruchów w stosunku do kilku lokalizacji przed przejazdem – przy nieznacznym zwiększeniu ich częstotliwości. Na rys. 25 zaprezentowano ruchy sakkadowe przy przejeździe przez przejazd PKD. Z obserwacji rysunku widać, że zwłaszcza znaki drogowe skojarzone z obecnością przejazdu powodują zwiększenie czasu trwania ruchów sakkadowych. Na przejeździe ruchy te utrzymują się na zwiększonym poziomie czasu ich trwania w stosunku do drogi znajdującej się bezpośrednio przed przejazdem.



Rys. 25. Ruchy sakkadowe, uczestnik nr 1, czas trwania ruchów sakkadowych [ms]

W zakresie rozkładu przestrzennego punktów rozpoczęcia ruchów sakkadowych uwidacznia się również duża asymetria pomiędzy lewą i prawą połówką sfery widzenia. Kierujący ma tendencję do obserwacji strumienia ruchu pojazdów jadących z na przeciwka i przyrządów pokładowych. Na przejeździe bez zapór jest to bardzo niebezpieczny rodzaj zachowania kierującego (i wymaga dalszych badań w przyszłości w tym aspekcie). Analogiczna asymetria rozkładu punktów dla ruchów sakkadowych – obserwowana jest w odniesieniu do miejsc zakończenia tych ruchów. W tym jednak przypadku rozkład tych punktów jest bardziej jednorodny w przestrzeni sfery widzenia co może wskazywać na wystąpienie zwiększonej uważności kierującego pojazdem.



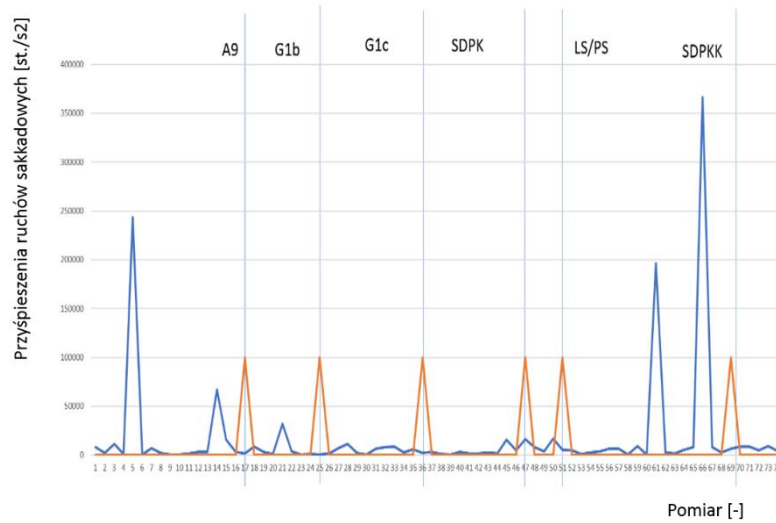
Rys. 26. Ruchy sakkadowe, rozpoczęcia ruchów sakkadowych.



Rys. 27. Ruchy sakkadowe, punkty zakończenia ruchów sakkadowych.

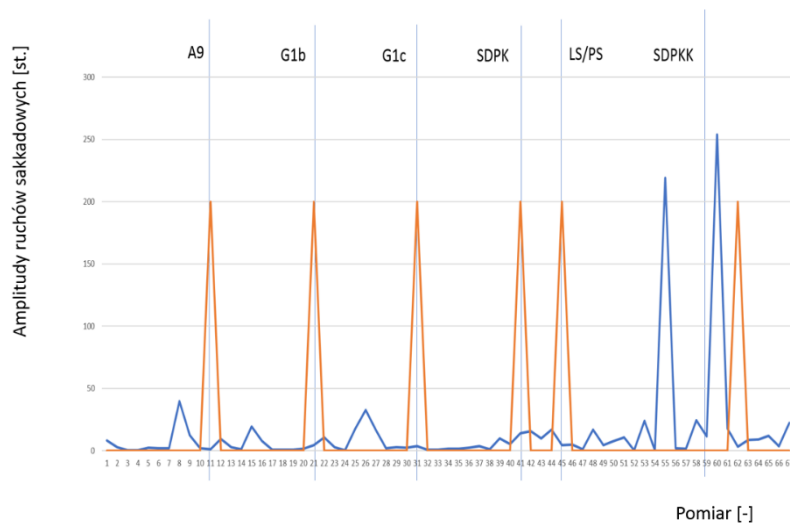
Rozmieszczenie znaków drogowych w pasie drogowym powoduje zwiększenie przyspieszenia ruchów sakkadowych (rys. 28). Na obszarze przejazdu klejowo-drogowego obserwowane są

silne przyrosty tej charakterystyki. Sam wjazd na przejazd nie jest związany z dużym pobudzeniem kierowcy.



Rys. 28. Ruchy sakkadowe, uczestnik nr 1, przyspieszenia ruchów sakkadowych [st./s2]

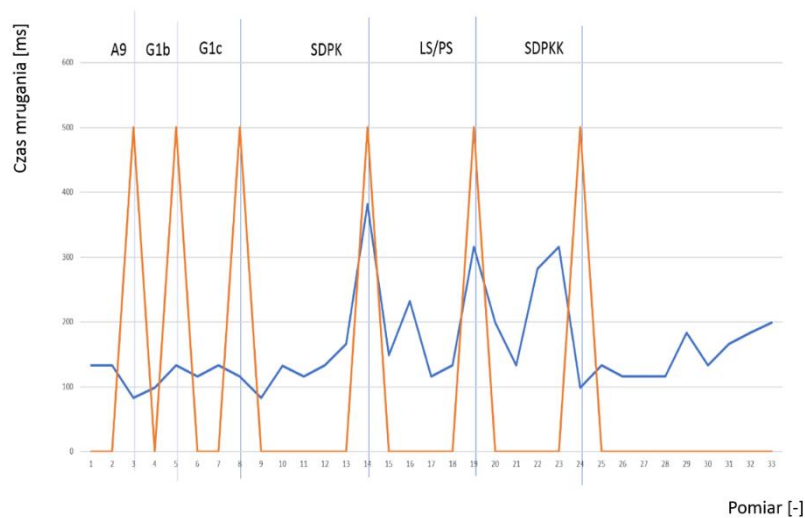
Rozmieszczenie znaków powoduje również zwiększenie amplitudy ruchu narządu wzroku. Na samym obszarze przejazdu klejowo-drogowego obserwowane są silne i ponadto niejednorodne przyrosty amplitudy ruchu narządu wzroku (rys. 29).



Rys. 29. Ruchy sakkadowe, uczestnik nr 1, amplitudy ruchów sakkadowych [st.]

W zakresie czasu mrugania uwidacznia się pewna korelacja wzrostu wartości tego parametru na przejeździe i bezpośrednio przed nim. Wjazd na PKD poprzedza seria krótkich ponad 100 ms mrugnięć. Świadczy to o lekko pobudzonej uważności tego kierującego. Interesujące jest,

że na samym przejeździe wartość tego parametru wrasta do wartości średnich w populacji by następnie spać po przekroczeniu obszaru przejazdu.



Rys. 30. czasy mrugania, uczestnik nr1, czas trwania [ms]

Analogiczne badania prowadzono w kilku lokalizacjach przejazdów kolejowo-drogowych. W ramach badań przeprowadzono analizy sceny ruchu na wybranych PKD uwzględniając specyficzne warunki (zabudowę terenu, sąsiedztwo skrzyżowania z sygnalizacją, wzniesienie). Przykładowe fotografię z różnych lokalizacji przedstawiono na rysunku 31.



Rys. 31. Badane przejazdy kolejowo - drogowe

Pierwsza lokalizacja z przejazdem kategorii C charakteryzowała się na dużym ruchem pojazdów kołowych w okresie całej doby i występowaniem sytuacji niebezpiecznych w ruchu. Na tym przejeździe obserwowane jest blokowanie przejazdu poprzez pojazdy drogowe pozostające na obszarze przejazdu przy zamykaniu zapór. Kolejne lokalizacje zawierały przejazdy kategorii D różniące się iloczynem ruchu oraz bezpośrednim otoczeniem.

Czasy charakterystyczne przedstawiono w tabelach 3, 4, 5.

Tabela 3. Czasy charakterystyczne w ruchu na obiekcie nr 1

Znak (akcja)/uczestnik badania	A9/G1a	G1b	G1c	SDPK	SDPK	A9/G1b	G1C	SDPK	SDPK
Uczestnik 1	-	-	-	2:42	2:47	5:18	5:21	5:31	6:28
	9:39	9:43	9:46	9:54	9:58	11:46	11:49	11:56	11:58
	14:07	14:11	14:15	14:26	14:28	17:08	17:12	17:19	17:21
	19:02	19:05	19:09	19:20	19:23	21:24	21:28	21:33	21:36
Uczestnik 2	-	-	-	1:36	1:42	4:13	4:16	4:22	4:27
	5:38	6:00	6:03	6:11	6:17	7:51	7:54	7:59	8:06
	09:53	9:55	9:58	-	-	-	-	-	-

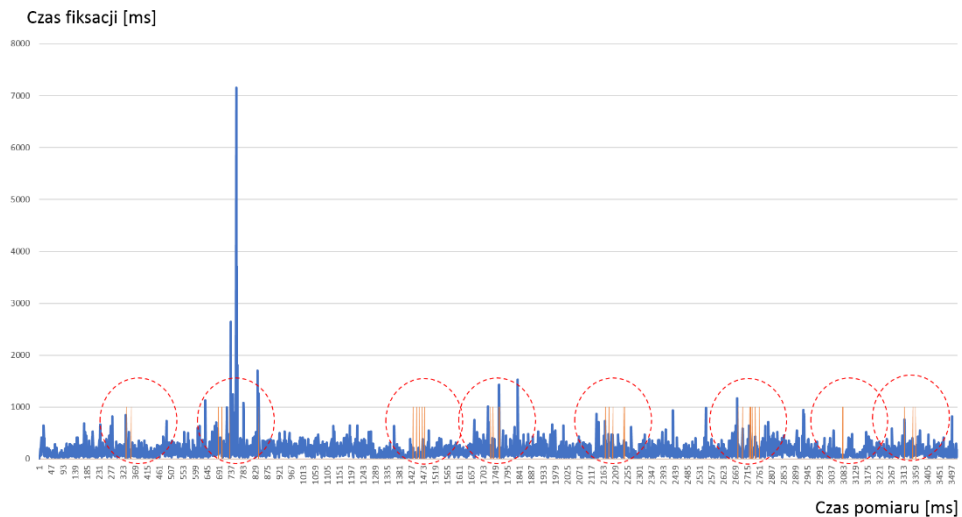
Tabela 4. Czasy charakterystyczne w ruchu na obiekcie nr 2

Znak (akcja)/uczestnik badania	G1a	PK	PK	G1a	PK	PK
Uczestnik 1	-	1:03	1:10	1:42	1:52	1:59
	3:00	3:05	3:10	3:37	3:45	3:50
	4:40	4:44	4:49	5:19	5:27	5:32
Uczestnik 2	-	1:14	1:21	1:53	2:01	2:07
	2:57	3:01	3:09	4:04	4:12	4:18
	5:05	5:09	5:18	5:45	5:53	5:59

Tabela 5. Czasy charakterystyczne w ruchu na obiekcie nr 3

Znak (akcja)/uczestnik badania	A9/G1a	G1b	G1c	SDPK	SDPK	A9/G1a	G1b	G1c	SDPK	SDPK
Uczestnik 1	-	-	-	0:55	1:03	2:01	2:07	2:14	2:22	2:29
	3:15	3:20	3:26	3:40	5:17	6:20	6:25	6:33	6:40	6:48
	7:31	7:36	7:41	7:49	7:56	8:59	9:03	9:09	9:17	9:25
	10:09	10:14	10:19	10:27	10:34	11:34	11:39	11:47	11:54	12:02
Uczestnik 2	6:53	7:00	7:06	7:19	8:30	9:49	9:45	10:01	10:10	10:18
	11:33	11:39	11:45	11:54	12:02	13:05	13:21	13:28	13:35	13:45

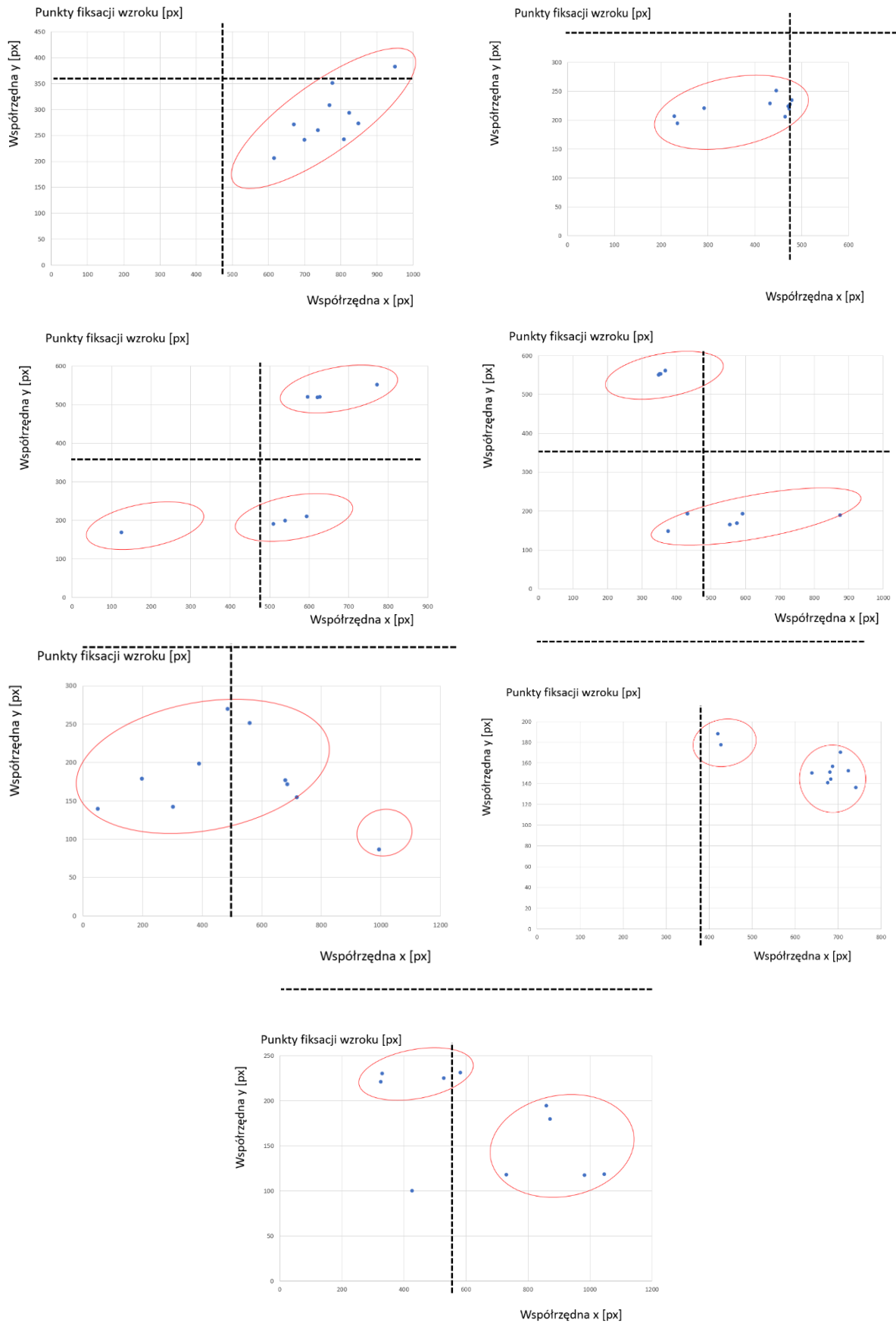
Na rys. 32 przedstawiono czasy fiksacji wzroku kierowcy w trakcie poruszania się na obiekcie nr 1. W czerwonych kołach zaznaczono okresy w czasie badania, w których kierujący zbliżał się do charakterystycznych znaków drogowych związanych z przejazdem kolejowodrogowym.



Rys. 32. Czas trwania fiksacji [ms], uczestnik 1

Na rys. 33 naniesiono punkty fiksacji wzroku w wybranych okresach charakterystycznych przejazdu pojazdu przez obszar PKD. W analizie uwzględniono czasy zamieszczone w tabeli nr 3. Odpowiadają one mijaniu znaków drogowych związanych z oznakowaniem przejazdu kolejowo-drogowego. Każdorazowo zamieszczono 20 punktów pomiarowych poprzedzających chwile mijania znaku drogowego. Jak widać z analizy tego rysunku rejestracja znaku drogowego ma miejsce czasem w peryferyjnym polu widzenia. Wymusza ponadto na brak uważności ze strony kierującego pojazdem. Wskazuje to na konieczność przeprowadzenia inklinacji kierującego w celu dostrzegania informacji postulowanych w nowym systemie informacji na przejeździe kolejowo-drogowym.

Analogicznie przeprowadzono analizy dotyczące parametrów wzroku w określonych chwilach czasowych. Na rysunku 33 zauważono interesujące prawidłowości w zakresie obserwowanych parametrów wzroku kierującego pojazdem. Każdy znak związany z przejazdem kolejowo-drogowym powoduje zwiększenie czasu trwania fiksacji przynajmniej w jednym punkcie pomiarowym. Pewne znaki powodują sekwencyjny wzrost uwagi- zwiększający się w miarę zbliżania do znaku.

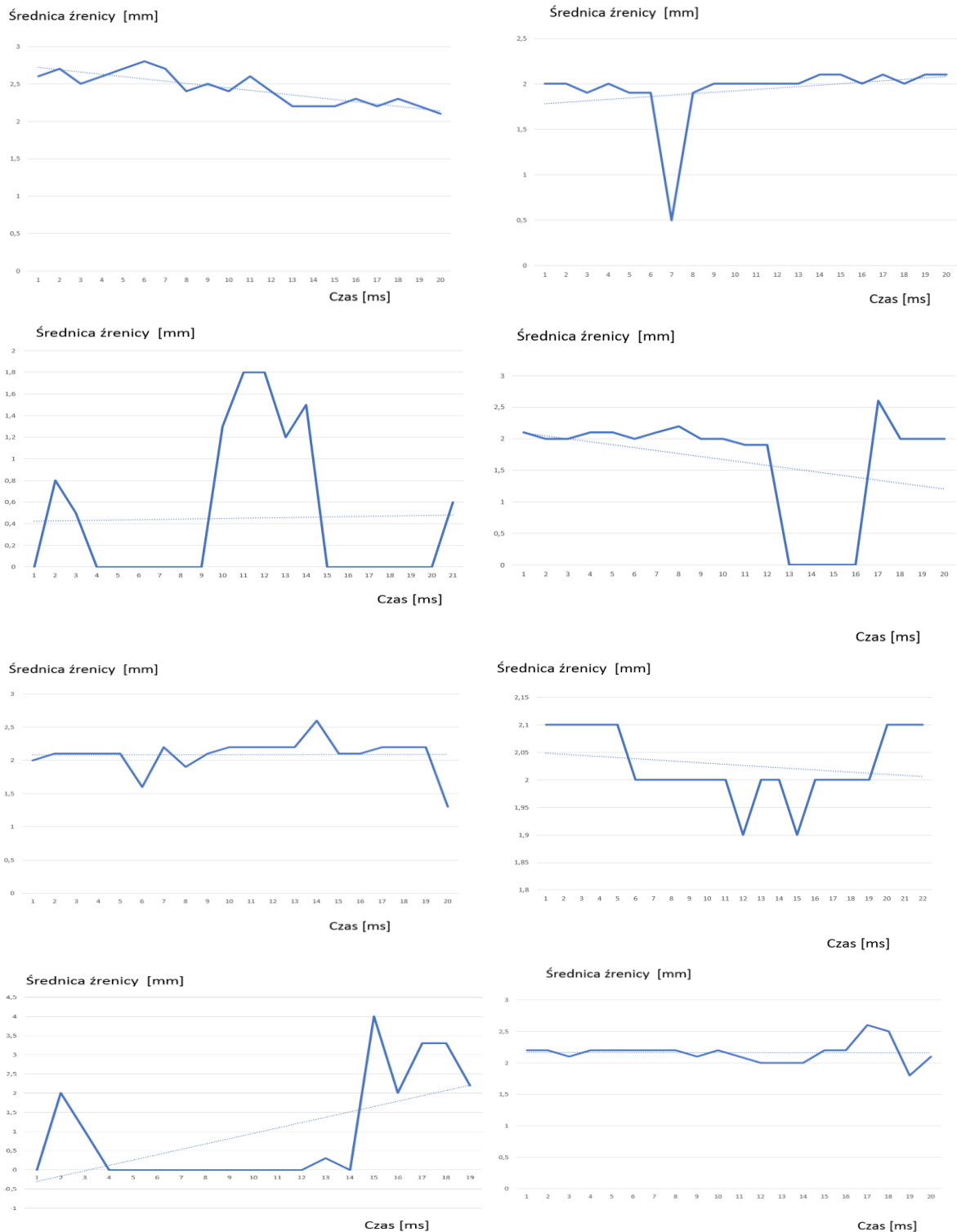


Rys. 33. Położenie punktów fiksacji, uczestnik nr 1, wybrane okresy w trakcie mijania PKD

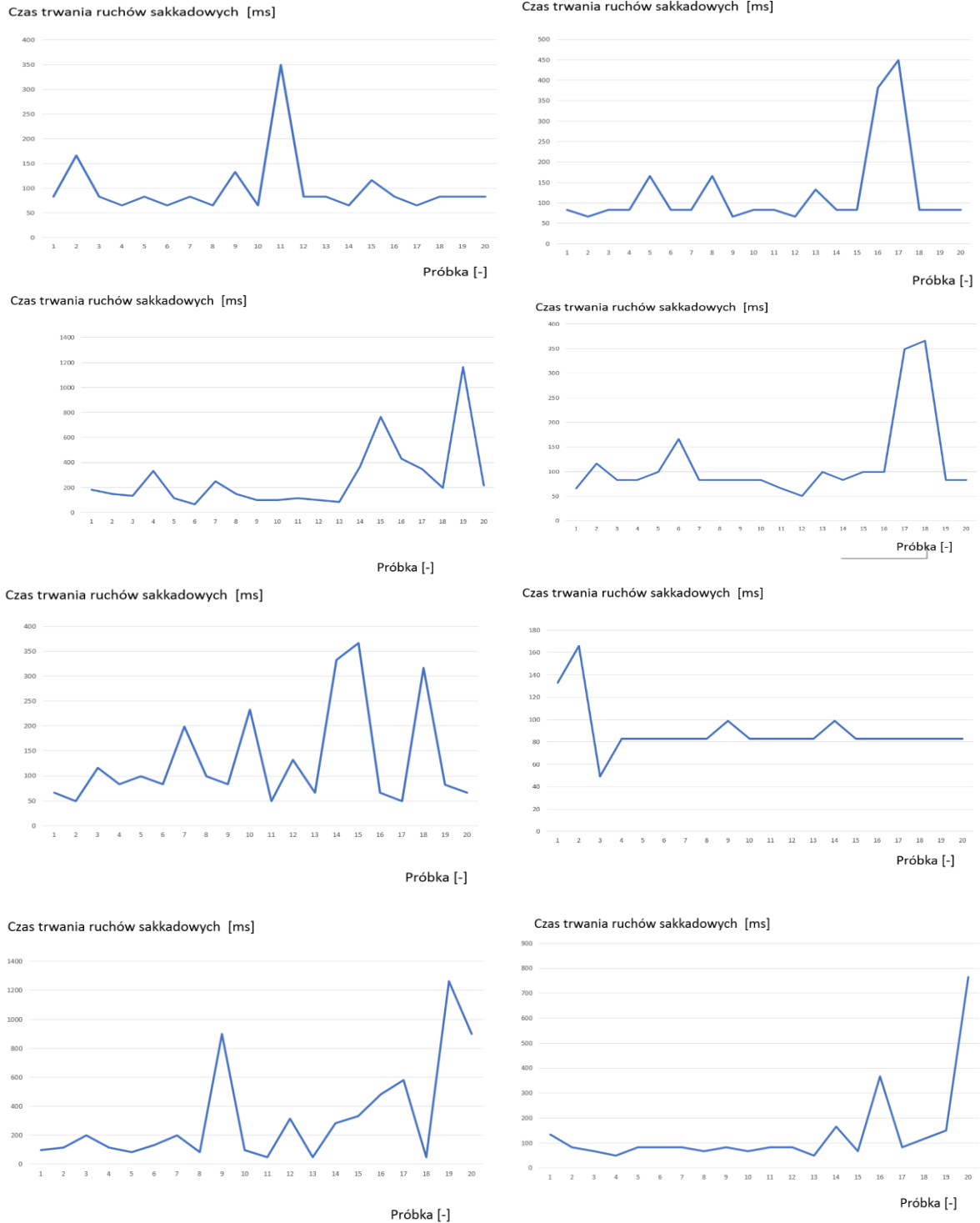


Rys. 34. Czas fiksacji [ms, uczestnik nr 1, czasy charakterystyczne mijania znaków informacyjnych na PKD

Dodatkowo prowadzono analizy zmian średnicy źrenicy i czasów ruchów sakkadowych, także w analogicznych chwilach czasowych skorelowanych z mijaniem oznakowań (rys. 35, rys 36).



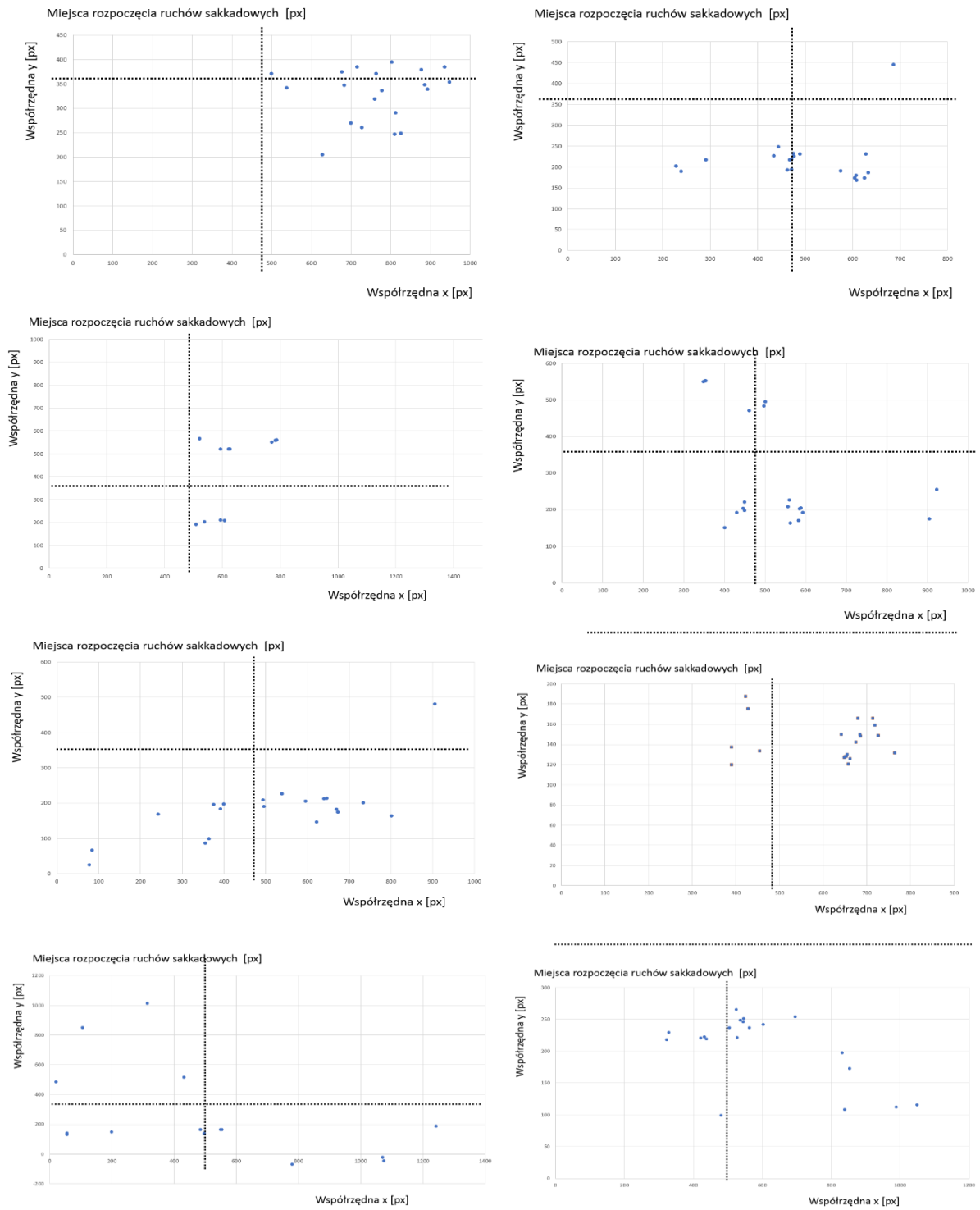
Rys. 35. Średnica źrenicy [mm], uczestnik nr 1, charakterystyczne punkty w trakcie jazdy testowej



Rys. 36. Czas trwania ruchów sakkadowych, uczestnik nr 1, chwile charakterystyczne

Dodatkowo w ramach badań pilotażowych analizowano punkty początkowe ruchów sakkadowych dla okresów charakterystycznych w trakcie pokonywania PKD. Na rysunku 37 widać proces przemieszczania ostrego stożka widzenia wzroku pomiędzy odległymi obszarami

płaszczyzny widzenia. Poza nielicznymi przypadkami dobrze uwidoczniiony jest tu również proces omiatania sceny ruchu na przedpolu pojazdu.



Rys. 37. Rozkład przestrzenny ruchów sakkadowych, punkty początkowe, uczestnik nr 1, okresy charakterystyczne w trakcie jazdy przez przejazd

Na podstawie badań zachowania kierujących pojazdami kołowymi z wykorzystaniem techniki ET przeprowadzonych na wybranych przejazdach kolejowo-drogowych sformułowano następujące problemy badawcze:

1. Obserwowane przyspieszenia i amplitudy ruchów sakkadowych są często większe przed przejazdem – na przejeździe często spadają. Zaobserwowanym problemem jest utrzymanie dużej amplitudy tych ruchów na przejazdach kolejowo-drogowych. Jest to również kwestia właściwego zagospodarowania otoczenia przejazdu kolejowo-drogowego. Lokalizacja reklam, konfiguracji sieci drogowej przed przejazdem może nie sprzyjać zachowaniu/zwiększeniu uważności wśród kierujących pojazdami kołowymi. To może powodować zmniejszenie uważności. Pewne konfiguracje reklam i obiektów przed przejazdami mogą powodować zmniejszenie/osłabienie uważności kierujących. Z punktu widzenia celu pracy pozwala to głównie na odpowiednie sytuowanie lica znaku VMS.
2. Znak VMS musi być odpowiednio wcześniej postrzegany. W badanych próbach tak często nie jest zwłaszcza w sytuacji zatorów drogowych. Pojawia się pytanie – jak spowodować utrzymanie czujności przed przejazdem i skupienie wzroku kierujących na znakach VMS.
3. Interesująca z punktu widzenia wyników badań jest kwestia tzw. krótkiego ruchu głowy i oczu przed przejazdem. Kwestia ta związana jest utrwaleniem przez kierującego komunikatu VMS i jego weryfikacja w stosunku do aktualnej sytuacji na PKD.
4. Z tej kwestii wynika kolejna, a mianowicie czy instalacja znaku VMS informującego o pojeździe szynowym i odlicznika (albo inna informacja jakiej konieczność zostanie postulowana w toku dalszych prac) nie wpływając na likwidację tych ruchów, które są potrzebne z punktu widzenia bezpieczeństwa? Zatem gdzie taką informację umiejscowić aby nie zwalniała z obowiązku uważności kierujących? Czy należy przedstawić niezależne dwie informacje, jedną na początku i drugą na końcu przejazdu – aby umożliwić zjazd z przejazdu i nie blokowanie jego powierzchni. W tym celu realizowane jest między innymi badanie czasu przemieszczania się pojazdów i pieszych przez obszar przejazdu kolejowo-drogowego, prezentowane dalej w załączniku nr 2.
5. Omawiany wyżej brak ruchu oczu/głowy w lewo i w prawo na przejeździe wynikający prawdopodobnie z założenia, że przy zaporach podniesionych jest bezpiecznie od strony pojazdów szynowych, co jest niezasadne na przejazdach kategorii "D". Ruchy te są, co prawda wykonywane, ale na ogół w celu jak najszybszego przekroczenia przejazdu. Obserwowana jest

tu sprzeczność intencji kierujących i celu wykonywania tych ruchów. Tutaj można zauważyć zbieżność z wysokim wskaźnikiem wypadkowości dla przejazdów kat. D. Zatem, w kontekście rozprawy- instalacja i dobór treści na VMS jest wysoce zasadna.

6. Z obserwacji wynika, że główna uwaga kierujących kierowana jest na strumień pojazdów nadjeżdżający z drugiego kierunku ruchu. Czy zatem stosowanie treści komunikatu VMS nie powinno przypominać o obowiązku kontrowania przedpoła na wysokości obu torów szlakowych?

7. Kolejnym problemem są drgania pojazdów w czasie przemieszczenia się ich na przejeździe – ludzie się koncentrują na samochodzie (układ zawieszenia) a nie na bezpieczeństwie ruchu. Ten element problematyki i jego wpływ na postrzeganie treści na PKD nie był badany.

8. Kolejną kwestią wynikająca z obserwacji rozkładu punktów fiksacji wzroku w przestrzeni sceny ruchu drogowego jest kwestia wyprofilowania drogi bezpośrednio przed przejazdem, tak aby zapewnić lepszą widoczność znaku VMS? Być może potrzebne są rozwiązania takie jak na przejściach dla pieszych przez szlak kolejowy? Odpowiednie profilowanie drogi jeśli nie da się optymalnie zlokalizować samego znaku VMS?

9. Kolejną kwestią jest zbadanie wpływu warunków oświetleniowych – nie zrealizowano dotychczas badań w porze zmierzchowej i w nocy. Ten wątek w pracy zmarginalizowano, zakładając zastosowanie VMS o odpowiedniej luminacji zapewniającej dobrą widoczność w porze zmierzchowej i nocnej.

10. Na przejazdach kolejowo-drogowych występuje problem z nieprawidłowo parkującymi pojazdami w pobliżu przejazdu i pojazdami blokującymi zapory – w pewnych sytuacjach może to powodować problem z właściwą recepcją treści znaku

11. Jakkolwiek bezpośrednio na przejazdach kolejowo-drogowych nie zaobserwowano wzmożonej uważności kierujących pojazdami a skupianie wzroku na obiektach na wysokości przejazdu jest incydentalne i dotyczy głównie ruchu drogowego. Dynamika postrzegania na przejeździe jest umiarkowana i dotyczy głównie ruchu kołowego. To może stanowić przyczynek do badań recepcji treści komunikatu VMS jego zmian w dłuższym horyzoncie czasu. Po tym jak użytkownicy PKD zaczną oswajać się z VMS na PKD.

12. Szczególnie widoczne są spadki uważności kierujących na przejazdach z zaporami gdzie kierujący nie poświęcają uwagi na to co dzieje się na szlaku kolejowym, koncentrując się na strumieniu ruchu pojazdów nadjeżdżających z kierunku przeciwnego. Błędnie zakładając, że ze strony szlaku kolejowego nie występuje żadne zagrożenie.

13. Uważność kierujących przyciągają znaki drogowe i wskaźniki informujące o przejeździe kolejowym, ale poziom tego procesu nie jest jednakowy w miarę zbliżania się do przejazdu. Zmienność osobnicza tego procesu w badanej próbie jest duża, a problem wynika z lokalizowania VMS bezpośrednio przed przejazdem.

Nie wszystkie z wymienionych wniosków, uzyskanych na podstawie badań pilotażowych można odnieść do zasadniczego problemu niniejszej rozprawy doktorskiej. Tym niemniej w toku przedmiotowych badań wykazano różny przebieg procesu percepcji sceny ruchu drogowego na PKD. Proces ten przebadano na całej drodze przed PKD i do momentu opuszczenia PKD przez pojazdy. Zmienność tego procesu obserwowana w badaniu pilotażowym wskazuje na potrzebę wykonania badań związanych z doбором treści komunikatu znaku VMS na PKD.

5.2 Badania charakterystyki ruchu pojazdów i pieszych na PKD

Na przejazdach kolejowo-drogowych istotne znaczenie ma parametryzacja strumieni ruchu, kolizyjnych, drogowych i kolejowego. W przypadku ruchu kolejowego jest to ruch regulowany, który stosunkowo łatwo opisać chociażby z wykorzystaniem harmonogramu ruchu pociągów. W przypadku ruchu drogowego strumienie ruchu z dwóch przeciwnych kierunków mają odmienne charakterystyki. Ruch drogowy jest przykładem ruchu samoorganizującego się. Z tego powodu istotne jest dokładne sparametryzowanie ruchu drogowego. Ruch ten składa się ponadto z odmiennych typów obiektów: pojazdów, rowerzystów i pieszych w tym pieszych z wózkami. Stosowany aktualnie dla celów kategoryzacji przejazdów kolejowo-drogowych iloczyn ruchu nie uwzględnia tej złożonej stochastycznej charakterystyki ruchu drogowego. Z tego powodu w badaniu zmierzono różne parametry ruchu drogowego na przejazdach kolejowo-drogowych.

Kolejne badania miały na celu identyfikację charakterystyk ruchu pojazdów i pieszych na PKD, które znacząco uzupełniają kontekst będący kluczowym aspektem doboru znaku VMS. W ramach badań prowadzonych w warunkach *in situ* określono wybrane charakterystyki strumieni

ruchu drogowego na przejazdach kolejowo-drogowych, takich jak prędkość ruchu, czas przejazdu/przejścia przez obszar przejazdu (w pomiarach wykorzystano stopery, radar mobilny i techniki wizyjne).

W badaniu istotny jest pomiar czasu przekraczania torowiska przez różnych uczestników ruchu drogowego: pojazdy, pieszych, rowerzystów, osoby z wózkiem, osoby niepełnosprawne. W tym celu określono czasy przekraczania torowiska w sposób ręczny i automatyczny. W pomiarach ręcznych wykorzystano stopery mierząc czas od momentu wejścia na przejazd do momentu jego opuszczenia. Przykładowe wyniki pomiaru przedstawiono w kolejnych tabelach 6, 7.

Tabela 6. Pomiar czasu przejścia/przejazdy przez przejazd kolejowo – drogowych, obiekt nr 3

Lp.	Średni czas przejścia/przejazdu	Maksymalny	Minimalny	Odchylenie std.	Typ obiektu
1	7,21	16,66	2,5	3,29	SO
2	6,27	8,19	4,83	1,37	SD
3	9,77	12,96	7,03	2,99	CR
4	13,51	18,56	8,83	3,47	P
5	4,84	6,19	3,5	1,90	R

Tabela 7. Pomiar prędkości/przejazdu przez przejazd kolejowo – drogowy, obiekt nr 1

Lp.	Średnia prędkość przejścia/przejazdu	Maksymalna	Minimalna	Odchylenie std.	Typ obiektu
1	27,4	37	16	9,18	SOD
2	40	46	34	6	SD
3	34	39	29	7,07	SC

Oznaczenie symboli: SO-samochód osobowy, SD- samochód dostawczy, SC- samochód ciężarowy, CR- ciągnik rolniczy, P-pieszcy, R-Rowerzysta

Wnioski w zakresie charakterystyk ruchu drogowego na PKD są następujące:

1. Na przejazdach kolejowo-drogowych obserwowana jest silna zmienność czasu przekraczania i przechodzenia przez jego obszar w zależności od typu pojazdu i pieszego (np. pieszcy z wózkiem). To wymusza dobór nie tylko odpowiednich treści ale również ich czasu wyświetlania.
2. W trakcie badania zaobserwowano skłonność kierujących do przekraczania przejazdu przy włączonym sygnale ostrzegawczym. W tym kontekście nie badano poziomu dostosowania się do treści z uwagi na małe próby empiryczne.

3. Z uwagi na warunki ekspozycji kierującego na bodźce zewnętrzne w kolejnych badaniach należy zmniejszyć odstęp między pojazdami testowymi w celu wykluczenia zmiany warunków oświetleniowych. Jest to wątek przekraczający zakres tej pracy a związany bardziej z warunkami pracy wyświetlaczy montowanych w VMS.
4. Z punktu widzenia ruchu kołowego niebezpieczne są przejazdy w miejscach koncentracji sieci drogowej. Tam kierujący skupiają się głównie na problemach partycypacji w strumieniach ruchu drogowego, a nie na treściach pochodzących z „sieci kolejowej”.
5. Przejazdy z zaporami nie zwiększają bezpieczeństwa i przepustowości na drodze z uwagi na brak pewnych specyficznych informacji w ich otoczeniu. Do informacji tych należy brak informacji o czasie przybycia pojazdu szynowego i dostępnej długości za przejazdem, za którym powstaje kolejka pojazdów. Często przyczyna dysfunkcjonalności jednego z badanych obiektów (i kilku innych przejazdów na tym szlaku kolejowym). W tym zakresie treści dobierane dla VMS i badane w niniejszej pracy nabierają szczególnej wagi.

W kontekście pracy, te badanie nabiera szczególnych walorów, gdzież unaocznia jakie konsekwencje niesie późne dostrzeżenie treści komunikatów znaków VMS na PKD. Na PKD nie ma miejsca na percepcje treści głównych o pojeździe szynowym. Te treści powinny być przekazane w pozycji samochodu znajdującego się jak najdalej od PKD. Dzięki zastosowaniu odpowiedniej treści komunikatu.

5.3 Badanie postrzegalności VMS na PKD

Kolejnym problemem badawczym było postrzeganie komunikatów na znakach VMS w otoczeniu PKD. W ramach badań przeprowadzono eksperymenty, których celem była analiza intuicyjności komunikatu. W tym celu zaplanowano badania reakcji kierowców dla wybranych treści wyświetlanych na symulatorze znaku VMS. Badania prowadzono w warunkach *in situ*, jednak dokonano wszelkich starań w celu zapewnienia bezpieczeństwa uczestnikom eksperymentu.

Jako symulator znaku VMS wykorzystano tablet, w którym zainstalowano oprogramowanie symulujące znak „jedź” i „stój”. Znaki wskazują czy wjazd na obszar niebezpieczny przejazdu kolejowo-drogowego jest dozwolony czy też nie. Program pozwalał również na symulowanie czasu ostrzegania na przejeździe kolejowo-drogowym w zakresie od 30 do 220 sekund. W założeniu taki tryb wyświetlania symuluje działanie tzw. odlicznika. Rozpoznawanie znaków

tych trzech typów zrealizowano w technice Eye Tracking, badano ich rozpoznawanie dla próby złożonej z kilku osób. Rozpoznawanie mierzono liczbą fiksacji na znaku zmiennej treści. Z uwagi na warunki atmosferyczne w dniu badania nie zweryfikowano wpływu silnego nasłonecznienia na uzyskane wyniki. Widok z przebiegu badań przedstawiono na rysunku 38.



Rys. 38. Badania intuicyjności postrzegania komunikatu znaku VMS dla kierującymi pojazdami drogowymi na przejeździe kolejowo - drogowym

Podczas badań obserwowano także zachowania i dostosowywanie się kierowców do informacji przekazywanych przez znaki „jedź” i „stój”. W badanej próbie nie zaobserwowano pomijania żadnego z tych znaków jak również nie dostosowywania trajektorii ruchu pojazdów do informacji przez nie przekazywanych. Interesujących obserwacji dostarcza postrzeganie odlicznika przez kierujących. Jest to rodzaj informacji pozytywnie odbieranej przez kierujących pojazdami drogowymi. Wszyscy w badanej grupie wyrazili zadowolenie z faktu uzyskania dodatkowej informacji na temat czasu dojazdu pojazdu szynowego do przejazdu kolejowo-drogowego. Wszyscy badani dostosowywali się do wskazań odlicznika nawet dla długich czasów ostrzegania przed pojazdem szynowym. Tym niemniej źle interpretowano jego wartości i to w przypadku niemal wszystkich respondentów w próbie. Błędna interpretacja polegała na wejździe na PKD po „odliczeniu do zera”, co interpretowano jako czas „do startu” a nie zgodnie z intencją komunikatu, czyli jako czas zbliżania się pojazdu szynowego do przejazdu.

Wyniki tych badań wskazują jednoznacznie na potrzebę dodatkowego oznakowania przejazdów kat. D. Wskazują również na problemy z interpretacją komunikatów innych niż tekstowe. Wynika to z odmiennego kontekstu stosowania odliczników na skrzyżowaniach drogowych i węzłach typu PKD. Z tego powodu w badaniu (dobór zabioru treści komunikatów)

ograniczono się głównie do piktogramów i treści tekstowych (z wyjątkiem komunikatu 20 sek.).

5.4 Badania ankietowe postrzegania treści komunikatów

W badaniach pilotażowych zrealizowanych w ramach niniejszej rozprawy zbadano zachowania kierujących pojazdami na wybrane 24 treści komunikatów dla znaków VMS. Badanie wykonano na torze testowym symulującym PKD, gdyż kontekst komunikatu dobierano do sytuacji potencjalnie występujących na przejazdach kolejowo-drogowych. Tym niemniej wśród kierujących pojazdami powinien istnieć pewien komponent postawy behawioralnej w stosunku do tego typu obiektów. Dlatego, niezależnie od badań empirycznych zapytano o opinie kierowców na temat wybranych treści komunikatów VMS w celu zbadania tego komponentu behawioralnego. Zapytano o postrzeganie komunikatów na PKD respondentów w formie ankiet. W badaniu wzięła udział próba 340 respondentów, co stanowi próbę reprezentatywną. W celu zwiększenia zasięgu badania przeprowadzono ankietę papierową oraz internetową, których treść była jednakowa. Na podstawie wcześniejszych badań (rozdział 5.5) wybrano siedem komunikatów, które w wyniku eksperymentów pilotażowych uzyskały najlepsze rekomendacje (plus rekomendacje ekspertów).

Badania ankietowe mają na celu również określenie subiektywnych zachowań kierowców na przedpolu przejazdu kolejowo-drogowego w odpowiedzi na wyświetlany komunikat na znaku zmiennej treści (VMS). Należy zauważyć, że o ile znak drogowy powinien być maksymalnie jednoznaczny, to komunikat już taki często nie jest – z uwagi na większą pojemność informacyjną (więcej treści, treści niejednoznaczne). Najlepszym tego przykładem są znaki B20, jednoznacznie definiujące obowiązki kierujących, a implikujących różne subiektywne postawy kierujących pojazdami komunikat AWARIA, który nie jest powszechny w sieci drogowej. Tu występują komunikaty pokrywające się z duchem prawa o ruchu drogowym i takie, które nie mają umocowania w tym normatywie.

Badanie statystyczne kierowców w różnym wieku i różnej płci pozwoliło na teoretyczne zobrazowanie rezultatów procesu decyzyjnego kierowcy w zależności od wyświetlonego komunikatu jak również skorelowanie znaczenia poszczególnego komunikatu do pożądanego zachowania na przedpolu przejazdu kolejowo- drogowego.

Poniżej na rysunku 39 przedstawiono kwestionariusz przeprowadzonej ankiety.

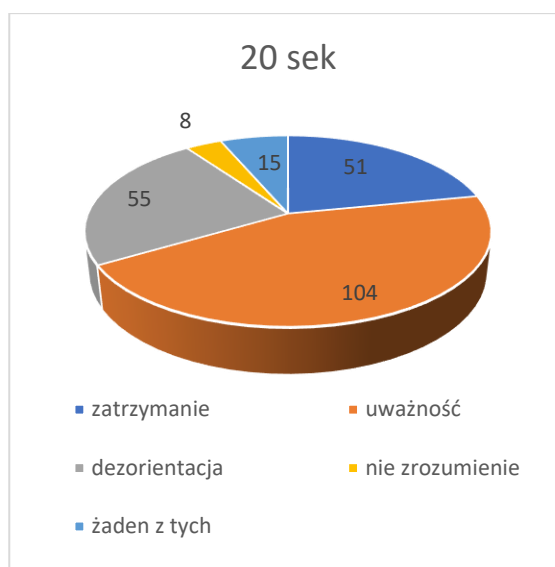
ANKIETA (wielokrotnego wyboru)

Poruszasz się samochodem na drodze, która prowadzi do przejazdu kolejowo-drogowego. Dojeżdżając do przejazdu widzisz znak/komunikat, wyświetlany na tablicy zmiennej treści. Widząc, na tej tablicy znak/komunikat o treści:

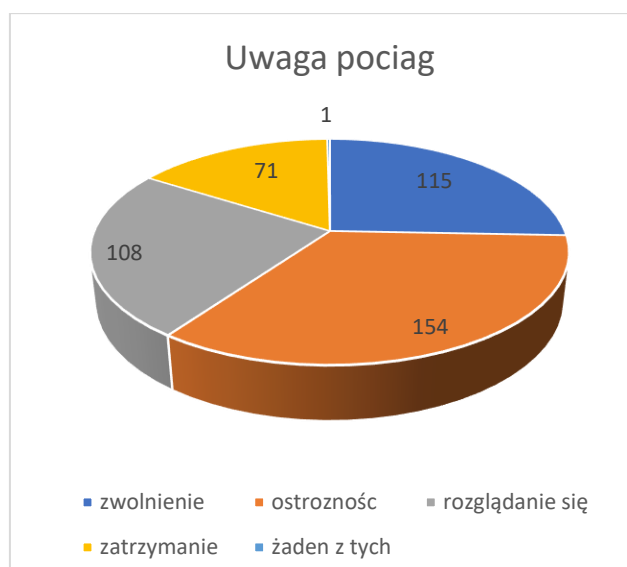
- 1. 20 sek.:**
 - zatrzymujesz się przed znakiem na 20 sek.
 - domyślasz się, że coś się stanie za 20 sek., że zostało Ci 20 sek....
 - nie rozumiesz komunikatu - jesteś zdezorientowany(a)
 - nie rozumiem zwrotu "sek."
 - żadna z powyższych
- 2. UWAGA POCIĄG:**
 - zwalniasz
 - zachowujesz szczególną ostrożność
 - rozglądasz się „za pociągiem”
 - zatrzymujesz się przed znakiem
 - żadna z powyższych
- 3. AWARIA:**
 - zwalniasz
 - zachowujesz szczególną ostrożność
 - rozglądasz się po okolicy szukając wzrokiem przyczyn awarii
 - zatrzymujesz się przed znakiem
 - żadna z powyższych
- 4. B20 (piktogram znaku STOP!):**
 - zatrzymujesz się natychmiast
 - zatrzymujesz się przed znakiem
 - tylko zwalniasz
 - zachowujesz szczególną ostrożność
 - żadna z powyższych
- 5. ZWOLNIJ:**
 - zwalniasz
 - zatrzymujesz się przed znakiem
 - zachowujesz szczególną ostrożność
 - w ogóle nie reagujesz
 - żadna z powyższych
- 6. STOP!:**
 - zatrzymujesz się natychmiast
 - zatrzymujesz się przed znakiem
 - tylko zwalniasz
 - zachowujesz szczególną ostrożność
 - żadna z powyższych
- 7. ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ:**
 - zachowujesz szczególną ostrożność
 - zastanawiasz się nad przyczyną, rozglądasz się po okolicy
 - zwalniasz
 - zatrzymujesz się przed znakiem
 - żadna z powyższych

Rys. 39. Widok kwestionariusza ankiety

Poniżej przedstawiono wyniki badań zbiorczych oraz wnioski wynikające z ich interpretacji. Do każdego wybranego komunikatu znaku VMS zamieszczono po 5 zamkniętych odpowiedzi starając się, a by były one tymi, które są najbardziej oczywistymi w kontekście zadawanego pytania. Dopuszczono więcej niż jedna odpowiedź – podobnie jak to ma miejsce na PKD, reakcja na treść komunikatu może być złożona.



Rys. 40. Deklarowane reakcje na komunikat znaku VMS – 20 sek.

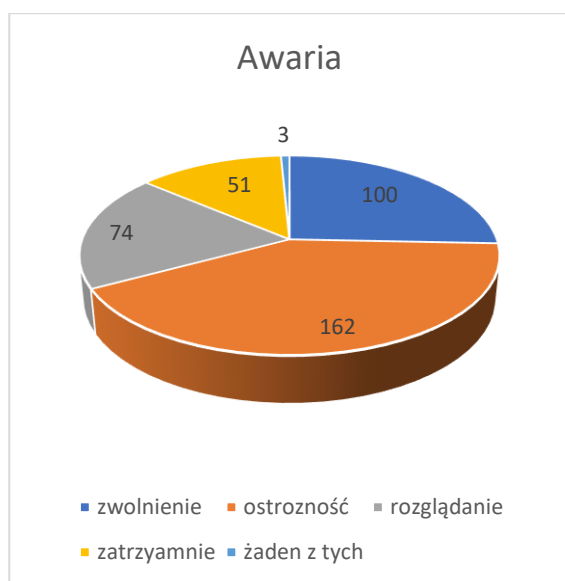


Rys. 41. Deklarowane reakcje na komunikat znaku VMS – UWAGA POCIĄG

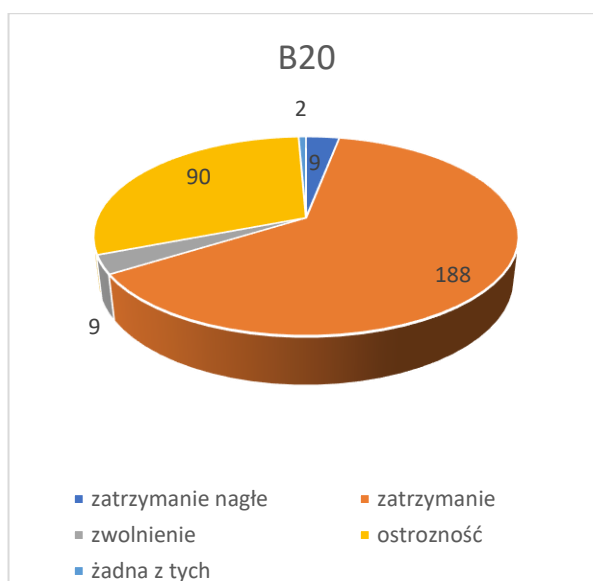
Komunikat „20 sek.” Znalazł się najwyżej w rankingu badań pilotażowych. Znak ten jest rozpoznawany z dalekich odległości, ale jednocześnie mało zrozumiały i powoduje dezorientację. Jego interpretacja nie jest taka jak na skrzyżowaniach drogowych z sygnalizacją świetlną, gdzie wartości liczbowe przyporządkowywane są odliczanemu czasowi i są konotowane z sygnałem wyświetlanym na tarczy sygnalizatora. Zadane pytanie brzmiało „20 sek.” (komentarz w poprzedniej sekcji). W związku z tym katalog dopuszczalnych odpowiedzi przedstawia się następująco: zatrzymujesz się przed znakiem na 20 sek., domyślasz się, że coś się stanie za 20 sek., że zostało Ci 20 sek...., nie rozumiesz komunikatu – jesteś zdezorientowany(a), nie rozumiem zwrotu „sek.”, żadna z powyższych. Z odpowiedzi wynika, że jego zaletą jest to, że powoduje zastanowienie się i wymusza ostrożność (kierowca zaczyna się zastanawiać blisko połowa wyników, 44,64%). Kolejne odpowiedzi sugerują niezrozumienie komunikatu (23,61%) i zatrzymanie przed znakiem (21,89%). To świadczy z jednej strony o potencjale tego znaku ale jednocześnie jest on najbardziej dezorientującym komunikatem. W badaniu nie wykazano istotnej liczby odpowiedzi nie korespondujących z treścią komunikatu (<4%). Podobnie mała liczba respondentów ma inną interpretację tego komunikatu (6,44%)

W badaniach pilotażowych komunikat „UWAGA POCIĄG” plasował się na drugim miejscu. Dopuszczalne odpowiedzi: zwalniasz, zachowujesz szczególną ostrożność, rozglądasz się „za pociągiem”, zatrzymujesz się przed znakiem, żadna z powyższych. W odniesieniu do tego znaku przeważa reakcja zachowania ostrożności (34,30%). Ten wynik należy uznać za

zastanawiająco nisko z uwagi na treść komunikatu. Kolejne miejsce zajmuje rozglądanie się po PKD i zwolnienie (po ok. 25%) czyli naturalne konsekwencje podniesienia poziomu uważności. W badaniu nie wykazano odpowiedzi nie korespondujących z treścią komunikatu. Podobnie mała liczba respondentów ma inną interpretację tego komunikatu – przy czym liczba ta jest nieistotna statystycznie. To właśnie ten element powoduje, że jest to jeden z najlepszych komunikatów. Praktycznie każda interpretacja jego treści jest właściwa, rozkładają się one podobnie w próbie w zakresie liczebności, a zrozumienie jest najlepsze (99,78%, w granicach błędu rozkładu normalnego).



Rys. 42. Deklarowane reakcje na komunikat znaku VMS - AWARIA

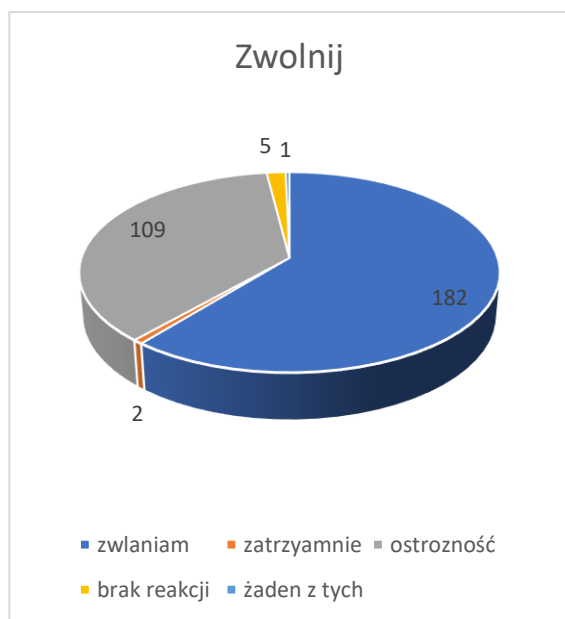


Rys. 43. Deklarowane reakcje na komunikat znaku VMS – B20

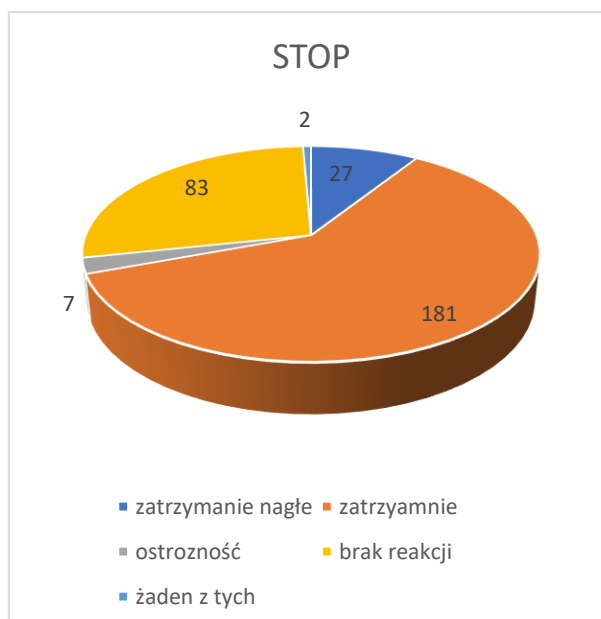
Dla kolejnego komunikatu „AWARIA” dopuszczono następujące odpowiedzi: zwalniasz, zachowujesz szczególną ostrożność, rozglądasz się po okolicy szukając wzrokiem przyczyn awarii, zatrzymujesz się przed znakiem, żadna z powyższych. Znak „AWARIA”, który również utrzymywał się wysoko w rankingu badania pilotażowego wśród respondentów powoduje przede wszystkim zwiększenie ostrożności (41,54%). Na kolejnych miejscach jest zwolnienie prędkości pojazdu (25,64%) i rozglądanie się po przejeździe (18,97%). W dalszej kolejności jest zatrzymanie (13,08%). W badaniu nie wykazano odpowiedzi nie korespondujących z treścią komunikatu. Podobnie mała liczba respondentów ma inną interpretację tego komunikatu – przy czym liczba ta jest nieistotna statystycznie (0,77%), aczkolwiek w tym przypadku jest ona w granicach rozkładu normalnego. Tu odpowiedzi wskazują, że w pewnych przypadkach jedno słowo komunikatu jest niewystarczające. Dodanie słowa zwolnij lub zatrzymaj się do

słowa „AWARIA” powodowałyby być może jednoznaczne reakcje. Kwestią wtórna jest na ile dodane słowo zmniejszało by odległość reakcji.

Znak B20 (a w zasadzie jego piktogram), który również utrzymywał się wysoko w rankingu badania pilotażowego wśród respondentów powoduje przede wszystkim, to co powinien powodować zgodnie z Kodeksem Drogowym, czyli zatrzymanie się pojazdu (63,09%). Dopuszczalne w ankiecie odpowiedzi to: zatrzymujesz się natychmiast, zatrzymujesz się przed znakiem, tylko zwalniasz, zachowujesz szczególną ostrożność, żadna z powyższych. Na kolejnych miejscach jest zachowanie ostrożności (30,20%). W dalszej kolejności jest zatrzymanie (natychmiastowe) i zwolnienie (po ok. 3%). W badaniu nie wykazano odpowiedzi nie korespondujących z treścią komunikatu, choć należy się zastanowić czy za takie nie uznać odpowiedź wskazująca nagle zatrzymanie się (zależy to od miejsca zatrzymania). Należy pamiętać, że znak B20 mimo obligatoryjnego zatrzymania nie powoduje często takiej reakcji przy obecności pojazdu w konfliktowym strumieniu ruchu. Tym niemniej znak ten jest najlepiej i najpewniej interpretowaną treścią spośród dotychczas prezentowanych (>60%). Znak ten jest w przypadku PKD kat. D powtórzeniem znaku pionowego – drogowego (duplikat na VMS).



Rys. 44. Deklarowane reakcje na komunikat znaku VMS - ZWOLNIJ

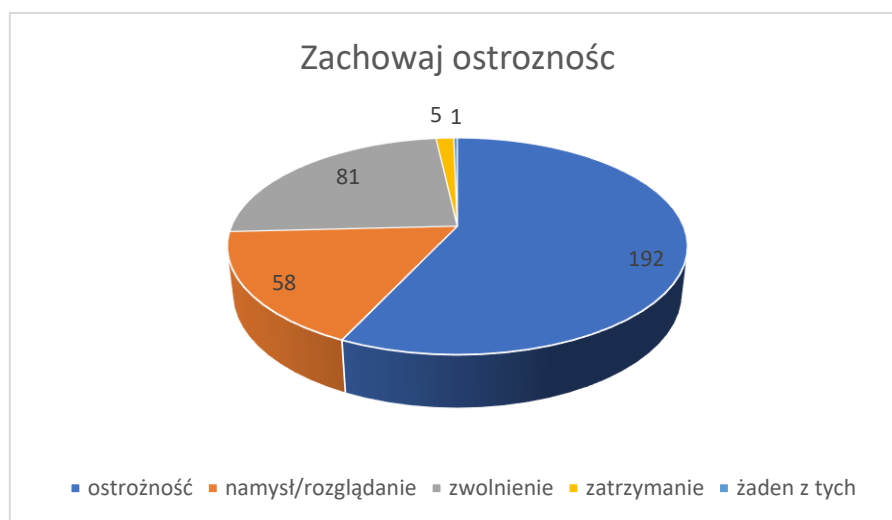


Rys. 45. Deklarowane reakcje na komunikat znaku VMS - STOP

Dla komunikatu „ZWOLNIJ” zadano następujące odpowiedzi: zwalniasz, zatrzymujesz się przed znakiem, zachowujesz szczególną ostrożność, w ogóle nie reagujesz, żadna z powyższych. Znak „ZWOLNIJ”, który również utrzymywał się wysoko w rankingu badania

pilotażowego wśród respondentów powoduje przede wszystkim, to co powinien powodować w odniesieniu do jego brzmienia czyli zmniejszenie prędkości ruchu pojazdu (60,87%). Na kolejnych miejscach jest zachowanie ostrożności (36,45%). W dalszej kolejności jest brak reakcji (1,67%) i zatrzymanie (0,67%). Znak ten jest nie tylko poprawnie interpretowany, ale również ponad 96% kierujących wykazuje zachowania poprawne. W badaniu wykazano odpowiedzi nie korespondujące z treścią komunikatu, bo jak potraktować odpowiedź brak reakcji w odniesieniu do polecenia wynikającego z treści komunikatu? Takich przypadków było 1,67%. Odpowiedzi spoza katalogu możliwych są stosunkowo rzadkie 0,33%.

W przypadku komunikatu „STOP” z wykrzyknikiem zadano możliwe odpowiedzi w formie: zatrzymujesz się natychmiast, zatrzymujesz się przed znakiem, tylko zwalniasz, zachowujesz szczególną ostrożność, żadna z powyższych. Komunikat „STOP”, który również utrzymywał się wysoko w rankingu badania pilotażowego wśród respondentów powoduje jednoznaczne reakcje czyli zatrzymanie pojazdu przed znakiem (60,33%). Na kolejnych miejscach jest zatrzymanie nagle (9%) i brak odpowiedniej reakcji, bo za takie należy traktować zwolnienie i inne reakcje nie związana z hamowaniem. W dalszej kolejności jest ostrożność (27,67%), ta aczkolwiek zawsze pożądana w ruchu drogowym jest tu niewłaściwą odpowiedzią. W badaniu nie wykazano odpowiedzi nie korespondujących z treścią komunikatu, ale z drugiej strony jak potraktować odpowiedź tylko zwalniasz. Inne warianty wybrało by w przypadku tego znaku 0,67% respondentów.



Rys. 46. Deklarowane reakcje na komunikat znaku VMS – ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ

Dla komunikatu „ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ” przewidziano następujące dopuszczalne odpowiedzi: zachowujesz szczególną ostrożność, zastanawiasz się nad przyczyną, rozglądasz

się po okolicy, zwalniasz, zatrzymujesz się przed znakiem, żadna z powyższych. Znak „ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ”, który również utrzymywał się wysoko w rankingu badania pilotażowego wśród respondentów powoduje jednoznaczne reakcje czyli wzmożenie uważności (56,97%). Na kolejnych miejscach jest namysł (17,21%) i zwolnienie (24,04%). W dalszej kolejności jest zatrzymanie (1,48%). W badaniu nie wykazano odpowiedzi nie korespondujących z treścią komunikatu choć jako takie można traktować zatrzymanie. Inne warianty wybrało by w przypadku tego znaku 0,30% respondentów.

Sumaryczne wyniki badań ankietowych przedstawiono w tabeli 8. Co do zasady należy przyjąć, że pierwsza i druga reakcja (odpowiedź), były tą najbardziej oczekiwaną, z wyjątkiem komunikatu „B20”, dla którego najbardziej właściwa jest reakcja (odpowiedź) druga. W tabeli kolorem czerwonym zaznaczono odpowiedzi (reakcje), które uzyskały najwięcej wskazań respondentów.

Tabela 8. Zestawienie zbiorcze wyników ankiet

Komunikat \ Odpowiedź (reakcja)	odpowiedź (reakcja) 1	odpowiedź (reakcja) 2	odpowiedź (reakcja) 3	odpowiedź (reakcja) 4	odpowiedź (reakcja) 5
20 SEK	21.89%	44.64%	23.61%	3.43%	6.44%
UWAGA POCIĄG	25.61%	34.30%	24.05%	15.81%	0.22%
AWARIA	25.64%	41.54%	18.97%	13.08%	0.77%
B20	3.02%	63.09%	3.02%	30.20%	0.67%
ZWOLNIJ	60.87%	0.67%	36.45%	1.67%	0.33%
STOP	9.00%	60.33%	2.33%	27.67%	0.67%
ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	56.97%	17.21%	24.04%	1.48%	0.30%

Najważniejsze w kontekście tych badań jest pytanie czy ranking komunikatów wynikający z badań pilotażowych jest jednoznaczny. Ranking ten przedstawiony w rozdziale 5.5 jest następujący:

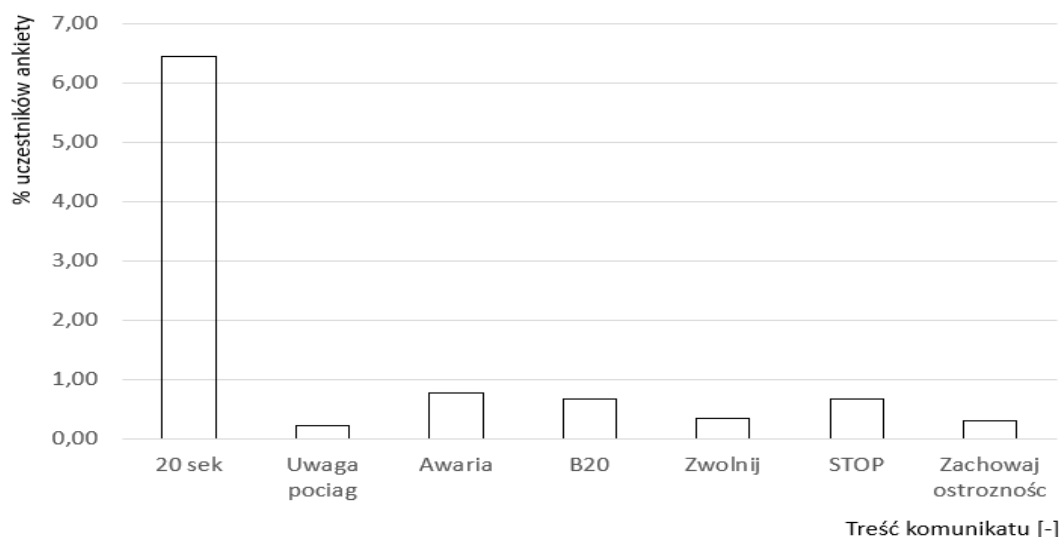
1. 20 sek.
2. UWAGA POCIĄG
3. AWARIA
4. B20
5. ZWOLNIJ

6. PRZEJAZD WOLNY,
7. ZATOR
8. UWAGA PRZESZKODA
9. ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ

Wyżej pominięto kombinację znaków (mieszanie treści tekstowych z piktogramami i kombinacje plusowe znaków).

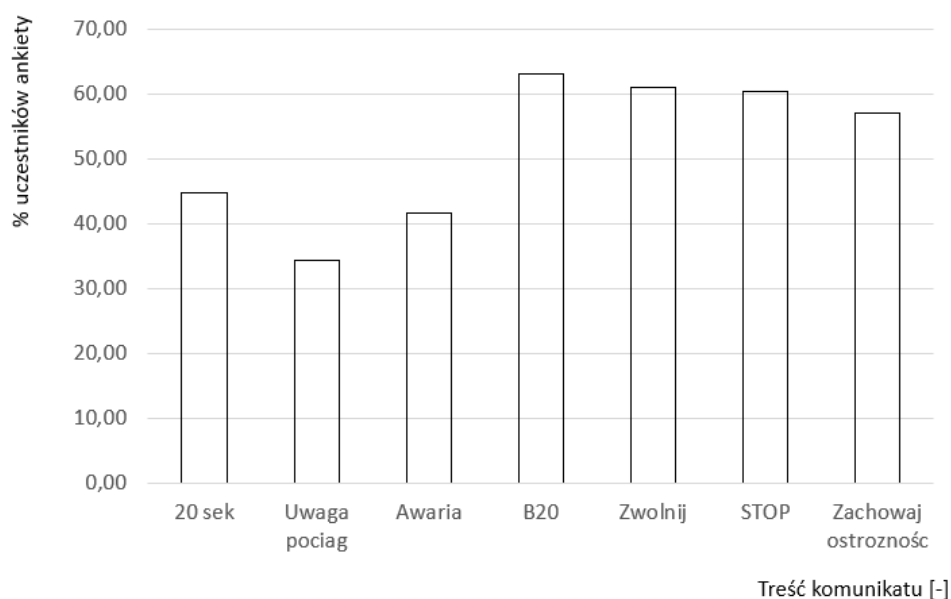
Czy treść dobrana do komunikatu może być rangowana? Odpowiedź po przeanalizowaniu ankiet może wskazywać że treści dla znaków VMS można dobierać z uwagi na czas reakcji i odległość percepcji. Jednak w trakcie analizy ankiet powstaje pytanie co zrobić z odpowiedziami, które nijak nie korespondują z treścią komunikatu lub wskazują na odmienną klasyfikację znaków (ich porządek). Dotyczy to zwłaszcza odpowiedzi „w ogóle nie reagujesz” lub „żadna z powyższych” na treści komunikatów, które powinny wywoływać jakakolwiek reakcję, mimo tego że jedna z nich jest najważniejsza. To powoduje, że jest konieczne prowadzenie dalszych badań w tym zakresie w rzeczywistej sieci drogowej. Badań nad skutecznością stosowania danej treści w konkretnym przypadku ruchowo-drogowym (obiekty infrastruktury transportu). Takie badanie przedstawiono w kolejnych rozdziałach rozprawy.

Pierwsze pytanie jakie się nasuwa po przeprowadzeniu ankiet – to ile osób ma odmienne postawy w stosunku do pokazanych w pytaniach treści komunikatów. W tym przekroju analizy tylko jeden znak może budzić uzasadnione zastrzeżenia (20 sek.). W tym przypadku 6,44% respondentów ma inne postawy wobec takiej treści. Z tego powodu ten znak nie może być stosowany. Ponadto wzbudza on różne reakcje. Najwięcej odpowiedzi potwierdzających intuicję Autora udzielono dla znaków (B20, ZWOLNIJ, STOP, ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ). Oznacza to, że respondenci w próbie myślą podobnie jak Autor w kontakcie z daną treścią komunikatu, co wskazuje na dużą „intuicyjność” zrozumienia treści komunikatu. Warto zauważyć, że te treści są dobrze znane z ruchu drogowego. Taką charakterystykę można nazwać stopniem jednoznaczności komunikatu lub intuicyjności komunikatu, co pokazano na rys. 47.



Rys. 47. Procent uczestników wskazujących na inne postawy w stosunku do treści wyświetlanego komunikatu.

Jak widać, znak 20 sek. Wprowadza możliwe inne interpretacje. Nie przewidziane przez Autora ankiety.



Rys. 48. Stopień jednoznaczności treści wyświetlanego komunikatu.

Na rys. 48 przedstawiono treści powodujące najbardziej jednoznaczne odpowiedzi respondentów. Jako kryterium jednoznaczności przyjęto wartości dla odpowiedzi o największym procentowym udziale spośród wszystkich możliwych reakcji. Reakcje te są zgodne także z oczekiwanymi reakcjami, co potwierdza intuicyjność komunikatu. Dominują określenia kodeksowe z prawa o ruchu drogowym rozpoznawane przez zdecydowaną większość uczestników badania. Treści kolejowe związane z ruchem na PKD są stosunkowo najmniej jednoznaczne, gdyż nie znają ich uczestnicy badania.

5.5 Badania pilotażowe znaków zmiennej treści – usytuowanie lica znaku i ocena komunikatów

Kolejnym istotnym etapem badań empirycznych były badania postrzegania znaków VMS dla wybranej grupy komunikatów. Celem przedmiotowego badania było wyznaczenie charakterystyk niezbędnych dla oceny sposobu i stopnia identyfikacji znaków zmiennych treści przewidzianych do zastosowania w przedpolu PKD. Dodatkowo analizie poddano usytuowanie lica znaku, zakładając położenie na poboczu drogi lub nad jezdnią w osi drogi. Badaniom poddano zestaw komunikatów przedstawiony w tabeli nr 9.

Tabela 9. Zestaw komunikatów wyświetlanych w procesie badawczym

UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące
ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ
UWAGA POCIĄG, bez pulsowania
AWARIA
PRZEJAZD WOLNY
ZWOLNIJ
UWAGA PRZESZKODA
UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące/2
STOP!
ZATOR
UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące/3
UWAGA PRZESZKODA
AWARIA
UWAGA POCIĄG
Niebezpieczeństwo!
50 SEK
B20 BEZ PULSACJI
Niebezpieczeństwo!
POCIĄG!
ZWOLNIJ!
B20 BEZ PULSACJI
20 SEK
PRZEJAZD WOLNY

Dobór treści komunikatów, wynika z wcześniejszych badań w zakresie postrzegania i zachowań uczestników ruchu w otoczeniu PKD. Uzasadnienie tych treści przedstawiono w tabeli 10.

Tabela 10. Uzasadnienie treści dla komunikatów VMS na PKD

UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	Znak łączy dwa słowa, uwaga będący powszechnym ostrzeżeniem i zwroceniem zainteresowania ze słowem pociąg, a więc kieruje zainteresowanie kierującego na konkretny obiekt, którego może się wkrótce spodziewać na PKD.
ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	Jak wyżej
UWAGA POCIĄG, bez pulsowania	Sformułowanie zaczerpnięte bezpośrednio z prawa o ruchu drogowym, jedno z kluczowych z punktu widzenia tego normatywu
AWARIA	Komunikat przewidziany dla sytuacji nietypowych jakie mogą mieć miejsce na PKD
PRZEJAZD WOLNY	Komunikat akcentujący fakt możliwości przekroczenia PKD. Alternatywnie może nie być wyświetlany jakkolwiek komunikat tym niemniej zdaniem Autora podanie takiej treści utwierdza kierowców pojazdów kołowych
ZWOLNIJ	Słowo klucz zastosowane jako kalka z prawa o ruchu drogowym
UWAGA PRZESZKODA	Dwa słowa łączące zagrożenie i bliżej nie określoną przeszkodę. Słowo przeszkoda jest ekwiwalentem słowa pociąg.
UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące/2	Podobnie jak dla komunikatu Uwaga pociąg, z dodaniem odpowiednika piktogramu znaku B20. Piktogram sugeruje w tym przypadku ew. zatrzymanie się przed PKD.
STOP!	Bezpośrednie odwołanie do znaku drogowego z kodeksu ruchu
ZATOR	Jeden z komunikatów często występujących na VMS.
Niebezpieczeństwo!	Komunikat wprowadzony do badania rutynowo- tym nimeniej trudny w interpretacji, poza pełnym ogólnym kontekstem.
50 SEK	Komunikat nawiązujący do odliczania na odlicznikach sygnalizacji świetlonej. Niestety jak wykazały odrębne badania bardzo niejednoznaczny jeżeli chodzi o akwizycje treści.
B20 BEZ PULSACJI	Treść znaku B20 w formie piktogramu badano w formie znaku pulsującego i bez pulsacji. Tu przedmiotem analizy jest wpływ częstotliwości wyświetlania znaku na możliwości jego szybszej percepcji po stronie uczestników ruchu kołowego.

W trakcie badania wyświetlano kierowcom pojazdu testowego treści komunikatów na znaku zmiennej treści. Wyświetlano kolejno komunikaty tekstowe i kombinowane tekstowo-graficzne (tzw. piktogramy) jakie przewidziano do potencjalnego zastosowania w znakach VMS. Treści komunikatów jakie zostały przebadane w przedmiotowych testach przedstawiono na poniższych zrzutach ekranu wykonanych na podstawie zarejestrowanego obrazu z kamery przedniej okularów do ET.

Tabela 11. Badane znaki VMS z różnymi komunikatami dla PKD

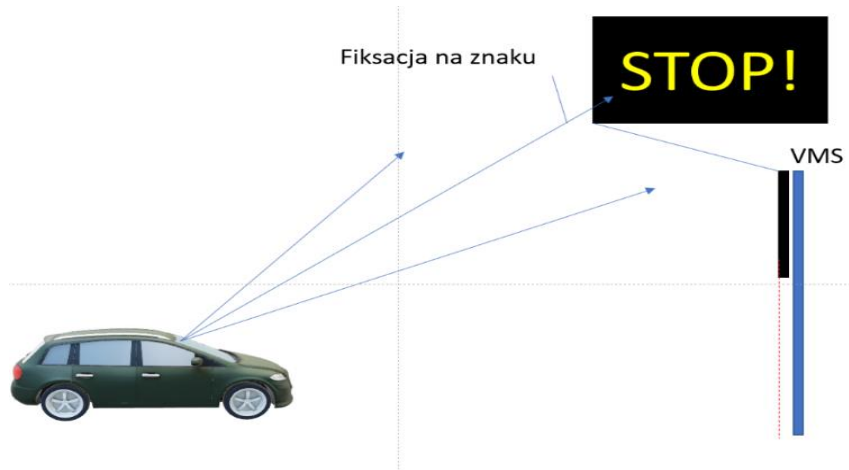
Lokalizacja znaku na poboczu		
Lokalizacja znaku nad jezdnią		

Rys. 49. Prezentacja treści komunikatów badanych znaków VMS

Badaniom poddano zarówno komunikaty tekstowe jak i kombinacje komunikatów tekstowych z prostymi piktogramami. Do badań wykorzystano następujące elementy oraz aparaturę rejestrującą i pomiarową:

1. Rejestrator do eyetrackingu, rejestrujący parametry wzroku kierującego pojazdem drogowym i pieszego
2. Podnośnik HDS na podwoziu samojezdnym, jako elastyczne miejsce dla lokalizacji znaku VMS, umożliwia to dowolne lokalizowanie znaku VMS wokół drogi
3. Tablice znaku zmiennej treści LED
4. Podstawę stałą do montażu znaku zmiennej treści
5. Dwa radary mikrofalowe do pomiaru prędkości pojazdu testowego
6. Kamkorder do rejestracji zachowania kierowcy pojazdu testowego i wyświetlanych komunikatów zmiennej treści (kamera rejestrująca przedpole pojazdu i obserwująca tzw. komponent behawioralny kierującego)
7. Cztery urządzenia do detekcji dyskretnej obiektów ruchomych w przestrzeni drogi na której prowadzono testy, tzw. muchołapki (parametryzacja ruchu pojazdu testowego)
8. Rejestrator siły hamowania
9. Dwie kamery do rejestracji przedpola pojazdu testowego i położenia hamulca w tym pojeździe
10. Układ pomiarowy GPS do pomiaru pozycji pojazdu testowego
11. Komputer przeznaczony do diagnostyki pojazdowej
12. Komputery do odczytu i zapisu informacji z poszczególnych wyżej wymienionych urządzeń
13. Agregaty i zasilacze awaryjne
14. Modem do synchronizacji czasu w komputerach podpiętych do poszczególnych urządzeń z czasem w sieci GSM

W trakcie kolejnych serii pomiarowych kierujący wyposażony jest w okulary do ET, które pozwalają na zmierzenie chwili czasu, w której punkty fiksacji wzroku kierującego trafiają na znak VMS. Jest to pierwsza chwila czasu, a zarazem odległość, w której kierujący patrzy na znak VMS. Okulary ET pomagają ponadto zapisać w kanale audio wideo komunikaty werbalne: widzę, rozumiem. W oparciu o WGS 84 lub markery na jezdni testowej pozwala to na zmierzenie odległości odpowiednich punktów charakterystycznych w procesie percepcji znaku VMS. Ideową wizualizację koncepcji badawczej przedstawiono na rysunku 50.

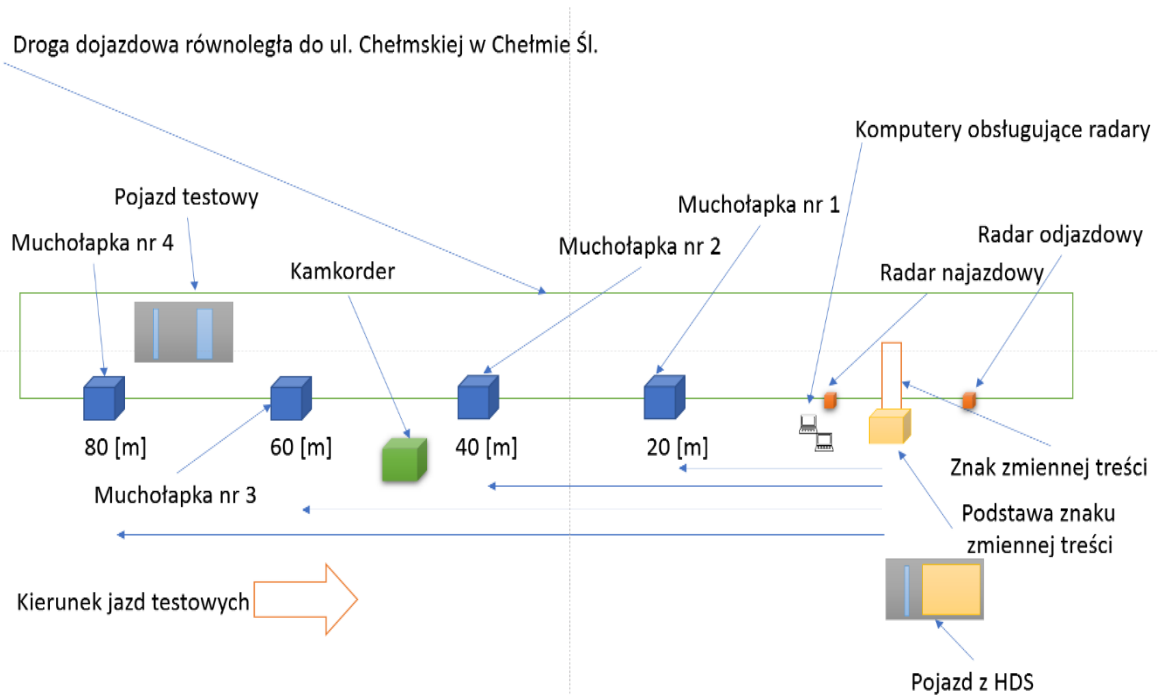


Rys. 50. Punkty fiksacji mierzone z wykorzystaniem ET

Badanie przeprowadzono na odcinku publicznej drogi dojazdowej. Przed licem znaku zmiennej treści umieszczono:

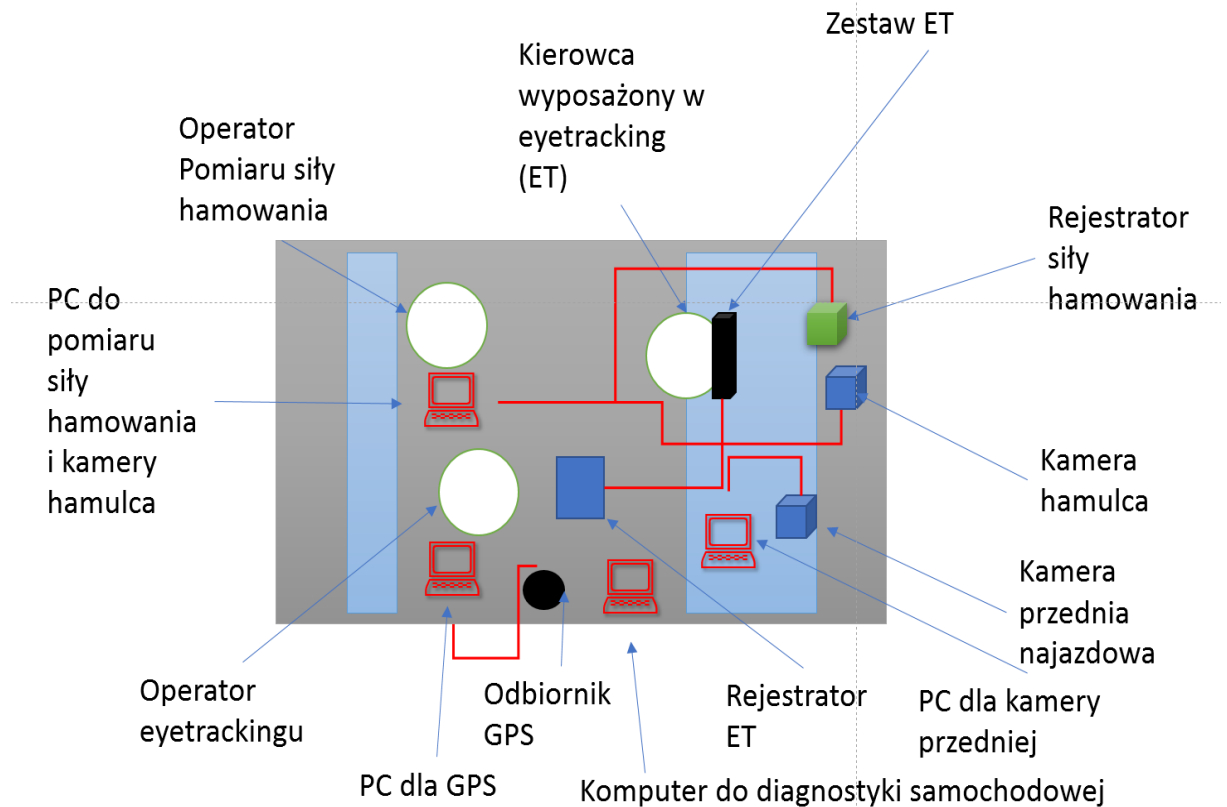
- kamkorder,
- 4 urządzenia typu muchołapka,
- radar mikrofalowy dojazdowy.

Odcinek pomiarowy na długości 150 metrów od lica znaku zmiennej treści podzielono na odcinki o długości 10 metrów, każdy. Schemat podziału odcinka pomiarowego i lokalizacji urządzeń przedstawiono na rys. 51.



Rys. 51. Wyposażenie odcinka testowego do badań znaku VMS

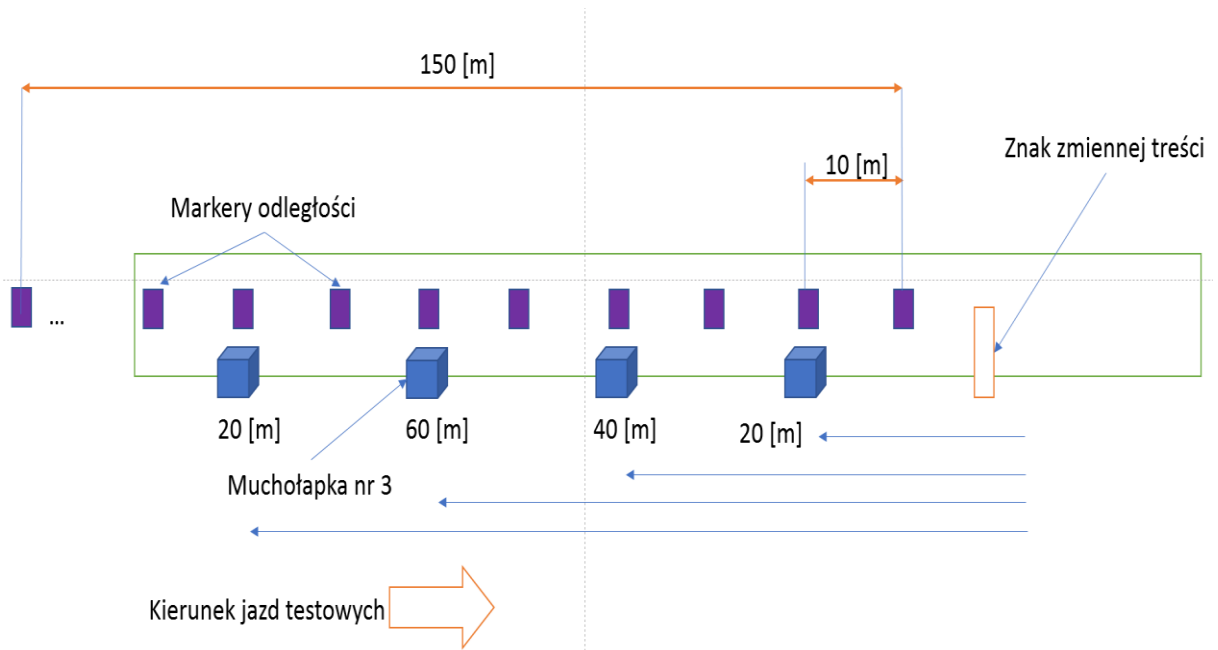
W pojeździe testowym, kierujący został wyposażony w okulary do eyetrackingu (ET). Okulary pracowały w trybie tzw. binocular z częstotliwością próbkowania 60Hz. Każdy przejazd rejestrowano w oddzielnym pliku na rejestratorze dedykowanym do okularów ET. Pomiar ET każdorazowo poprzedzano procedurą kalibracji kierowcy testowego. Dźwignię hamulca wyposażono w rejestrator siły nacisku oraz rejestrowano przebiegi siły hamowania za pomocą komputera do diagnostyki pokładowej. Dodatkowo proces hamowania był nagrywany na niezależnej kamerze cyfrowej. Przedpole pojazdu kontrolowano za pomocą innej kamery cyfrowej. Pozostałe parametry jazdy pojazdu testowego rejestrowano ponadto z wykorzystaniem komputera do diagnostyki pojazdowej. Na dachu pojazdu testowego zamontowano również odbiornik GPS podłączony do dedykowanego komputera rejestrującego położenie pojazdu w standardzie WGS 84. Kompleksowy system pomiarowy przedstawiono na schemacie poniżej (rys. 52). Dodatkowo radary mikrofalowe rejestrowały prędkości zbliżania się do znaku VMS oraz prędkości po minięciu znaku oraz urządzenia zewnętrzne niezależnie rejestrowały położenie pojazdu podczas jazdy.



Rys. 52. Kompleksowy system pomiarowy i wyposażenia pojazdu testowego

Na rys. 52 przedstawiono schemat wyposażenia pojazdu testowego w urządzenia rejestrujące i pomiarowe. Ogółem zamontowano pojeździe testowym: 4 komputery przenośne, 5 urządzeń pomiarowo-rejestrujących.

Poniższy rysunek przedstawia podział odcinka testowego po którym poruszał się pojazd. Droga w kierunku lica znaku zmiennej treści została podzielona na odcinki, każdy o długości 10 metrów. Umożliwia to przedziałową lokalizację pojazdu testowego niezależnie od odczytów odbiornika GPS. Urządzenia rejestrujące położenie obiektów ruchomych tzw. muchołapki zamontowano na odległości, odpowiednio: 20, 40, 60 i 80 metrów od lica znaku zmiennej treści. Najazd pojazdu testowego na znak zmiennej treści rejestrował niezależnie kamkorder umieszczony w odległości 43 metrów od lica znaku zmiennej treści (nie jest wykorzystany do pomiaru odległości ale do rejestracji zachowania kierowcy i wyświetlanych znaków).



Rys. 53. Schemat podziału odcinka testowego na 10-metrowe sekcje

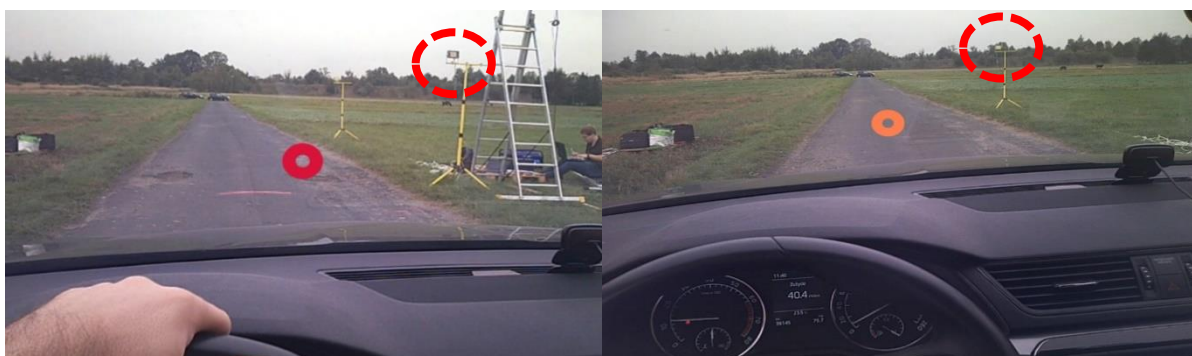
Dokumentację fotograficzną prezentującą urządzenia wykorzystywane w badaniach przedstawiono na rysunkach 54 - 56.



Rys. 54. Urządzenia wykorzystywane podczas badań pilotażowych znaków VMS

Na wysokości znaku zmiennej treści zamontowano dwa radary mikrofalowe MFDR-8. Pierwszy jako najazdowy służący do pomiaru prędkości pojazdu testowego zbliżającego się do lica znaku VMS. Drugi jako odjazdowy służący do pomiaru prędkości pojazdu testowego po przejechaniu lica znaku VMS. Zasięg skuteczny tego radaru w ruchu drogowym wynosi 350

metrów co jest wystarczające w tego typu badaniu. Radary sprzężone z komputerem rejestrującym odczyt prędkości pojazdu testowego. Rys. 55 przedstawia sposób rozmieszczenia radarów.



Rys. 55. Stanowisko radaru najazdowego (lewy) i odjazdowego (prawy)

Komunikaty zamieszczone w tabeli 11 wyświetlano za pomocą dwóch instalacji. W pierwszej wykorzystano tymczasowe zamocowanie po prawej stronie pasa drogowego patrząc w kierunku najazdu na lico znaku (wariant 1). Tablicę zawieszono na wysokości 3 metrów nad poziomem jezdni. W drugiej instalacji (wariant 2) zastosowano podnośnik HDS w celu zawieszenia znaku zmiennej treści nad jezdnią.



Rys. 56. Instalacja znaku VMS: z lewej na poboczu w wariancie 1, z prawej nad jezdnią w wariancie 2

W celu ciągłej rejestracji przebiegu badań zastosowano kamkorder. Urządzenie to rejestruje zachowanie kierującego pojazdem testowym i wyświetlane komunikaty na tablicy znaku zmiennej treści.

W celu rejestracji parametrów jazdy pojazdu testowego zastosowano specjalizowany komputer do diagnostyki pojazdowej marki CONNEX (rys. 57). Urządzenie to rejestrowało parametry jazdy pojazdu w czasie jego dojeżdżania do lica znaku zmiennej treści. W trakcie badań

obserwowano następujące parametry: prędkość obrotowa silnika, siłę nacisku na dźwignię hamulca, ciśnienie w układzie hamulcowym oraz położenie dźwigni przyspieszenia.



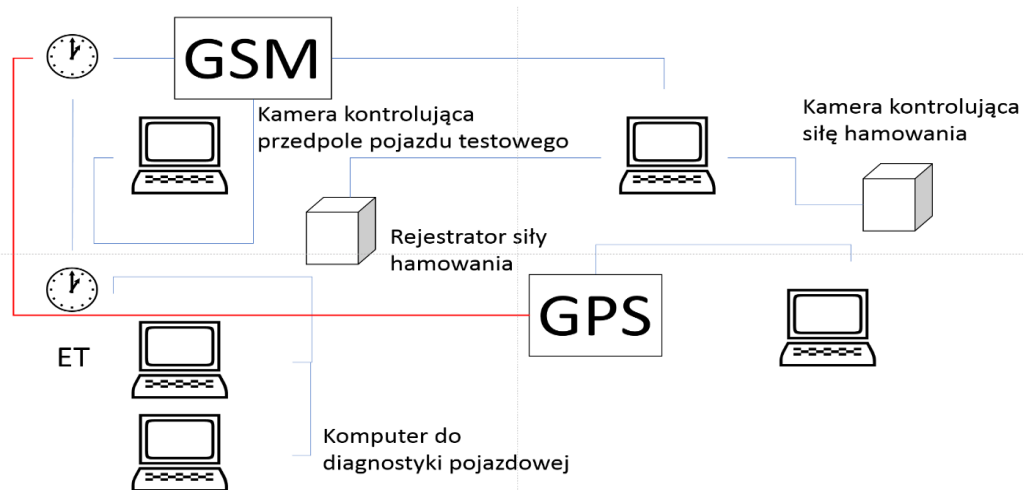
Rys. 57. Komputer do diagnostyki pokładowej

W trakcie badania rejestrowano również wydarzenia na przedpolu pojazdu testowego. W tym celu na wysokości szyby przedniej zamontowano kamerę cyfrową podłączoną do rejestratora w postaci komputera przenośnego. Kamera rejestrowała obraz w rozdzielczości HD 720p i z częstotliwością 25 fps. Kamera rejestrowała również dźwięk (istotne dla pozycjonowania miejsc rozpoznania znaków zmiennej treści). Drugą kamerę cyfrową o tych samych parametrach, niezależną od pierwszej zamontowano tak aby obejmowała obiektywem dźwignię hamulca z zamontowanym na nim urządzeniem do pomiaru siły nacisku. Kamera ta była podłączona do tego samego komputera przenośnego co rejestrator siły hamowania. Umożliwia to analizę indywidualną reakcji kierowcy w zakresie hamowania w zależności od aktualnej sytuacji widzianej przez kierowcę.



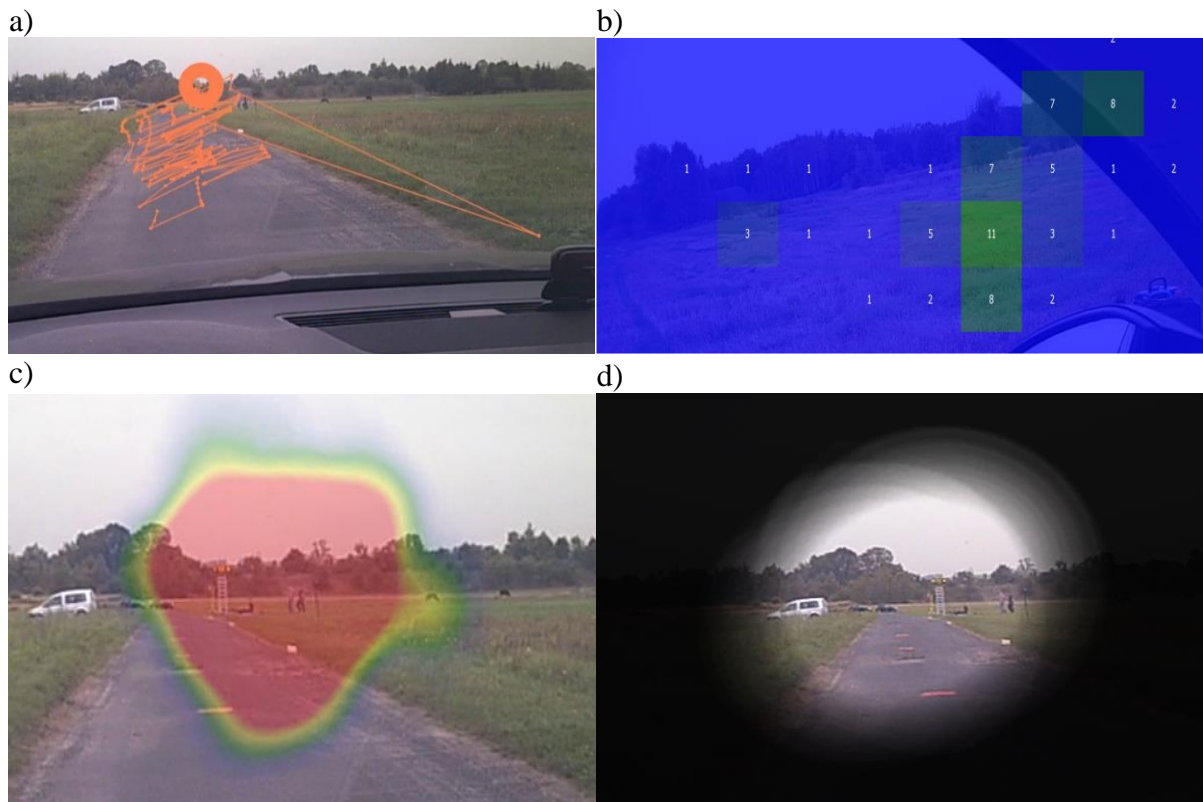
Rys. 58. Widok z kamery przedniej rejestrującej pole widzenia (lewa) oraz z kamery rejestrującej nacisk na dźwignię hamulca (prawa)

Kierowcy pojazdu testowego wyposażeni byli w zestaw ET umożliwiający im zachowanie pełnej swobody ruchów. Poza rejestracją typowych danych dla systemu ET, okulary rejestrują obraz z kamery czołowej w rozdzielczości HD oraz dźwięk. Umożliwia to określenie z dokładnością do chwilowego czasu reakcji osoby towarzyszącej kierowcy miejsca w którym kierowca testowy rozpoznaje komunikat wyświetlany na znaku zmiennej treści. W tym samym czasie potwierdza on odczytanie treści znaku za pomocą krótkiego komunikatu głosowego (raz). Na tej podstawie określana jest odległość w jakiej identyfikowany jest komunikat od lica znaku zmiennej treści. Schemat synchronizacji czasu przedstawiono na rysunku 59. Opiera się on na zegarze satelity, z którym komunikuje się odbiornik GPS i zegarze w sieci komórkowej jednego z operatorów.



Rys. 59. Schemat synchronizacji czasu w zastosowanych urządzeniach rejestrujących i pomiarowych; źródło: opracowanie własne.

W efekcie przeprowadzonych pomiarów ET uzyskano następujące zbiory wyników reprezentujące różne charakterystyki narządu wzroku oraz reakcji kierowców pojazdów na bodźce zewnętrzne wywołane komunikatami wyświetlanymi na znaku VMS (rys. 60 prezentuje przykładowe charakterystyki tego typu).



Rys. 60. Przykładowe charakterystyki narzędzia wzroku, jako wyniki badań ET: a) ścieżka śledzenia wzroku, b) rozkład liczby punktów fiksacji wzroku, c) mapy ciepła, d) ostre pole widzenia.

W celu analizy wyznaczano tzw. Heat Map (mapy ciepła). Sparametryzowano sposób postrzegania sceny ruchu przez kierującego pojazdem w odniesieniu do obszarów podwyższonej uważności (zaznaczone kolorem przezroczystym). Wybrano chwilę rozpoznania treści znaku z agregacją danych z dwusekundowym przesunięciem w czasie. Dodatkowo wyznaczano Gaze Replay (ścieżkę śledzenia wzroku). Sparametryzowano w ten sposób przebieg postrzegania sceny ruchu przez kierującego pojazdem w odniesieniu do obszarów podwyższonej uważności z przesunięciem czasowym o 3 sekundy wstecz. Wykres taki stanowi wizualizację na płaszczyźnie 2D punktów fiksacji i wykonywanych pomiędzy nimi ruchów skakdowych stanowiąc ścieżkę wzroku. Następnie wyznaczano tzw. Focus Map (ostre pole widzenia). Sparametryzowano w ten sposób przebieg postrzegania sceny ruchu przez kierującego pojazdem w odniesieniu do obszarów podwyższonej uważności. Na takich rysunkach fragment sceny ruchu, który jest widoczny wskazuje na obszar w którym odbywa się ostre widzenie kierującego pojazdem. W celu analizy fiksacji przeprowadzono parametryzację w zdefiniowanej siatce o wymiarach 10x10 opisanej na polu powierzchni odpowiadającym parametrom obrazu rejestrowanego przez okulary ET: 960x720 px. Liczba w danym polu siatki

odpowiada ilości razy odpowiadających ogólnej liczbie fiksacji wzroku w polu tablicy zmiennej treści.

W wyniku analizy rejestrowanych charakterystyk wzroku otrzymano przebiegi następujących parametrów wzroku skorelowane z określonym komunikatem znaku VMS:

- przebieg charakterystyki czasu fiksacji, który określa ile czasu trwa skupienie wzroku kierującego w odpowiednich, kolejnych punktach sceny ruchu, nietypowe amplitudy tej charakterystyki mogą wskazywać na występowanie prawidłowości w procesie reakcji na wyświetlany znak zwłaszcza w bezpośrednim sąsiedztwie czasowym związanym z miejscem reakcji deklarowanym przez kierującego pojazdem testowym, zarówno skrócenie czasów fiksacji może być związane z reakcją kierującego jak i ich wydłużenie.

- rozkład przestrzenny punktów fiksacji, który w układzie współrzędnych kartezjańskich podaje punkty na które patrzy kierujący pojazdem testowym. W tym zakresie obserwowane są nietypowe skupiska przestrzenne punktów skupienia wzroku, nietypowe rozproszenie tych punktów w okolicy lokalizacji lica znaku na scenie ruchu mogą wskazywać na trudności z rozpoznaniem znaku, związanym z jego treścią lub lokalizacją lub innymi czynnikami przeszkadzającymi w tym procesie.

- charakterystyka rozmiaru źrenicy, w której również nietypowe wartości rozmiaru źrenicy mogą wskazywać na zaistnienie pewnych zachowań emocjonalnych (np. rozszerzenie średnicy). W tym wypadku wpływ mogą mieć warunki oświetleniowe, jakkolwiek w dniu badania nie zaobserwowano zjawiska oślepienia kierującego pojazdem z uwagi na nieobecność słońca (silne zachmurzenie). Pozwala to na konotowanie zmiany rozmiaru źrenicy z takimi stanami emocjonalnymi jak: różne formy strachu i silne emocje.

- czas trwania ruchów sakkadowych, jest to czas w jakim przemieszcza się wzrok kierującego pojazdem pomiędzy punktami fiksacji które, z uwagi na właściwości wzroku są bardzo małe, obejmują niewielki fragment obserwowanej sceny ruchu. Długie wartości tego czasu wskazują na istotne zmiany kierunku w którym patrzy. Jakkolwiek mogą wskazywać również na stan psychofizyczny kierującego pojazdem mechanicznym – spowolnienie reakcji, skrócenie tych czasów może oznaczać przeskakiwanie wzroku pomiędzy różnymi sąsiadującymi ze sobą obiektami. Z pojęciem tym może być również związane gubienie obiektów na scenie ruchu.

- rozkład punktów początkowych ruchów sakkadowych, który w układzie współrzędnych kartezjańskich podaje punkty początkowe, na które patrzy kierujący pojazdem testowym i z

których następuje przeniesienie wzorku na innych obiekt w polu widzenia. W tym zakresie obserwowane są nietypowe skupiska przestrzenne punktów skupienia wzroku (w tej analizie badany jest całkowity czas pomiędzy punktem startu a końca jazdy testowej).

- rozkład punktów końcowych ruchów sakkadowych, który w układzie współrzędnych kartezjańskich podaje punkty końcowe na które patrzy kierujący pojazdem testowym po zakończeniu przeniesienia wzroku z jednego punktu skupienia uważności na inny. W tym zakresie obserwowane są nietypowe skupiska przestrzenne punktów skupienia wzroku (w tej analizie badany jest całkowity czas pomiędzy punktem startu a końca jazdy testowej).

- amplitudy ruchów sakkadowych, podawane w stopniach kątowych. Duże wartości wskazują na wykonywanie gwałtownych ruchów sakkadowych, wartości mniejsze niż 25-30 stopni można pomijać na tym poziomie szczegółowości analizy.

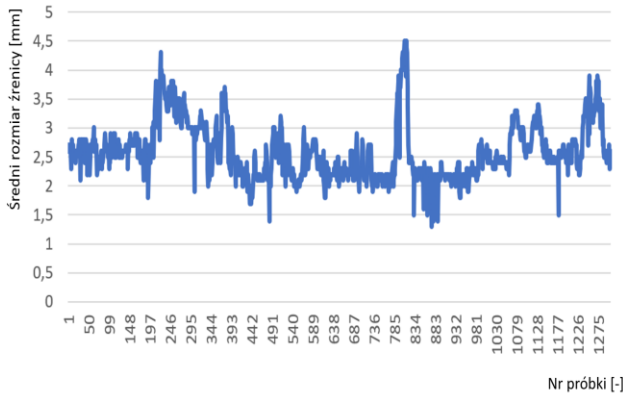
- przyspieszenie ruchów sakkadowych podawane w stopniach kątowych na sekundę kwadrat. Ponownie, duże wartości tego parametru mogą wskazywać na pojawianie się dynamicznych zjawisk, lub nowych obiektów w polu widzenia kierującego pojazdem, zwłaszcza w polu widzenia peryferyjnego i wtedy również może dochodzić do gubienia obiektów na scenie ruchu.

- długość czasu mrugania, podawana w milisekundach. W przekroju populacji średnia długość mrugania nie przekracza na ogół 300 ms, wartości dłuższe niż ta mogą wskazywać na nietypowe zjawiska w czasie obserwacji sceny ruchu przez kierującego pojazdem testowym (zwłaszcza czasy znacznie dłuższe, czas przekraczający 1000 ms traktowany jest jako zjawisko tzw. mikrosnu). Mikrosen to płytki sen trwający od 1 sekundy do 30 sekund. Może być niebezpieczny dla ruchu drogowego zwłaszcza w obszarze przejazdów kolejowych.

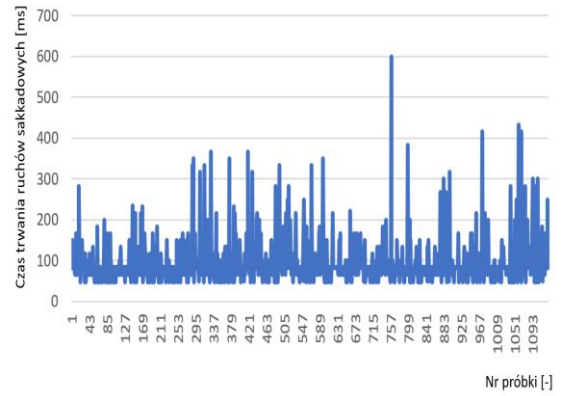
Przykładowe przebiegi przedstawiono na rysunkach 61 - 64.

Fiksacje to względnie stabilne skupienie wzroku na elemencie oglądanego obrazu. Czas fiksacji umożliwia analizę czasu skupienia wzroku na określonym punkcie.

Rozkład punktów fiksacji umożliwia ocenę położenia punktu w przestrzeni, na którym badana osoba najbardziej skupia wzrok.



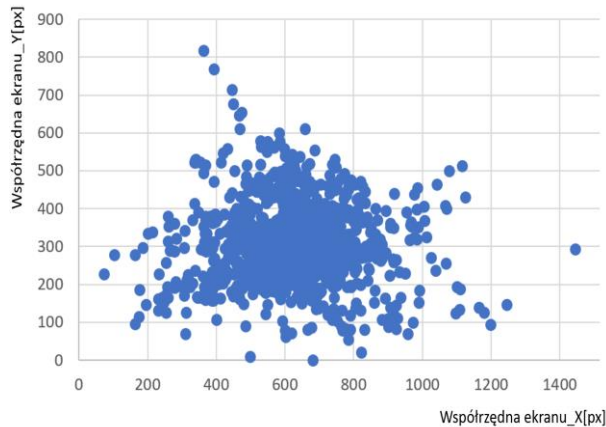
Rys. 61. Średni rozmiar źrenicy (średnica)



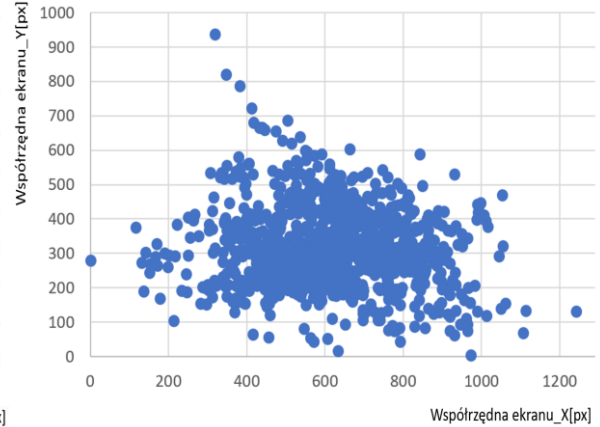
Rys. 62. Czas trwania ruchów sakkadowych

Analizowano również zmiany szerokości źrenic, ponieważ ich reakcja może być także wskaźnikiem obciążenia pamięci roboczej i postrzegania. W [15] zaobserwowano, że im większy jest wysiłek umysłowy i większe przetwarzanie, tym większa jest również średnica źrenicy.

Sakkady to skokowe zmiany położenia oczu, wyzwalane w sposób intencjonalny lub odruchowy, podczas których następuje obniżenie wrażliwości wzrokowej. Sakkady uznaje się również za wskaźnik wrażliwy na zmiany obciążenia poznawczego.



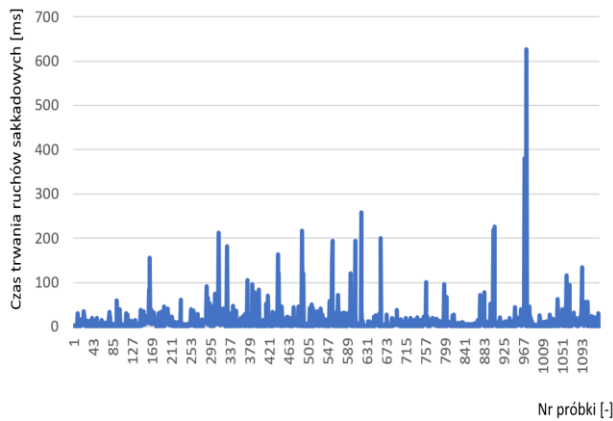
Rys. 63. Punkty początkowe ruchów sakkadowych (widzenie znaku VMS)



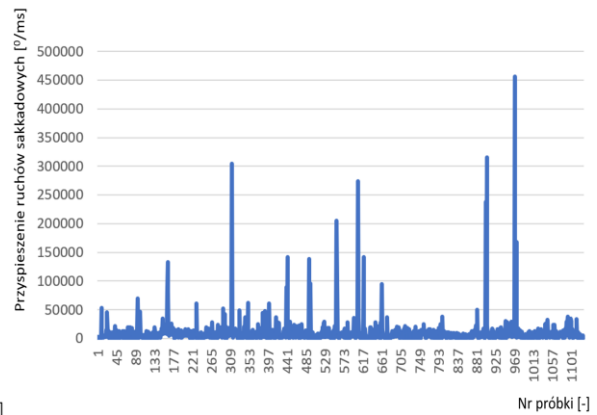
Rys. 64. Punkty końcowe ruchów sakkadowych (rozpoznanie komunikatu)

Rozkład punktów ruchów sakkadowych w momencie deklarowanego widzenia komunikatu VMS i rozpoznania komunikatu umożliwia analizę zmian położenia oczu, które mogą wynikać z reakcji kierowcy na komunikat.

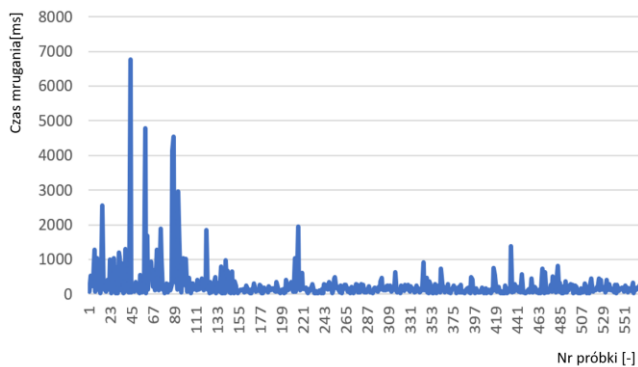
W rezultacie istnieje możliwość wyznaczenia przebiegu zmian wartości dla charakterystycznych amplitud i przyspieszeń ruchów sakkadowych oraz czasów trwania zamykania mrugania. Przykładowe rozkłady tych wartości przedstawiono na rysunkach 65 - 68.



Rys. 65. Czas trwania ruchów sakkadowych



Rys. 66. Przyspieszenie ruchów sakkadowych



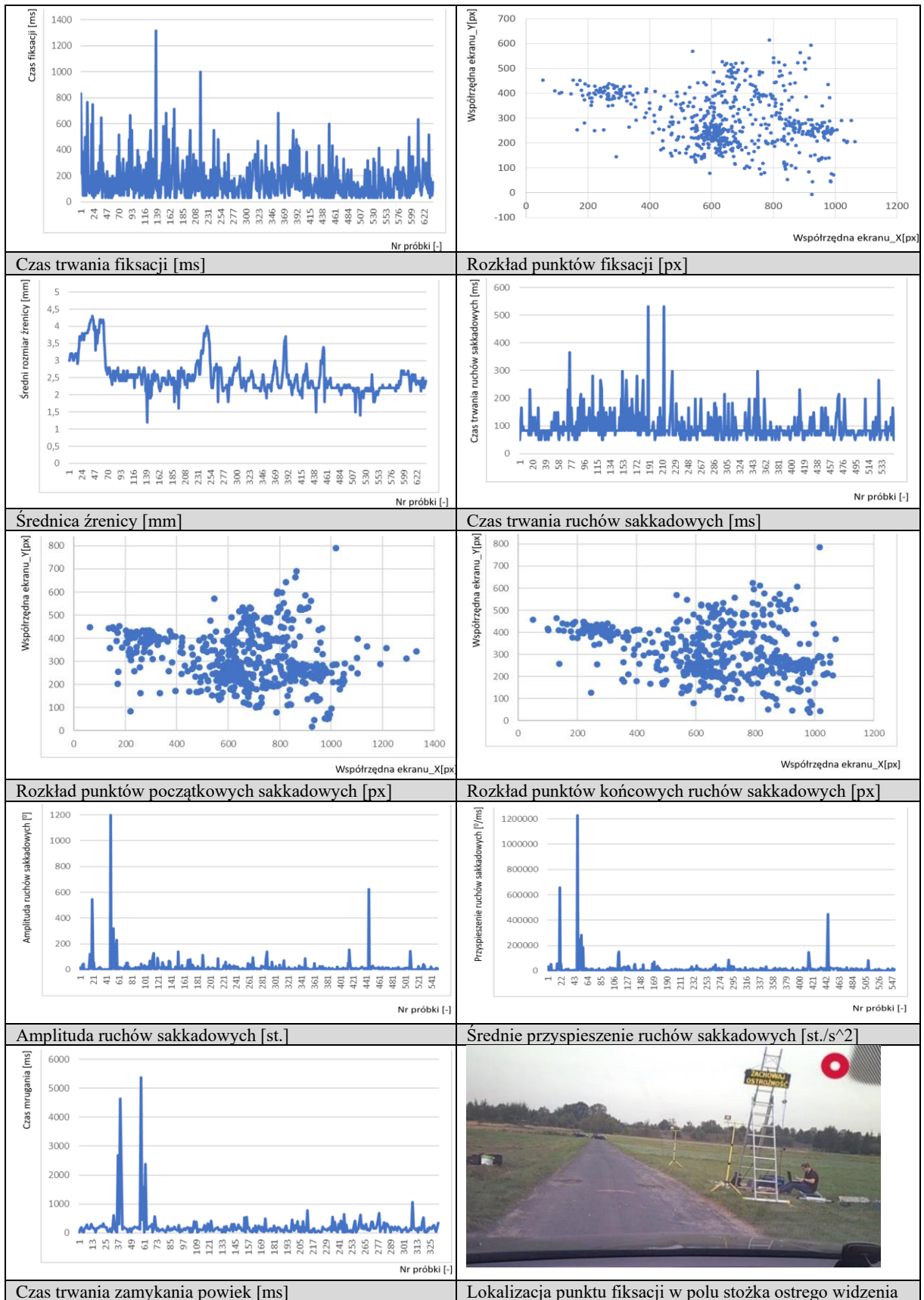
Rys. 67. Rozkład czasu mrugania



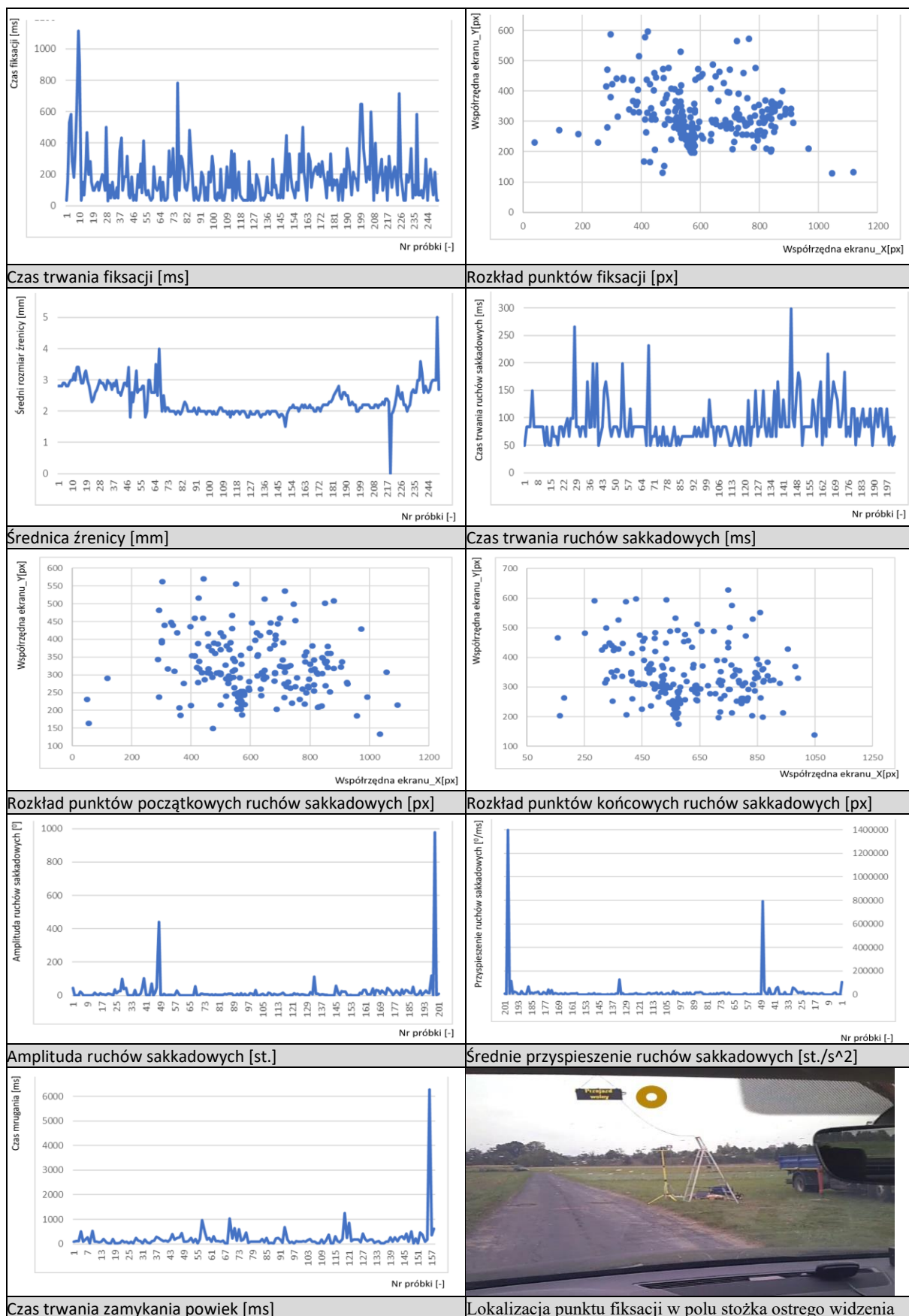
Rys. 68. Lokalizacja punktu fiksacji w polu stożka ostrego widzenia

Zarejestrowane parametry umożliwiają ustalenie lokalizacji punktu fiksacji w kolejnych chwilach czasowych, co umożliwia analizę poprawności lokalizacji znaku VMS. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 67,68.

Uzyskane w ten sposób wyniki skompletowano tworząc bazę danych charakterystyk wzrokowych dla kolejnych analizowanych komunikatów i lokalizacji znaku VMS. Przykładowe zestawy przedstawiono na rysunkach 69, 70.

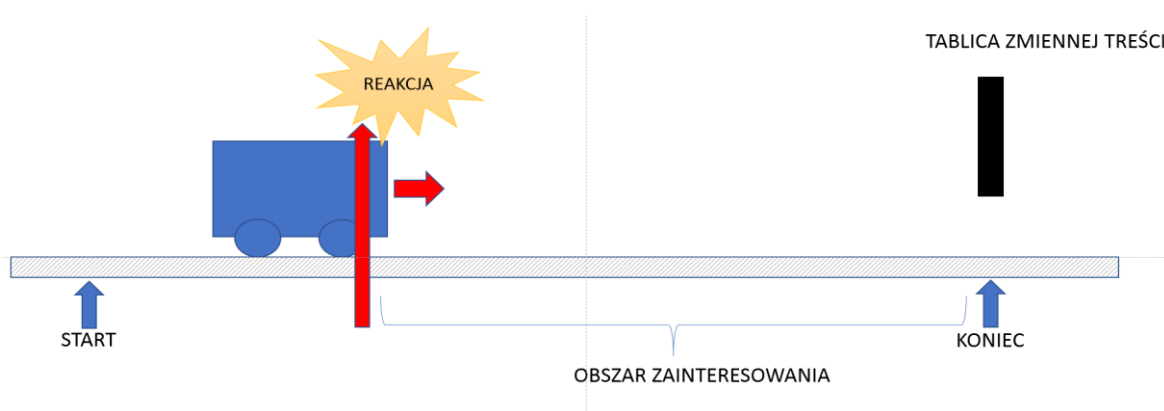


Rys. 69. Podstawowe charakterystyki narządu wzroku kierującego pojazdem dla którego wyświetlono znak zmiennej treści: ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ, lokalizacja znaku – pobocze.



Rys. 70. Podstawowe charakterystyki narządu wzroku kierującego pojazdem dla którego wyświetlono znak zmiennej treści: PRZEJAZD WOLNY – lokalizacja znaku – nad jezdnią.

W ramach analizy zidentyfikowano czasy deklarowanych zgłoszeń i wyznaczono czasy reakcji kierowców na komunikaty znaków VMS. Zakres danych, które poddawane były dalszym analizom przedstawiono na rys. 71.



Rys. 71. Zakres danych z jazdy testowej, długość odcinka drogi dla którego analizowane dane statystyczne

W tabeli 12 przedstawiono wartości czasów reakcji kierowcy pojazdu testowego na pojawienie się czytelnej dla niego formy treści znaku zmiennej treści. Kierowca poruszał się w kierunku na lico znaku zmiennej treści z odległości z której treść wyświetlanego komunikatu nie była widoczna. Zmiana treści znaku odbywała się po czasie, gdy kierowca wycofał pojazd. Badania czasu reakcji na treści komunikatów prowadzono z różnych pozycji początkowych (odległości przed licem znaku) dla zwiększenia realizmu badania (nie mniej niż 150 metrów). W związku z tym czas reakcji kierowcy pojazdu testowego na rozpoznanie treści znaku zmiennej treści jest liczony od początku nagrania z wykorzystaniem okularów ET, które następuje w momencie rozpoczęcia jazdy pojazdu. Czas ten zaokrąglono w zakresie milisekund do pełnych setek. Celem tych analiz jest wskazanie w badanych charakterystykach ET numeru próby, która odpowiada czasowi reakcji kierowcy pojazdu testowego. W tabeli 12 podano czas reakcji zarówno w formie [m:s.ss] jak i w odniesieniu do numeru próby (sampla) którego dotyczy.

Dodatkowo w tabeli nr 13 przedstawiono wartości odległości miejsca w jakim następuje rozpoznanie treści znaku wyświetlanego dla kierowcy. Odległość ta liczona jest od miejsca kierowcy (ściślej od ogniskowej jego oczu) do czoła lica znaku z wyświetlanym komunikatem, w chwili deklaracji przez kierowcę rozpoznania znaku (krótki komunikat werbalny).

Tabela 12. Czasy reakcji na pojawienie się rozpoznawalnej treści znaku w polu widzenia

Lp.	Treść znaku	Czas [m:s:~ss*]	Czas [ms]	UWAGI
<i>Lokalizacja znaku na poboczu</i>				
1	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	5:54.6	354600	
2	ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	3:14.3	194300	
3	UWAGA POCIĄG bez pulsowania	2:24.8	144800	
4	AWARIA	0:33.2	33200	
5	PRZEJAZD WOLNY	2:14.0	134000	
6	ZWOLNIJ	1:32.1	92100	
7	UWAGA PRZESZKODA	0:28.7	28700	
8	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	1:53.4	113400	
9	STOP!	0:24.4	24400	
10	ZATOR	0:30.9	30900	
<i>Lokalizacja znaku nad jezdnią</i>				
11	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	2:46.3	160300	DESZCZ
12	UWAGA PRZESZKODA	0:42.0	42000	DESZCZ
13	AWARIA	2:46.5	166500	MOKRO
14	UWAGA POCIĄG	0:34.6	34600	MOKRO
15	Niebezpieczeństwo!	0:55.1	55100	
16	50 SEK	1:50.6	110600	
17	B20 BEZ PULSACJI	4:07.9	247900	
18	Niebezpieczeństwo!	0:45.8	45800	
19	POCIĄG!	0:56.8	56800	
20	ZWOLNIJ!	0:59.0	59000	
21	B20 BEZ PULSACJI	1:01.7	61700	
22	20 SEK	0:50.5	50500	
23	PRZEJAZD WOLNY	0:49.7	49700	

*-czas zaokrąglony do pełnych setek milisekund

Tabela 13. Odległość miejsca reakcji na pojawienie się rozpoznawalnej treści znaku w polu widzenia od lica znaku zmiennej treści

Lp.	Treść znaku	Odległość [m]	UWAGI
<i>Lokalizacja znaku na poboczu</i>			
1	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	81	
2	ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	58	
3	UWAGA POCIĄG bez pulsowania	52	
4	AWARIA	79	
5	PRZEJAZD WOLNY	63	
6	ZWOLNIJ	68	
7	UWAGA PRZESZKODA	60	
8	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	44	
9	STOP!	51	
10	ZATOR	62	
<i>Lokalizacja znaku nad jezdnią</i>			
11	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	66	DESZCZ
12	UWAGA PRZESZKODA	61	DESZCZ
13	AWARIA	49	MOKRO
14	UWAGA POCIĄG	45	MOKRO
15	Niebezpieczeństwo!	52	
16	50 SEK	53	
17	B20 BEZ PULSACJI	63	
18	Niebezpieczeństwo!	42	
19	POCIĄG!	54	
20	ZWOLNIJ!	47	
21	B20 BEZ PULSACJI	69	
22	20 SEK	98	
23	PRZEJAZD WOLNY	47	

Na podstawie badań zdecydowano się także zweryfikować hipotezę, że odległość postrzegania komunikatu znaku VMS zależy od liczby znaków znajdujących się w jego treści. Dlatego przeprowadzono eksperyment obliczeniowy, w którym przeliczano odległość w której rozpoznawany jest znak zmiennej treści na liczbę znaków. Założono, że miarą bardziej wiarygodną będzie odległość względna jako suma odległości identyfikacji i liczby znaków w komunikacie. Wyniki tego szacowania odległości względnej przedstawiono w tabeli 14.

Tabela 14. Odległość miejsca reakcji na pojawienie się rozpoznawalnej treści znaku w polu widzenia od lica znaku zmiennej treści z uwzględnieniem długości komunikatu w znakach

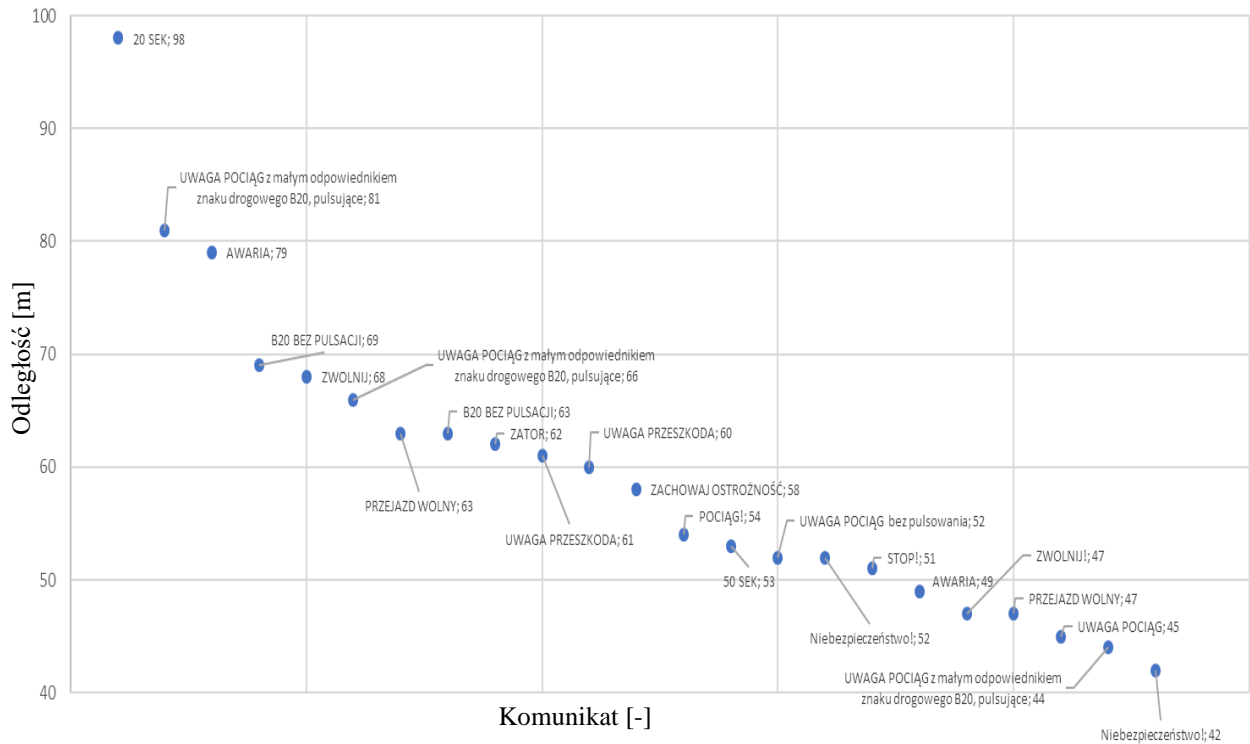
Lp.	Treść znaku	Odległość [m]	<u>LICZBA ZNAKÓW</u>	<u>ODLEGL OŚC WZGLED NA</u>	UWAGI
<i>Lokalizacja znaku na poboczu</i>					
1	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	81	11	92	
2	ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	58	18	76	
3	UWAGA POCIĄG bez pulsowania	52	11	63	
4	AWARIA	79	6	85	
5	PRZEJAZD WOLNY	63	13	76	
6	ZWOLNIJ	68	7	75	
7	UWAGA PRZESZKODA	60	15	75	
8	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	44	11	55	
9	STOP!	51	5	56	
10	ZATOR	62	5	67	
<i>Lokalizacja znaku nad jezdnią</i>					
11	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	66	11	77	DESZCZ
12	UWAGA PRZESZKODA	61	16	77	DESZCZ
13	AWARIA	49	6	55	MOKRO
14	UWAGA POCIĄG	45	11	56	MOKRO
15	Niebezpieczeństwo!	52	18	70	
16	50 SEK	53	5	58	
17	B20 BEZ PULSACJI	63	4	67	
18	Niebezpieczeństwo!	42	18	60	
19	POCIĄG!	54	7	61	
20	ZWOLNIJ!	47	8	55	
21	B20 BEZ PULSACJI	69	4	73	
22	20 SEK	98	5	103	
23	PRZEJAZD WOLNY	47	13	60	

Następnie wszystkie uporządkowano wyniki w funkcji malejącej odległości identyfikacji znaków zmiennej treści (tabela nr 15).

Tabela 15. Posortowane malejąco odległość miejsca reakcji na pojawienie się rozpoznawalnej treści znaku w polu widzenia od lica znaku zmiennej treści

Lp.	Treść znaku	Odległość [m]
1	20 SEK	98
2	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20,	81
3	AWARIA	79
4	B20 BEZ PULSACJI	69
5	ZWOLNIJ	68
6	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20,	66
7	PRZEJAZD WOLNY	63
8	B20 BEZ PULSACJI	63
9	ZATOR	62
10	UWAGA PRZESZKODA	61
11	UWAGA PRZESZKODA	60
12	ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	58
13	POCIĄG!	54
14	50 SEK	53
15	UWAGA POCIĄG bez pulsowania	52
16	Niebezpieczeństwo!	52
17	STOP!	51
18	AWARIA	49
19	ZWOLNIJ!	47
20	PRZEJAZD WOLNY	47
21	UWAGA POCIĄG	45
22	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20,	44
23	Niebezpieczeństwo!	42

Wyniki odległości identyfikacji komunikatu znaku VMS przedstawiono graficznie na rys. 72.



Rys. 72. Odległość znaków zmiennej treści

Na podstawie uzyskanych wyników należy stwierdzić, że zdecydowanie najlepiej rozpoznawane są komunikaty: „20 sek.”, „UWAGA POCIĄG” z piktogramem B20 z pulsacją i „AWARIA”. Pozostałe znaki różnią się w zakresie analizowanej charakterystyki pomiędzy sobą nieznacznie i znajdują się na części charakterystyki zbliżonej do przebiegu liniowego, któremu odpowiadają małe spadki odległości identyfikacji pomiędzy poszczególnymi znakami.

Dodatkowo stwierdzono, że w grupie najlepiej rozpoznawanych treści wyświetlanych znaków dominują znaki składające się z maksymalnie do 6-7 znaków. Odpowiada to wiedzy na temat parametrów pamięci chwilowej omawianych w zagadnieniach neurokognitywnych. Warto także podkreślić, że pulsacja znaku pozytywnie wpływa na odległość jego identyfikacji. Zauważono także, że dobrze rozpoznawalne treści rozpoczynają się od samogłoski.

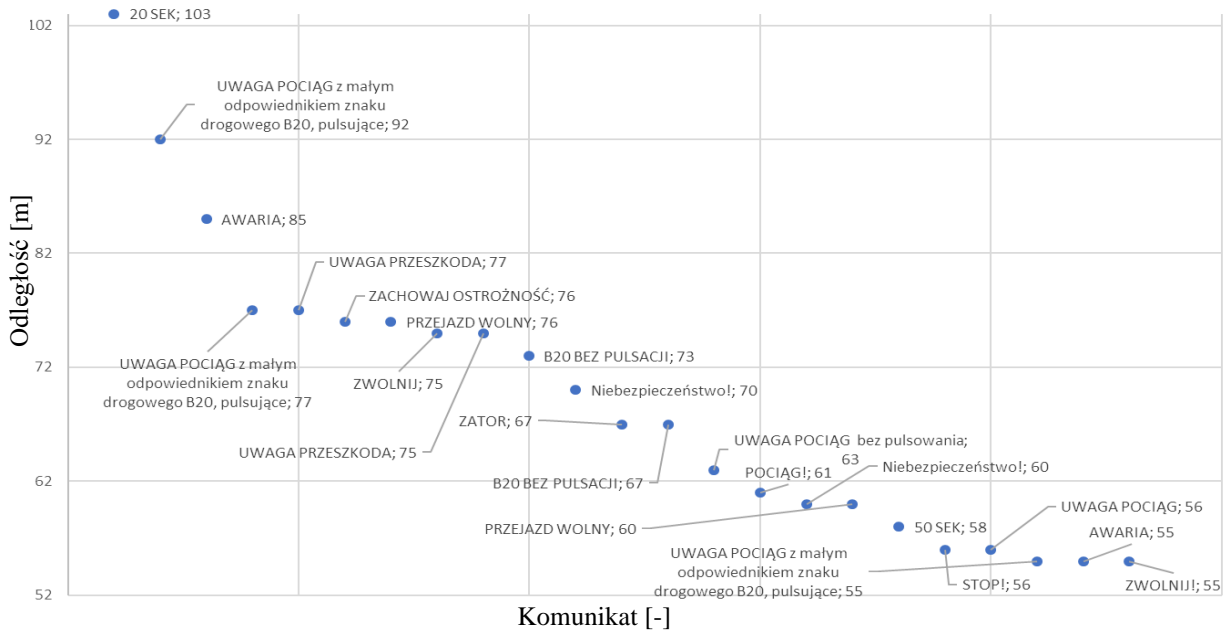
Reasumując, treść wyświetlanych znaków VMS powinna składać się z mniej niż 7 znaków, znak powinien pulsować, treść znaku powinna zaczynać się od samogłoski: (a)waria, (u)waga, (e)...?, (i)...?, (o)...?, (ó)...?, (y).

Analogiczną analizę przeprowadzono także dla odległości względnych. Wyniki malejących odległości względnych identyfikacji przedstawiono w tabeli 16.

Tabela 16. Posortowane malejąco odległość miejsca reakcji na pojawienie się rozpoznawalnej treści znaku w polu widzenia od lica znaku zmiennej treści z korekcją tej wartości o długość napisu

Lp.	Treść znaku	<u>ODLEGŁOŚĆ WZGLEDNA</u> <u>[m]</u>
1	20 SEK	103
2	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20,	92
3	AWARIA	85
4	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20,	77
5	UWAGA PRZESZKODA	77
6	ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	76
7	PRZEJAZD WOLNY	76
8	ZWOLNIJ	75
9	UWAGA PRZESZKODA	75
10	B20 BEZ PULSACJI	73
11	Niebezpieczeństwo!	70
12	ZATOR	67
13	B20 BEZ PULSACJI	67
14	UWAGA POCIĄG bez pulsowania	63
15	POCIĄG!	61
16	Niebezpieczeństwo!	60
17	PRZEJAZD WOLNY	60
18	50 SEK	58
19	STOP!	56
20	UWAGA POCIĄG	56
21	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20,	55
22	AWARIA	55
23	ZWOLNIJ!	55

Wyniki względnej odległości identyfikacji komunikatu znaku VMS przedstawiono graficznie na rys. 73.



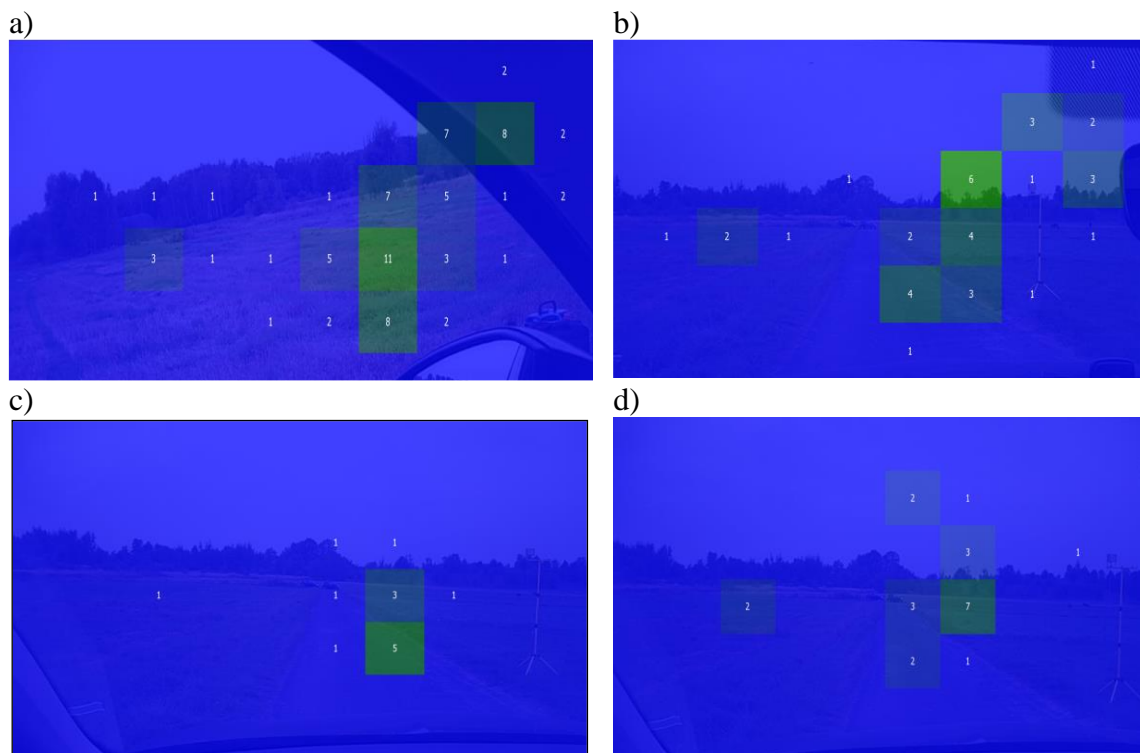
Rys. 73. Odległość względna rozpoznawania znaków zmiennej treści przy uwzględnieniu korekty z uwagi na długość znaku (oś Y odległość od lica znaku)

Na rys. 73 przedstawiono odległości, w których rozpoznawane są poszczególne znaki w kolejności malejącej z korekcją tego parametru z uwagi na długość komunikatu. Korekcja jednego metra na znak odpowiada przy prędkości mniejszej niż 5 km/h, deskrypcji jednego znaku w ciągu sekundy. Dla prędkości ok. 50 km/h jest to odpowiednio 13,88 metra. Oczywistym jest, że pojedynczy znak nie jest odczytywany w ciągu sekundy. Wg studiów literaturowych ok. 180-220 słów jest przeciętnie odczytywane w ciągu minuty. Dla ok. 180 słów daje to ok. 3 słów na sekundę. W języku polskim występuje średnio 7 znaków w słowie, co daje 21 znaków na sekundę. W tym czasie pojazd dla prędkości 100 km/h może przebyć blisko 30 metrów. Dla wartości podanych na rysunku 73 oznacza to możliwość zmian kolejności w rankingu poszczególnych znaków - zwłaszcza w części linowej charakterystyki (dotyczy zatem także znaków celowo wybranych jako najlepsze).

Na podstawie analizy porównawczej obu charakterystyk odległości identyfikacji komunikatu można odczytać, że treść znaku może mieć większe znaczenie od jego długości. Komunikaty o treści przekraczającej 10 znaków przesuwają się w rankingu do góry np. w odniesieniu do pozycji znaku B20.

W celu pogłębionej analizy wpływu liczby znaków w komunikacie na percepcję znaku VMS przeprowadzono kolejne obliczenia. Opracowano statystyki dla parametrów fiksacji wzroku w zdefiniowanej siatce o wymiarach 10x10, opisaną na polu powierzchni odpowiadającym

parametrom obrazu rejestrowanego przez okulary ET: 960x720 px. Przykładowe wyniki tych przekształceń dla znaków VMS zlokalizowanych na poboczu przedstawiono na rys. 74.



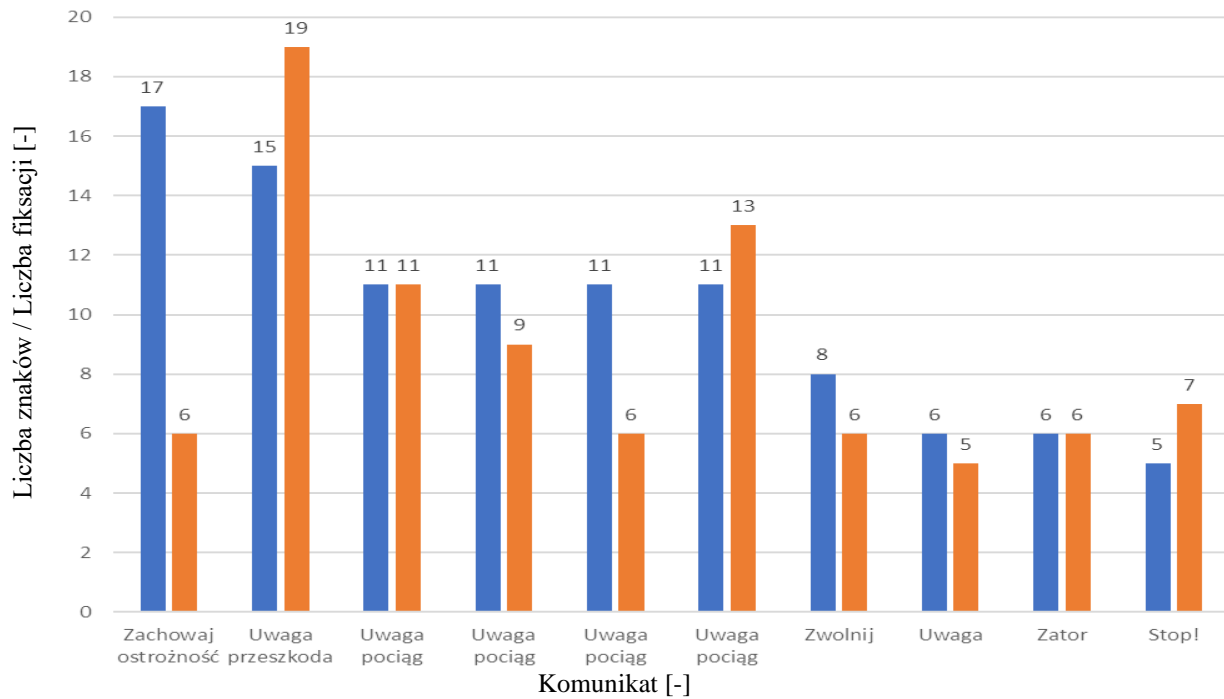
Rys. 74. Statystyki parametrów fiksacji dla następujących komunikatów: a) UWAGA POCIĄG z B20, b) ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ, c) AWARIA, d) STOP!

Liczba w danym polu siatki odpowiada ilości razy odpowiadających ogólnej liczbie fiksacji wzroku w polu tablicy zmiennej treści. Taka wartość liczona jest od chwili zauważenia treści komunikatu do chwili zjazdu poza miejsce lokalizacji tablicy zmiennej treści. Maksymalna liczba fiksacji w polach zbliżonych do lokalizacji znaku przedstawiono w tabeli 17 oraz zilustrowano graficznie na rys. 75.

Tabela 17. Maksymalna liczba fiksacji w polach zbliżonych do lokalizacji znaku

Lp.	Treść komunikatu	Liczba znaków komunikatu	Maksymalna Liczba fiksacji
1	UWAGA POCIĄG	11	11
2	ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	17	6
3	UWAGA POCIĄG	11	9
4	UWAGA!	6	5
5	STOP!	5	7
6	ZWOLNIJ!	8	6
7	UWAGA PRZESZKODA	15	19

8	UWAGA POCIĄG	11	6
9	ZATOR!	6	6
10	UWAGA POCIĄG	11	13



Rys. 75. Liczba znaków vs liczba fiksacji w polach zbliżonych do pozycji znaku

Z rysunku 75 wynika, że maksymalna liczba fiksacji w obszarze pola widzenia związanym z lokalizacją znaku nie jest skorelowana z liczbą znaków w treści komunikatu. Jakkolwiek dla znaków zawierających słowo UWAGA i znaków ZWOLNIJ!, UWAGA!, STOP!, ZATOR! Jest już ona zauważalna.

W kolejnych tabelach przedstawiono zestawienie wyznaczonych parametrów wzroku podczas badań ET.

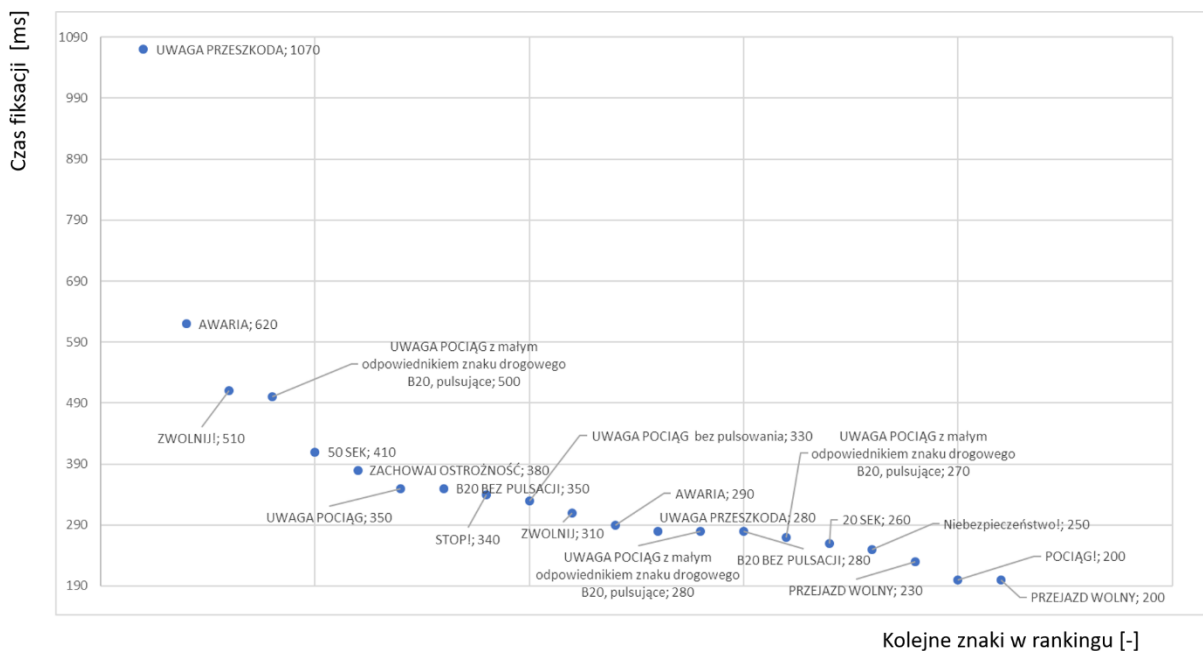
Tabela 18. Charakterystyka czasów fiksacji

Lp.	Treść znaku	Czas [ms]	Nr sampla	UWAGI	Parametr wprowadzany do analizy
1	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	354600	885	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<500 ms)	500
2	ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	194300	529	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<380 ms)	380
3	UWAGA POCIĄG bez pulsowania	144800	413	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<330 ms)	330
4	AWARIA	33200	87	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<620 ms)	620
5	PRZEJAZD WOLNY	134000	387	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<230 ms)	230
6	ZWOLNIJ	92100	253	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<310 ms)	310
7	UWAGA PRZESZKODA	28700	76	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<280 ms)	280
8	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	113400	314	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<270 ms)	270
9	STOP!	24400	65	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<340 ms)	340
10	ZATOR	30900	76	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<500 ms)	
11	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	160300	320	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<280 ms)	280
12	UWAGA PRZESZKODA	42000	92	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<1070 ms)	1070
13	AWARIA	166500	431	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<290 ms)	290
14	UWAGA POCIĄG	34600	103	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<350 ms)	350
15	Niebezpieczeństwo!	55100	102	-*	
16	50 SEK	110600	152	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<410 ms)	410
17	B20 BEZ PULSACJI	247900	711	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<350 ms)	350
18	Niebezpieczeństwo!	45800	113	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<250 ms)	250

19	POCIĄG!	56800	141	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<200 ms)	200
20	ZWOLNIJ!	59000	168	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<510 ms)	510
21	B20 BEZ PULSACJI	61700	165	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<280 ms)	280
22	20 SEK	50500	143	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<260 ms)	260
23	PRZEJAZD WOLNY	49700	127	Charakterystyczny spadek a następnie wzrost czasów fiksacji (<200 ms)	200

*- odczyt nie czytelny

Na rys. 76 przedstawiono wpływ treści komunikatu znaku VMS na długość czasu fiksacji (parametr).



Rys. 76. Wpływu treści znaku na długość czasu fiksacji (oś Yms)

Z danych przedstawionych na rysunku 76 wynika, że najdłuższe czasy fiksacji dotyczą treści komunikatów o wydźwięku nakazowym. Związane są z takimi słowami jak: uwaga, przeszkoda, awaria, zwolnij. Każde z tych słów powoduje prawdopodobnie wydłużenie czasu analizy znaku i zwiększenie uważności kierującego pojazdem. Przeniesienie wzroku na lico znaku poprzedza chwilowy spadek czasów fiksacji, po którym następuje jego znaczny wzrost wartości tego parametru. Tego typu zależność została zarejestrowana w przypadku każdego znaku. Należy zastrzec, że takie wahania obserwowane są cały czas również poza chwilą, w której nastąpiła reakcja na znak, różne są natomiast poziomy tych wahań.

Tabela 19. Charakterystyka rozkładu przestrzennego punktów fiksacji

Lp.	Treść znaku	Czas [ms]	UWAGI
1	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	354600	Typowa, większość punktów skupiona na środku sceny ruchu, pojedyncze rozproszone w peryferyjnych obszarach sceny ruchu
2	ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	194300	Rozproszona z asymetrią prawostronną, wyraźnie widoczne punkty wybierania lica znaku
3	UWAGA POCIĄG bez pulsowania	144800	Silnie rozproszona z asymetrią prawostronną, i bardzo wyraźnie widocznymi punktami wybierania lica znaku
4	AWARIA	33200	Silnie rozproszona z asymetrią prawostronną, i bardzo wyraźnie widocznymi punktami wybierania lica znaku, ponadto rozkład jest rozwarstwiony w układzie pionowym
5	PRZEJAZD WOLNY	134000	Silnie rozproszona z asymetrią prawostronną, i bardzo wyraźnie widocznymi punktami wybierania lica znaku
6	ZWOLNIJ	92100	Silnie rozproszona ze znaczną asymetrią prawostronną, i bardzo wyraźnie widocznymi punktami wybierania lica znaku, widoczne lekkie rozwarstwienie
7	UWAGA PRZESZKODA	28700	Silnie rozproszona z bardzo silną asymetrią prawostronną, i słabo widocznymi punktami wybierania lica znaku
8	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	113400	Silnie rozproszona z asymetrią prawostronną, i bardzo wyraźnie widocznymi punktami wybierania lica znaku, ponadto widoczne są silne klastry w liczbie 3.
9	STOP!	24400	Silnie rozproszona z asymetrią prawostronną, i bardzo wyraźnie widocznymi punktami wybierania lica znaku, widoczna lekka klasteryzacja
10	ZATOR	30900	Silnie rozproszona z niewielką asymetrią prawostronną, i widocznymi punktami wybierania lica znaku
11	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	160300	Słabo rozproszona i bardzo wyraźnie widocznymi punktami wybierania lica znaku
12	UWAGA PRZESZKODA	42000	Silnie rozproszona z asymetrią prawostronną, i wyraźnie widocznymi punktami wybierania lica znaku, lekkie rozwarstwienie poziome
13	AWARIA	166500	Przeciętnie rozproszona z bardzo silną asymetrią prawostronną, i niewyraźnymi punktami wybierania lica znaku
14	UWAGA POCIĄG	34600	Silnie rozproszona z asymetrią prawostronną, i widocznymi punktami wybierania lica znaku

15	Niebezpieczeństwo!	55100	Silnie rozproszona z asymetrią prawostronną, i bardzo wyraźnie widocznymi punktami wybierania lica znaku (przy małej liczbie pkt pomiarowych)
16	50 SEK	110600	Silnie rozproszona z asymetrią prawostronną, i stosunkowo dobrze widocznymi punktami wybierania lica znaku
17	B20 BEZ PULSACJI	247900	Z asymetrią prawostronną, i brakiem widocznych punktów wybierania lica znaku
18	Niebezpieczeństwo!	45800	Silnie rozproszona z asymetrią prawostronną, i widocznymi punktami wybierania lica znaku, lekkie rozwarstwienie pionowe
19	POCIĄG!	56800	Silnie rozproszona z asymetrią prawostronną, i wyraźnie widocznymi punktami wybierania lica znaku, widoczne klastry
20	ZWOLNIJ!	59000	Bardzo silnie rozproszona z bardzo silną asymetrią prawostronną, i bardzo wyraźnie widocznymi punktami wybierania lica znaku, widoczna klasteryzacja
21	B20 BEZ PULSACJI	61700	Silnie rozproszona z asymetrią prawostronną, i bardzo wyraźnie widocznymi punktami wybierania lica znaku, rozwarstwiona w układzie poziomym i pionowym
22	20 SEK	50500	Silnie rozproszona z asymetrią prawostronną, i bardzo wyraźnie widocznymi punktami wybierania lica znaku, nietypowe rozproszenia w układzie pionowym
23	PRZEJAZD WOLNY	49700	Silnie rozproszona z asymetrią prawostronną, i bardzo wyraźnie widocznymi punktami wybierania lica znaku, widoczna klasteryzacja

Asymetria prawostronna obserwowana w zakresie przestrzennego rozkładu punktów fiksacji wzroku na scenie ruchu jest zrozumiała z punktu widzenia lokalizacji znaku zmiennej treści po prawej stronie pasa drogowego (wyświetlacz na wysięgniku mimo, że zawieszony nad jezdnią nadal znajdował się bliżej prawej krawędzi jezdni). Obserwowane występowanie zjawiska rozwarstwienia skupisk punktów fiksacji w układzie pionowym (skoki fiksacji góra-dół) związane jest z zawieszaniem wyświetlacza znaków zmiennej treści nad pasem drogowym na wysokości ok 4 metrów, co przy silnym strumieniu ruchu z drugiej strony na przejeździe kolejowo-drogowym może być rozwiązaniem niekorzystnym – powodującym kolizje- bieżące statystyki ruchu wskazują na dużą częstotliwość występowania tego typu kolizji. Rozwarstwienie poziome wskazuje na obecność elementów sceny ruchu rozpraszających uwagę kierowcy.

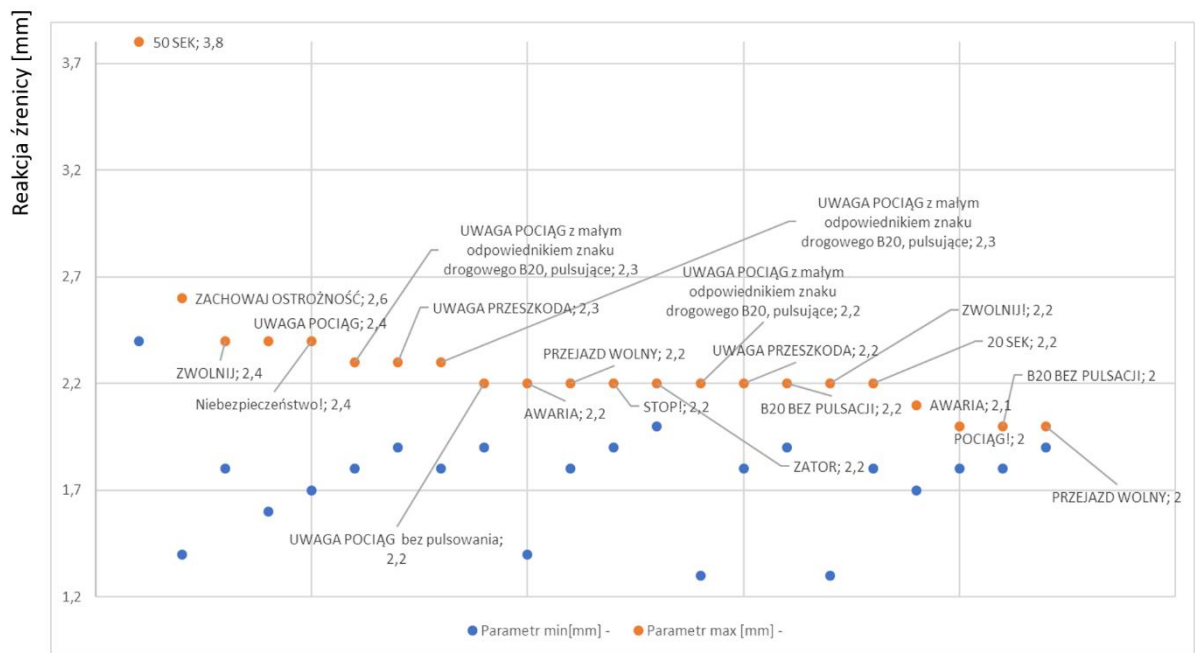
W kolejnej tabeli nr 20 oraz na rysunku 77 przedstawiono parametry rozmiaru średnicy kierowcy w trakcie jazdy testowej, przyjęto następujące kryteria dla różnicy średnicy:

- małe $\leq 0,5$,
- przeciętne (0,5-1,5),
- duże ($> 1,5-2,0$),
- ponadprzeciętne $> 2,0$

Tabela 20. Charakterystyka rozkładu rozmiaru średnicy oka kierowcy pojazdu testowego

Lp.	Treść znaku	Czas [ms]	UWAGI	Parametr min[mm]	Parametr max [mm]
1	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	354600	małe zmiany	1,8	2,3
2	ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	194300	przeciętne	1,4	2,6
3	UWAGA POCIĄG bez pulsowania	144800	małe zmiany	1,9	2,2
4	AWARIA	33200	przeciętne	1,4	2,2
5	PRZEJAZD WOLNY	134000	małe zmiany	1,8	2,2
6	ZWOLNIJ	92100	przeciętne	1,8	2,4
7	UWAGA PRZESZKODA	28700	małe zmiany	1,9	2,3
8	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	113400	małe zmiany	1,8	2,3
9	STOP!	24400	małe zmiany	1,9	2,2
10	ZATOR	30900	małe zmiany	2	2,2
11	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	160300	przeciętne	1,3	2,2
12	UWAGA PRZESZKODA	42000	małe zmiany	1,8	2,2
13	AWARIA	166500	małe zmiany	1,7	2,1
14	UWAGA POCIĄG	34600	przeciętne	1,6	2,4
15	Niebezpieczeństwo!	55100	-	-	-

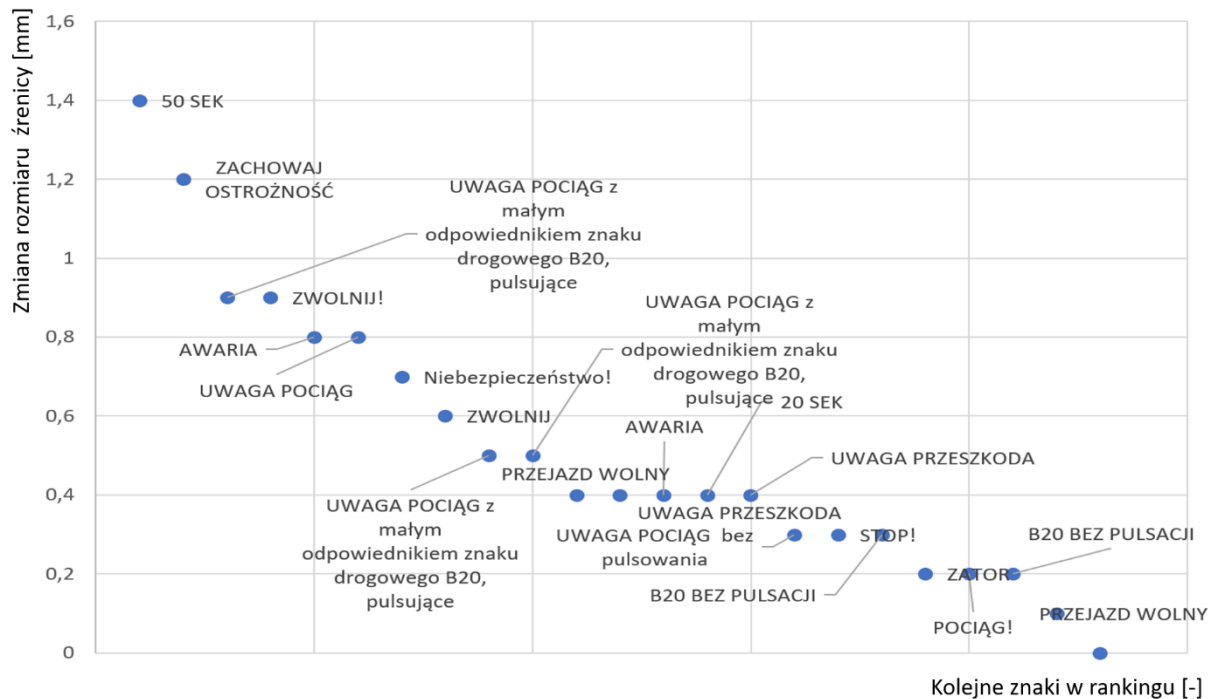
16	50 SEK	110600	przeciętne	2,4	3,8
17	B20 BEZ PULSACJI	247900	małe zmiany	1,9	2,2
18	Niebezpieczeństwo!	45800	przeciętne	1,7	2,4
19	POCIĄG!	56800	małe zmiany	1,8	2,0
20	ZWOLNIJ!	59000	przeciętne	1,3	2,2
21	B20 BEZ PULSACJI	61700	małe zmiany	1,8	2,0
22	20 SEK	50500	małe zmiany	1,8	2,2
23	PRZEJAZD WOLNY	49700	małe zmiany	1,9	2,0



Kolejne znaki w rankingu [-]

Rys. 77. Reakcja źrenicy w czasie identyfikacji znaku zmiennej treści.

W celu poprawy przejrzystości przeprowadzono grupowanie wyników w ciągu malejącym. Wyniki przedstawiono na rysunku 78. Dodatkowo dla malejącej skali wyznaczono charakterystykę dla wartości średnicy wyznaczone jako różnica pomiędzy wartościami maksymalną i minimalną.



Rys. 78. Zmiana rozmiaru średnicy źrenicy (max – min) w czasie identyfikacji znaku zmiennej treści, – porządek według malejących wartości.

Na rys. 78 widoczny jest rozkład minimalnego (kolor niebieski) i maksymalnego (kolor pomarańczowy) rozmiaru źrenicy (w milimetrach) kierowcy pojazdu testowego wiązany z faktem identyfikacji treści wyświetlanej na znaku zmiennej treści. W tym zakresie dane mogą być porównywane z uwagi na stałe warunki oświetleniowe w dniu pomiaru (pełne zachmurzenie). Na tej charakterystyce jak również na rys.77 ponownie zwraca uwagę wysoka pozycja treści związanej z komunikatem „50 sek.” i podobnie jak w przypadku analizy czasu fiksacji pozycja treści: AWARIA i ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ.

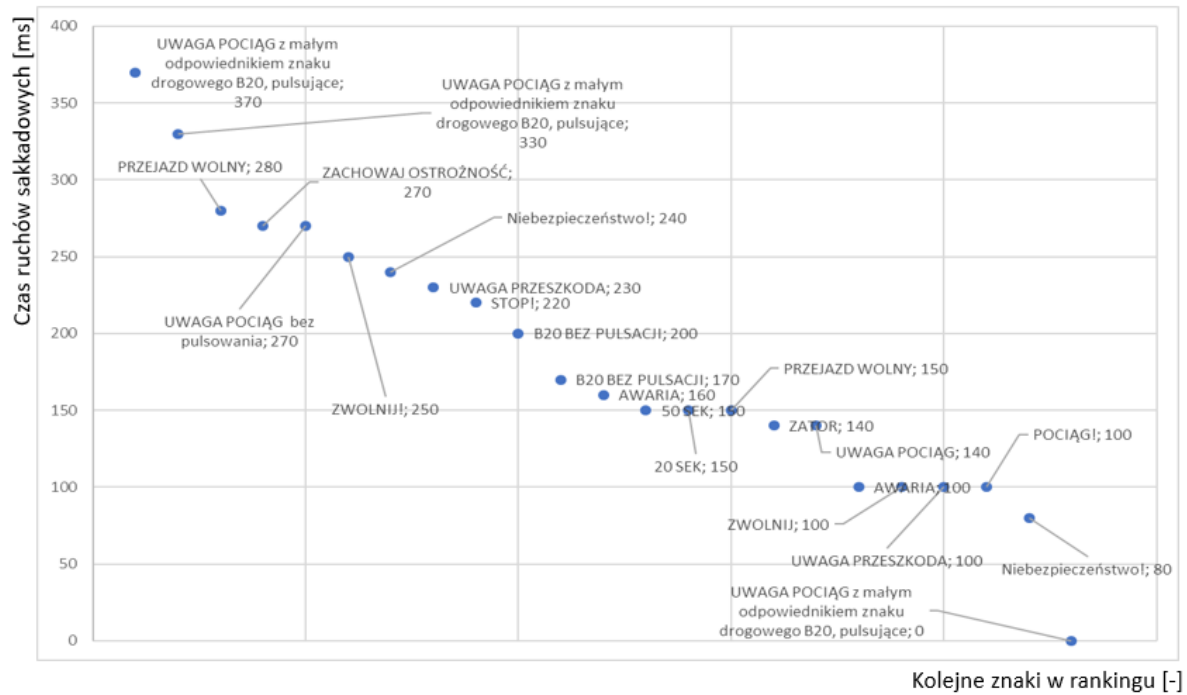
Analogicznie przeanalizowano parametry dla ruchów sakkadowych. Wyniki przedstawiono w formie tabel i wykresów poniżej.

Tabela 21. Charakterystyka rozkładu czasu trwania ruchów sakkadowych (wartości zaokrąglone)

Lp.	Treść znaku	Czas [ms]	UWAGI	Parametr
1	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	354600	Wzrost czasu ruchów do poziomu 330 ms, utrzymujący się przez pewien okres	330
2	ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	194300	Wzrost czasu ruchów do poziomu 270 ms, utrzymujący się przez pewien okres	270
3	UWAGA POCIĄG bez pulsowania	144800	Wzrost czasu ruchów do poziomu 270 ms, utrzymujący się przez pewien okres	270
4	AWARIA	33200	Nieznaczny wzrost do poziomu 100 ms	100

5	PRZEJAZD WOLNY	134000	Wzrost czasu ruchów do poziomu 280 ms, utrzymujący się przez pewien okres	280
6	ZWOLNIJ	92100	Wzrost czasu ruchów do poziomu 100 ms, utrzymujący się przez pewien okres	100
7	UWAGA PRZESZKODA	28700	Wzrost czasu ruchów do poziomu 100 ms, utrzymujący się przez pewien okres	100
8	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	113400	Wzrost czasu ruchów do poziomu 370 ms, utrzymujący się przez pewien okres	370
9	STOP!	24400	Wzrost czasu ruchów do poziomu 220 ms, utrzymujący się przez pewien okres	220
10	ZATOR	30900	Opóźniony wzrost czasu ruchów do poziomu 140 ms, utrzymujący się przez pewien okres	140
11	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	160300	Ucięta charakterystyka	0
12	UWAGA PRZESZKODA	42000	Wzrost czasu ruchów do poziomu 230 ms, utrzymujący się przez pewien okres	230
13	AWARIA	166500	Wzrost czasu ruchów do poziomu 160 ms, utrzymujący się przez pewien okres	160
14	UWAGA POCIĄG	34600	Wzrost czasu ruchów do poziomu 140 ms, utrzymujący się przez pewien okres	140
15	Niebezpieczeństwo!	55100	Wzrost czasu ruchów do poziomu 80 ms, utrzymujący się przez pewien okres	80
16	50 SEK	110600	Wzrost czasu ruchów do poziomu 150 ms, utrzymujący się przez pewien okres	150
17	B20 BEZ PULSACJI	247900	Wzrost czasu ruchów do poziomu 200 ms, utrzymujący się przez pewien okres	200
18	Niebezpieczeństwo!	45800	Wzrost czasu ruchów do poziomu 240 ms, utrzymujący się przez pewien okres	240
19	POCIĄG!	56800	Wzrost czasu ruchów do poziomu 100 ms, utrzymujący się przez pewien okres	100
20	ZWOLNIJ!	59000	Wzrost czasu ruchów do poziomu 250 ms, utrzymujący się przez pewien okres	250
21	B20 BEZ PULSACJI	61700	Wzrost czasu ruchów do poziomu 170 ms, utrzymujący się przez pewien okres	170
22	20 SEK	50500	Wzrost czasu ruchów do poziomu 150 ms, utrzymujący się przez pewien okres	150
23	PRZEJAZD WOLNY	49700	Wzrost czasu ruchów do poziomu 150 ms, utrzymujący się przez pewien okres	150

Na rys. 79 przedstawiono rozkład czasu fiksacji dla poszczególnych treści wyświetlanych na znaku zmiennej treści.



Rys. 79. Rozkład czasów ruchów sakkadowych dla poszczególnych treści komunikatów

Ponownie należy zwrócić uwagę na fiksowanie wzroku przez kierujących pojazdami na znakach zawierających w treści napis: UWAGA i związane z tym ruchy sakkadowe o dużym długości. W związku z tymi znakami kierowcy zdecydowanie najdłużej przenoszą wzrok na inne obiekty. Może to świadczyć o tym że kierowca poświęcił więcej uważności temu znakowi przed powrotem do obserwacji sceny ruchu.

Tabela 22. Charakterystyka rozkładu przestrzennego punktów początkowych sakkad

Lp.	Treść znaku	Czas [ms]	UWAGI
1	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	354600	Rozkład charakteryzujący się dużym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z asymetrią prawostronną, charakterystyczne przeskoki w lewą stronę sceny
2	ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	194300	Rozkład charakteryzujący się przeciętnym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną, charakterystyczne przeskoki w prawą stronę sceny, widoczna lekka klasteryzacja
3	UWAGA POCIĄG bez pulsowania	144800	Rozkład charakteryzujący się przeciętnym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną, widoczna lekka klasteryzacja i rozwarstwienie pionowe na scenie
4	AWARIA	33200	Rozkład charakteryzujący się przeciętnym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną, widoczna klasteryzacja i przeskoki w kierunku lewym dolnym sceny
5	PRZEJAZD WOLNY	134000	Rozkład charakteryzujący się silnym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną, widoczna klasteryzacja

6	ZWOLNIJ	92100	Rozkład charakteryzujący się słabym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną, widoczna klasteryzacja
7	UWAGA PRZESZKODA	28700	Rozkład charakteryzujący się słabym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną, widoczne przeskokki w kierunku górnym sceny
8	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	113400	Rozkład charakteryzujący się stosunkowo słabym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną, widoczne przeskokki w kierunku górnym sceny z widocznym rozwarstwieniem
9	STOP!	24400	Rozkład charakteryzujący się bardzo słabym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną, lekko widoczne klastry
10	ZATOR	30900	Rozkład charakteryzujący się stosunkowo silnym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z bardzo dużą asymetrią prawostronną, widoczne przeskokki w kierunku prawym-górnym sceny
11	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	160300	Rozkład charakteryzujący się przeciętnym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z bardzo dużą asymetrią prawostronną, widoczne przeskokki w kierunku lewym-dolnym sceny
12	UWAGA PRZESZKODA	42000	Rozkład charakteryzujący się przeciętnym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z bardzo dużą asymetrią prawostronną, widoczne przeskokki w kierunku prawym górnym sceny. Wyraźne rozwarstwienie pionowe
13	AWARIA	166500	Rozkład charakteryzujący się silnym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z bardzo dużą asymetrią prawostronną, widoczne przeskokki w kierunku górnym sceny.
14	UWAGA POCIĄG	34600	Rozkład charakteryzujący się silnym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z bardzo dużą asymetrią prawostronną. Wyraźne rozwarstwienie poziome i klasteryzacja
15	Niebezpieczeństwo!	55100	Rozkład charakteryzujący się silnym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z bardzo dużą asymetrią prawostronną. Wyraźne rozwarstwienie poziome i klasteryzacja
16	50 SEK	110600	Rozkład charakteryzujący się słabym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną. Równomierne pokrycie obszarów peryferyjnych
17	B20 BEZ PULSACJI	247900	Rozkład charakteryzujący się słabym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną. Równomierne pokrycie obszarów peryferyjnych
18	Niebezpieczeństwo!	45800	Rozkład charakteryzujący się słabym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną.
19	POCIĄG!	56800	Rozkład charakteryzujący się bardzo słabym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną.

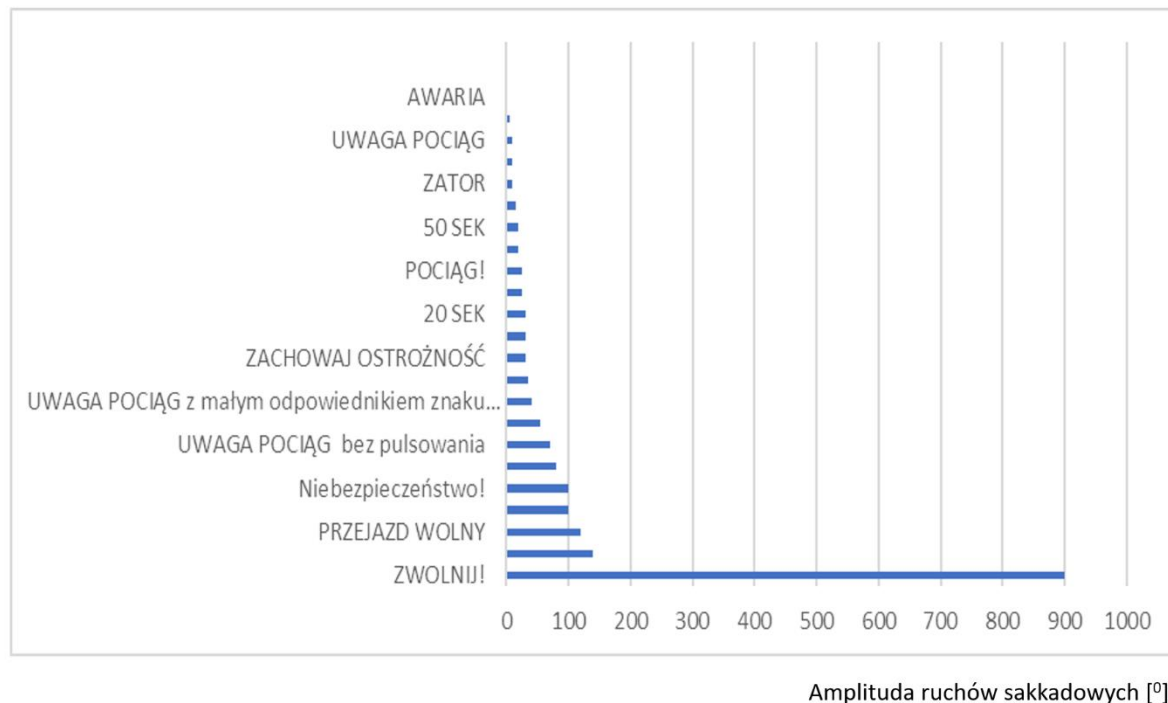
20	ZWOLNIJ!	59000	Rozkład charakteryzujący się słabym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną. Równomierne pokrycie obszarów peryferyjnych
21	B20 BEZ PULSACJI	61700	Rozkład charakteryzujący się bardzo słabym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną i pionową w kierunku dołu sceny ruchu.
22	20 SEK	50500	Rozkład charakteryzujący się słabym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną i słabą klasteryzacją
23	PRZEJAZD WOLNY	49700	Rozkład charakteryzujący się bardzo słabym skupieniem w obszarze centralnym sceny ruchu z dużą asymetrią prawostronną i rozproszeniem danych

Tabela 23. Charakterystyka amplitudy ruchów sakkadowych

Lp.	Treść znaku	Czas [ms]	UWAGI	Parametr
1	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	354600	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	80
2	ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	194300	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	30
3	UWAGA POCIĄG bez pulsowania	144800	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	70
4	AWARIA	33200	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	25
5	PRZEJAZD WOLNY	134000	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	140
6	ZWOLNIJ	92100	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	30
7	UWAGA PRZESZKODA	28700	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	35
8	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	113400	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	40
9	STOP!	24400	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	100
10	ZATOR	30900	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	10
11	UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące	160300	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	10
12	UWAGA PRZESZKODA	42000	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	15
13	AWARIA	166500	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	0
14	UWAGA POCIĄG	34600	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów	10

			sakkadowych	
15	Niebezpieczeństwo!	55100	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	20
16	50 SEK	110600	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	20
17	B20 BEZ PULSACJI	247900	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	55
18	Niebezpieczeństwo!	45800	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	100
19	POCIĄG!	56800	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	25
20	ZWOLNIJ!	59000	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	900
21	B20 BEZ PULSACJI	61700	Obserwowany spadek amplitudy ruchów sakkadowych	5
22	20 SEK	50500	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	30
23	PRZEJAZD WOLNY	49700	Obserwowany wzrost amplitudy ruchów sakkadowych	120

Na rysunku 80 przedstawiono rozkład amplitudy ruchów sakkadowych posortowanych w kolejności rosnącej.



Rys. 80. Rozkład amplitudy ruchów sakkadowych.

W typowych okolicznościach życia codziennego przeciętna osoba wykonuje ruchy sakkadowe w zakresie do 20 stopni. W tym kontekście i w odniesieniu do danych prezentowanych na

rysunku 80 należy zwrócić uwagę na następujące treści: UWAGA POCIĄG, Niebezpieczeństwo!, PRZEJAZD WOLNY, ZWOLNIJ!. Treści te powodowały bezpośrednio po ich identyfikacji ruchy sakkadowe o znacznie większej amplitudzie. Nie jest to jednak miarodajne gdyż może być związane z innymi okolicznościami niż identyfikacja treści znaku i wymaga dalszych pogłębionych badań.

Reasumując w wyniku badań pilotażowych postrzegania komunikatu znaku VMS najwyżej oceniono trzy komunikaty:

- UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące;
- piktogram znaku B20 – STOP;
- znak z odlicznikiem 20 sek.

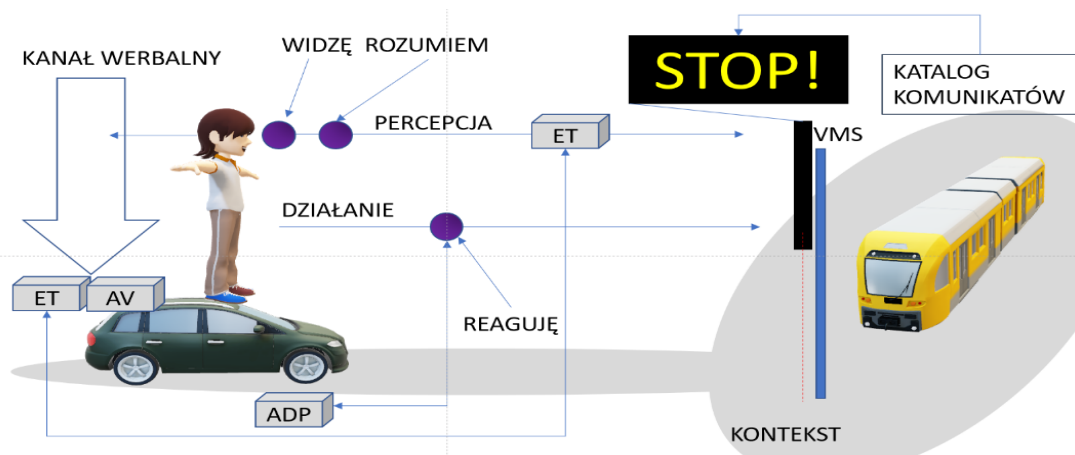
5.6 Badania zasadnicze znaków zmiennej treści – metoda oceny i doboru komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych

Celem badań zasadniczych była weryfikacja koncepcji metody oceny i doboru komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych. Na drodze eksperymentalnej analizowano zasadność doboru komunikatu stosując miary ilościowe. Jako podstawowe kryteria określono:

- czas widzialności znaku, czyli czas liczony od początku próby (początek jazdy w wyznaczonej odległości) do czasu zauważenia znaku VMS. Kryterium to może dawać rekomendacje dotyczące wielkości i lokalizacji znaku VMS oraz warunków otoczenia i warunków atmosferycznych;
- czas rozpoznawalności treści komunikatu mierzony od momentu zauważenia znaku VMS do momentu zrozumienia treści komunikatu. To kryterium czas może być miarą czytelności komunikatu (np. różnica w liczbie znaków liter w komunikacie, czytelność piktogramu itp.);
- czas intuicyjności komunikatu liczony od momentu zrozumienia treści komunikatu do momentu inicjacji reakcji zgodniej z treścią komunikatu. Kryterium to może być miarą doboru treści komunikatu pod kątem intuicyjnej „zrozumiałości”;
- czas skuteczności komunikatu mierzony od momentu inicjacji reakcji zgodniej z treścią komunikatu do czasu zakończenia manewru. To kryterium może pozwalać na ocenę treści komunikatu pod kątem skuteczności egzekucji (wykonalności). Jest on istotny na znaków

„natychmiastowych”, np. STÓJ! Gdzie dobór komunikatu ma zminimalizować czas realizacji. – zgodność reakcji jest miarą intuicyjności zrozumienia komunikatu i poprawności reakcji z zakładanymi oczekiwaniami.

Zaproponowana metoda oceny i doboru komunikatu znaku VMS zakłada synchroniczną rejestrację wielostrumieniową za pośrednictwem systemu Eye-Tracking, gniazda OBD, mikrofonu, czujnika drgań oraz kamery. Taki zestaw danych umożliwia obserwację szerokiego zakresu symptomów zachowań z zachowaniem korelacji sygnałów pomiarowych. Rysunek 81 przedstawia schemat badań zasadniczych prowadzonych w środowisku rzeczywistym. Założono prawidłowość rozpoznania znaku i jego treści na podstawie wskazań wolicjonalnych, tzn. kierowca sam definiuje chwile rozpoznania treści znaku.



Rys. 81. Schemat badań zasadniczych oceny i doboru komunikatu znaku VMS dla przejazdów PKD.

Kolejny rysunek 82 przedstawia interpretację graficzną analizowanych czasów i odległości w procesie badania reakcji i zachowań kierowców. Czas reakcji, poza chwilą na osi czasu, może być określony również względnie. Względnie można określić ten czas jako ekwiwalentny czas (prognozowany) dojazdu kierującego do przejazdu PKD, t_{rw} przy znanej prędkości i odległości pojazdu od lica znaku VMS. Jest to czas pozostający do chwili potencjalnego konfliktu z pojazdem szynowym (czas ten może być dłuższy z uwagi na różnice czasu dojazdu do PKD pojazdu kołowego i szynowego). W celu zastosowań aplikacyjnych, związanych z doбором lokalizacji znaku bardziej praktyczne jest zastosowanie zamiast czasów odległości, co przedstawiono także na rysunku 82.



Rys. 82. Interpretacja graficzna analizowanych czasów (lewa) i odległości (prawa).

Głównym celem badań zasadniczych była ocena percepcji komunikatu znaku zmiennej treści przez analizę czasu reakcji i zachowań kierowców. Celami szczegółowymi badań była możliwość identyfikacji czasu rozpoznawalności komunikatu, czasu reakcji oraz czasu realizacji. Scenariusze badań obejmowały zestaw eksperymentów z wykorzystaniem różnych komunikatów wyświetlanych na znaku VMS, co miało zapewnić eliminację zachowań wynikających z przyzwyczajień i znajomości pionowych znaków drogowych. Ostateczny dobór komunikatów wynikał z badań pilotażowych przedstawionych w rozdziale 5.5. W wyniki tych badań do dalszych testów wybrano trzy najwyżej oceniono komunikaty:

- UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące;
- piktogram znaku B20 – STOP;
- znak z odlicznikiem 20 sek.

Zasadność wyboru komunikatu „20 sek.” budziła pewne wątpliwości na podstawie badań intuicyjności postrzegania znaku VMS na PKD (rozdział 5.3) i badań ankietowych (rozdział 5.4). Ostatecznie jednak zdecydowano się uwzględnić ten komunikat w badaniach zasadniczych zakładając możliwość rozpoznawania zachowań (reakcji) niewłaściwych.

W niniejszym rozdziale przedstawiono sposób pomiaru różnych charakterystyk narządu wzroku oraz reakcji motorycznych kierowców pojazdów kołowych na bodźce zewnętrzne wywołane komunikatami wyświetlanymi na znaku VMS. Wykorzystano w procesie badawczym zaawansowane urządzenia do Eye Trackingu oraz urządzenia diagnostyczne monitorujące parametry pojazdu przy wykorzystaniu protokołu OBD II a także niezależny system wibroakustyczny rejestrujący kanał werbalny a także przyspieszenia drgań bryły nadwozia. Dodatkowo do celów kontrolnych wprowadzono także dodatkowy kanał

informacyjny w formie systemu wizyjnego, który składał się z kamery rejestrujących pole widzenia kierowcy (przedpole pojazdu), kamery rejestrującej widok dźwigni przyśpieszenia i hamulca oraz zewnętrznej kamery rejestrującej przebieg eksperymentu.

Do badań wykorzystano poligon testowy, na którym zamontowano znak zmiennej treści oraz dodatkowe elementy symulujące potencjalne warunki drogowe (samochód zaparkowany na poboczu lub ruch pieszzy). Poligon badawczy przedstawiono na rysunku 83.



Rys. 83. Poligon badawczy badań zasadniczych

Analizę w zakresie oceny doboru komunikatu znaku zmiennej treści przeprowadzono dwuetapowo:

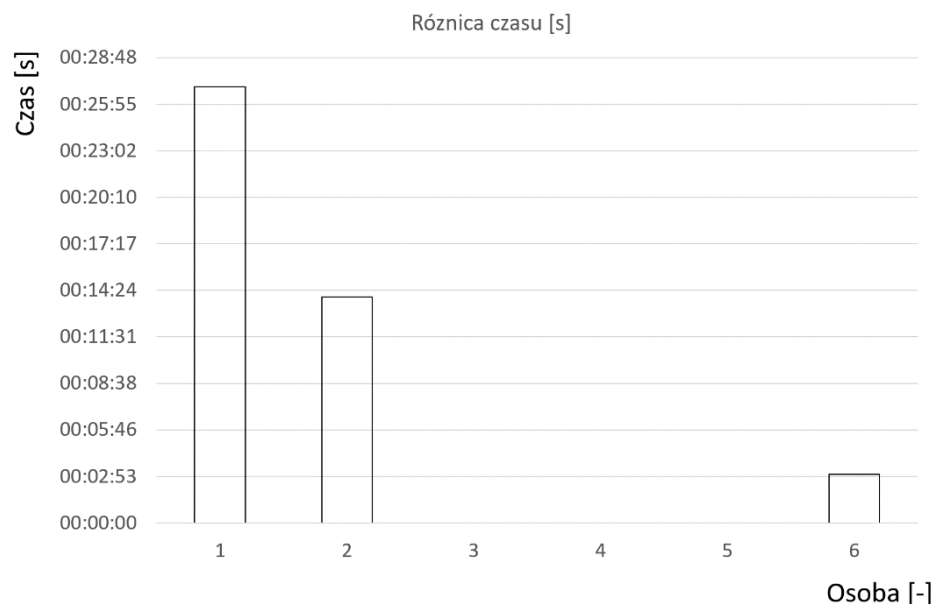
1. Badania Eye-Trackingowe (analogicznie jak w rozdziale 5.5)
 - analiza skupienia uwagi na komunikacie znaku zmiennej treści,
 - analiza punktów (map skupienia wzroku),
 - analiza parametrów ET;
2. Badania reakcji kierowców na komunikat znaku zmiennej treści:
 - analiza parametrów jazdy: prędkość obrotowa silnika, profil prędkości jazdy, profil położenia dźwigni przyśpieszenia;
 - analiza dynamiki jazdy: pomiar profili przyśpieszeń drgań w trzech osiach (wzdłużne, poprzeczne i pionowe).

5.6.1 Zasadnicze badania ET

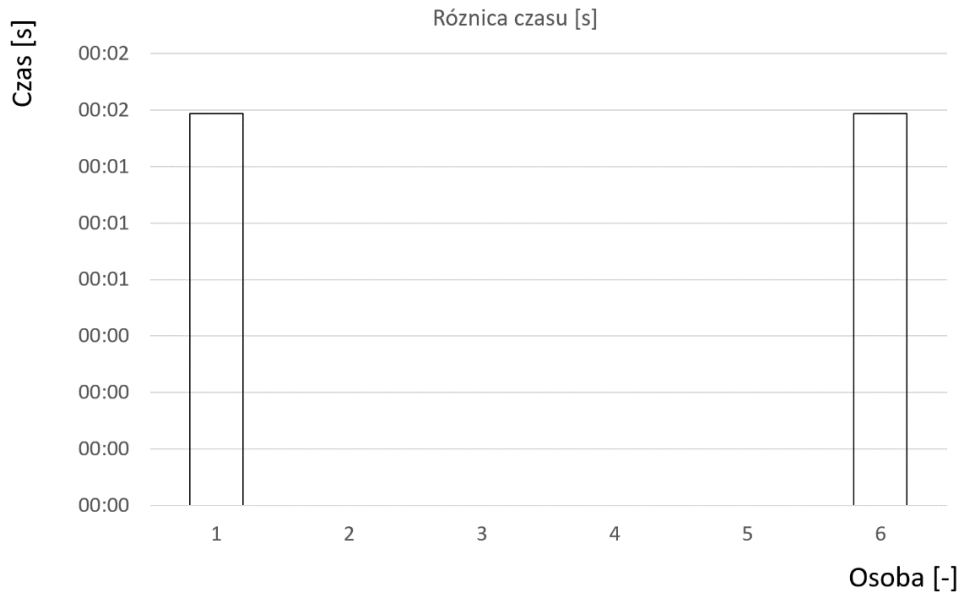
W badaniu analizowano percepcję znaków zmiennej treści, w przedmiocie kolejno komunikatów treści:

- UWAGA POCIĄG z małym odpowiednikiem znaku drogowego B20, pulsujące;
- piktogram znaku B20 – STOP;
- znak z odlicznikiem 20 sek.

Kierowcy pojazdu testowego wykonywali najazdy na przejazd z zainstalowanym znakiem VMS wyposażeni w okulary do ET. Zadaniem kierujących było zwerbalizowanie faktu dostrzeżenia znaku i zrozumienia jego treści. Kierowcy uczestniczący w badaniu nie wiedzieli przed wykonaniem jazdy testowej jaka treść pojawi się na znaku. Na rys. 84 przedstawiono charakterystykę czasu jaki mijał pomiędzy odpowiednimi komunikatami.

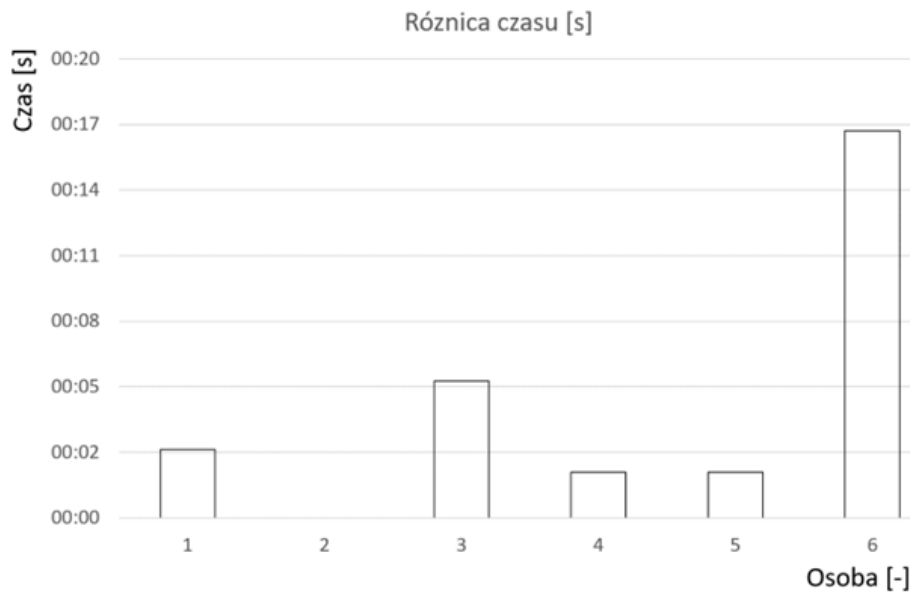


Rys. 84. Różnica czasy pomiędzy komunikatem „Widzę” i „Rozumiem”, komunikat UWAGA POCIĄG
Z analizy rys. 84 wynika, że dla znaku „UWAGA POCIĄG” różnice czasu pomiędzy dostrzeżeniem znaku a jego percepcją są znikome w większości badanej próby kierowców. Tym niemniej w dwóch przypadkach są one o rząd wielkości większe.



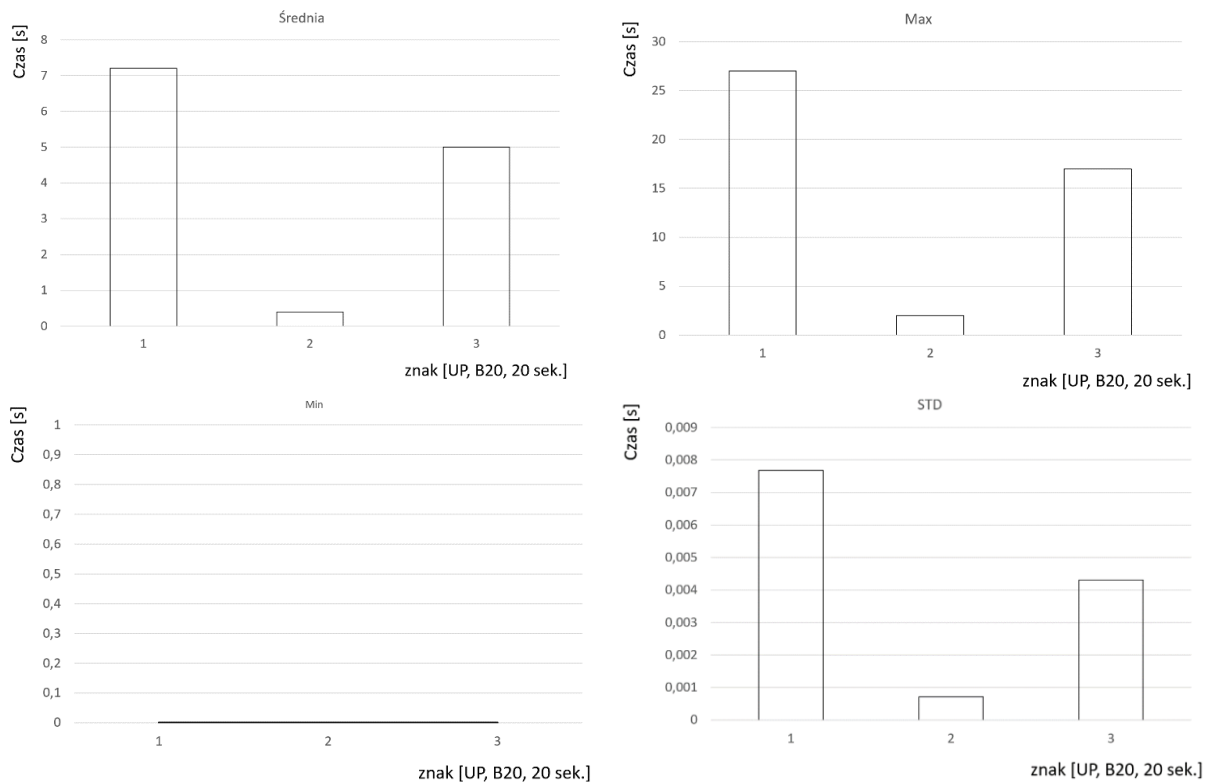
Rys. 85. Różnica czasy pomiędzy komunikatem „Widzę” i „Rozumiem”, znak B20_STOP!

Z analizy rys. 85 wynika, że dla znaku „B20” różnice czasu pomiędzy dostrzeżeniem znaku a jego percepcją są znikome w większości badanej próby kierowców. W odniesieniu do tego znaku w dwóch przypadkach są one o nieznacznie większe.



Rys. 86. Różnica czasy pomiędzy komunikatem „Widzę” i „Rozumiem”, komunikat 20 sek

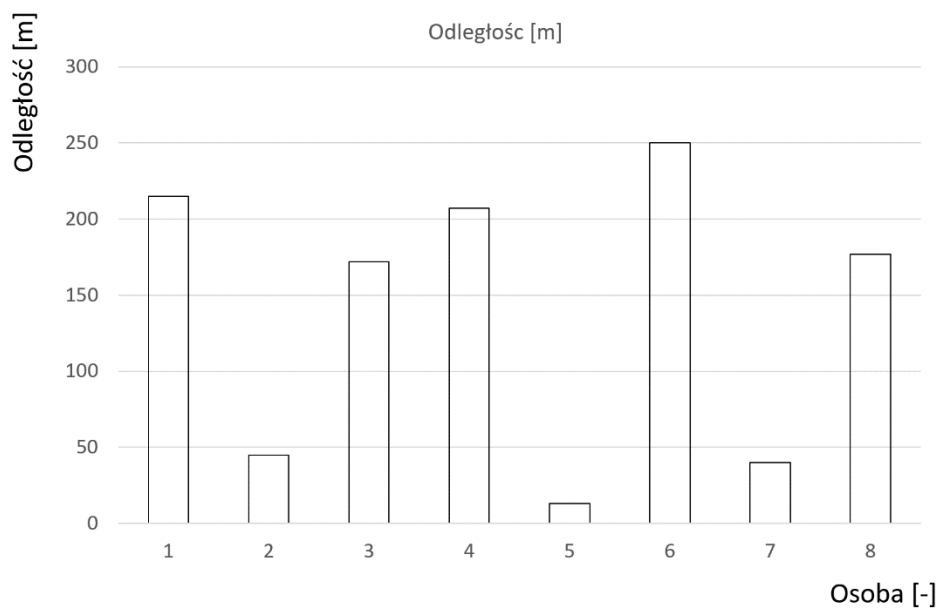
Z analizy rys. 86 wynika, że dla znaku „20 sek” różnice czasu pomiędzy dostrzeżeniem znaku a jego percepcją są najbardziej różnorodne w badanej próbie kierowców. Przy czym dla tego znaku w znaku w jednym przypadku są większe o rząd wielkości. Zatem, znak 20 sek. W stosunku do znaku B20 wydaje się gorszy z punktu widzenia badanej próby niż znak Uwaga pociąg. Wynika to w tym przypadku z opisywanej wcześniej niejednoznaczności tej treści.



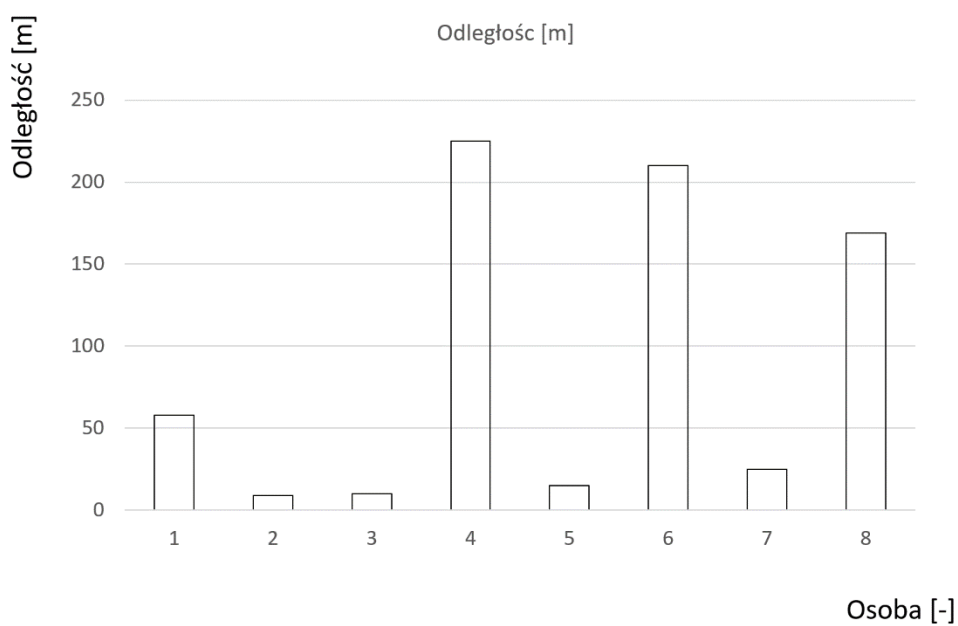
Rys. 87. Charakterystyki liczbowe zbioru danych dla znaków UWAGA POCIĄG, B20 i 20 sek.

Na rys 87 przedstawiono charakterystyki liczbowe podstawowych statystyk obserwowanego zbioru czasów. Z analizy rysunku wynika, że w każdym przypadku znak B20 STOP osiąga wartość minimum w zbiorze danych. Z punktu widzenia badanej próby ta treść jest więc dobrana najlepiej.

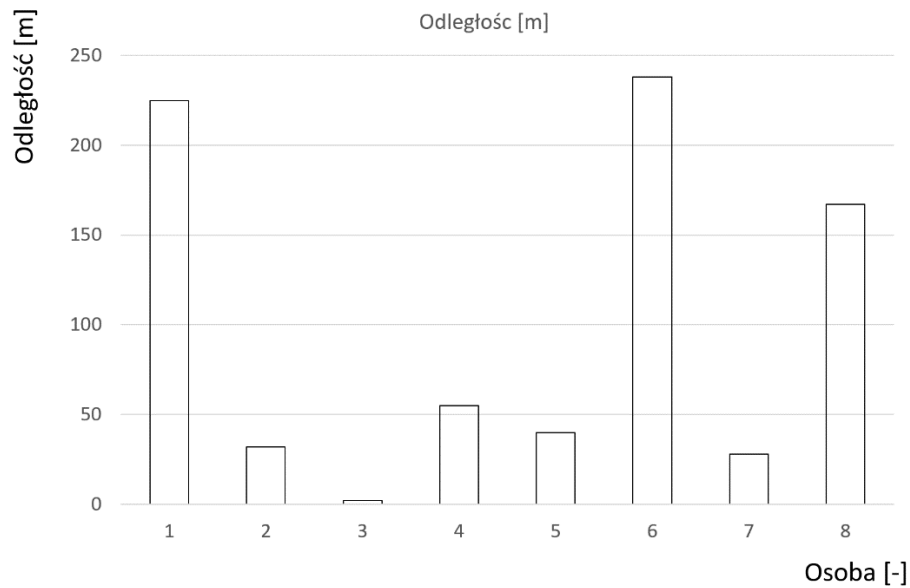
Z uwagi na obserwowaną w badaniu różnicę prędkości poszczególnych najazdów na znak VMS poniżej zaprezentowano charakterystyki w odniesieniu do odległości pomiędzy komunikatami Widzę i Rozumiem. W tym przypadku uwzględniono dodatkowo dwóch kierowców.



Rys. 88. Różnica odległości pomiędzy komunikatami Widzę i Rozumiem, treść UWAGA POCIĄG

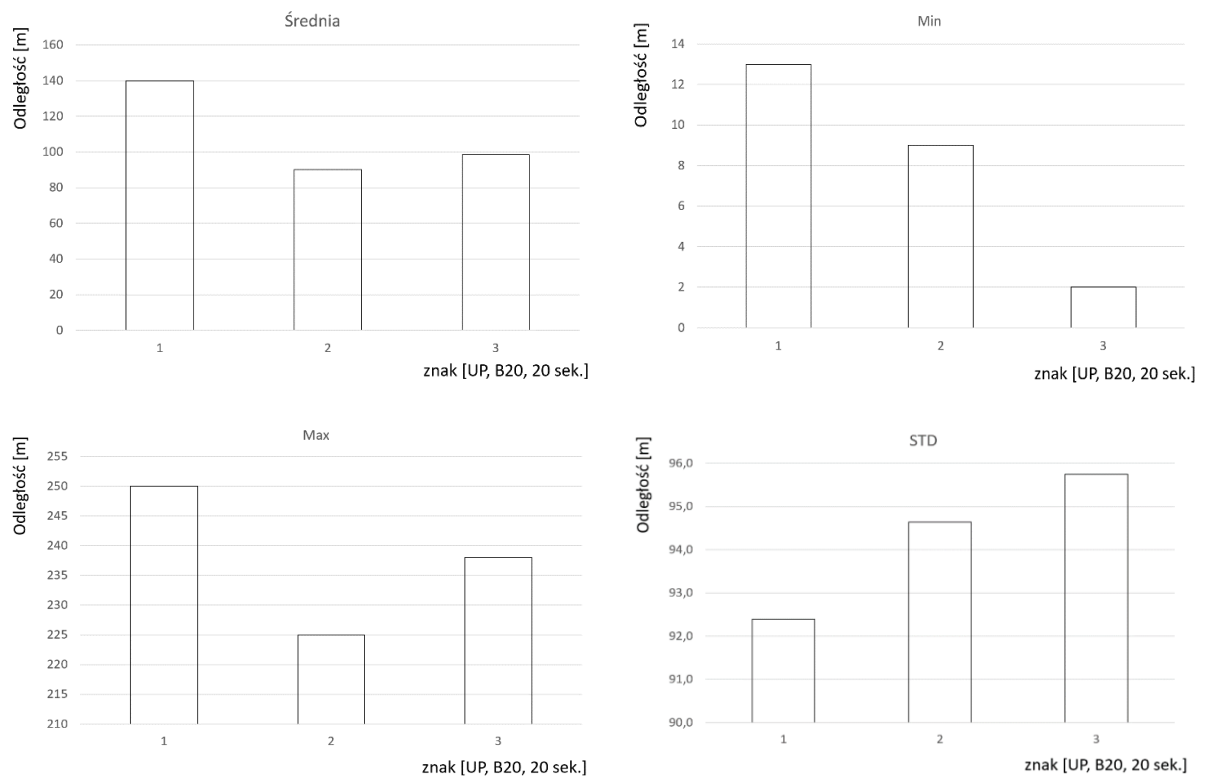


Rys. 89. Różnica odległości pomiędzy komunikatami Widzę i Rozumiem, znak B20



Rys. 90. Różnica odległości pomiędzy komunikatami Widzę i Rozumiem, treść „20 sek.”

Analogicznie na rys 90 przedstawiono charakterystyki liczbowe podstawowych statystyk obserwowanego zbioru odległości . Z analizy rysunku wynika, że znak 20 sek osiąga dobre wartości (pożądane) zbiorze danych. Z punktu widzenia badanej próby ta treść jest więc dobrana najlepiej.



Rys. 91. Charakterystyki liczbowe zbioru danych (odległości) dla znaków UWAGA POCIĄG, B20 i 20 sek.

Badania umożliwiały także śledzenie ścieżki wzroku badanych osób oraz analizę postrzegania komunikatu znaku VMS. Przykładowe wyniki przedstawiono na rys. 92.



Rys. 92. Sposób postrzegania komunikatu w przypadku treści: UWAGA POCIĄG .

Na rys 92 widać cały proces wodzenia wzrokiem związany z percepcją komunikatu UWAGA POCIĄG. Rysunek ten unaocznia, że proces postrzegania komunikatu związany jest z jego wydobywaniem z otoczenia całej sceny ruchu. Sam proces percepcji treści jest osadzony w tym makro procesie.



Rys. 93. Sposób postrzegania komunikatu w przypadku piktogramu znaku B20

Podobnie wygląda sytuacja w przypadku percepcji piktogramu rys. 93 i treści rys.94 znaku B20. Tu bardziej dominujące są ruchy wodzące w pionie, aniżeli w przypadku znaku „Uwaga pociąg”.



Rys. 94. Sposób postrzegania komunikatu w przypadku treści znaku: B20

Jeszcze inne wzorce wodzenia wzrokiem można dostrzec w przypadku percepcji komunikatu „20 sek”.



Rys. 95. Sposób postrzegania komunikatu w przypadku werbalizacji „Widzę”

Na rysunku 95 wydobyto obszary sceny ruchu w czasie wokalizacji „Widzę”. Ten rysunek unaocznia jak różne obszary sceny ruchu ogarnia kierujący w procesie postrzegania znaku.



Rys. 96. Sposób postrzegania komunikatu w przypadku werbalizacji „Widzę” znak UWAGA POCIĄG.

To jest przypadek ilustrujący jak proces postrzegania znaku jest rozpraszany z uwagi na różne elementy sceny. Trudno w tym przypadku (występują tu dwa pola uważności) dopatrzeć się co poza znakiem rozprasza uwagę kierującego pojazdem.



Rys. 97. Sposób postrzegania komunikatu w przypadku werbalizacji „widzę” znak B20

Ten przypadek ilustruje obszary zainteresowania dla znaku B20. Podobnie jak dla znaku UWAGA POCIĄG widać dwa charakterystyczne obszary uważności.



Rys. 98. Sposób postrzegania komunikatu w przypadku werbalizacji „Rozumiem”, znak B20

Tak jak pokazano, powyżej proces postrzegania znaków analizowany pod kątem lokalizacji wokalizacji „Widzę” i „Rozumiem” w czasoprzestrzeni zdarzeń na PKD można analizować statystycznie i graficznie. W tym drugim przypadku wymaga to jednak zastosowania procedur uczenia maszynowego w celu analizy charakterystycznych wzorców uważności, które dla poszczególnych kierujących z próby testowej mogą się istotnie różnić.

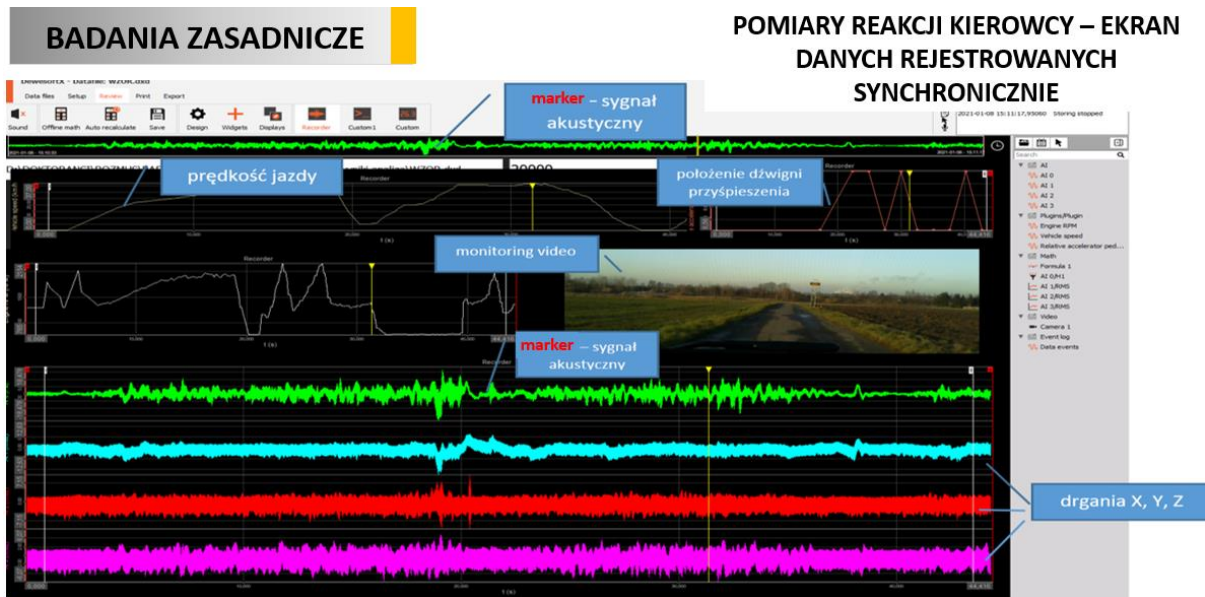
Dlatego na etapie badań zasadniczych zdecydowano się wprowadzić wspomaganie aparatu pomiarowego o sygnały umożliwiające obiektywne analizy percepcji komunikatów.

5.6.2 Badania reakcji kierowców na komunikat znaku zmiennej treści

Wszystkie sygnały rejestrowane podczas badań były rejestrowane synchronicznie za pomocą wielokanałowej karty akwizycji danych oraz urządzenia KRYPTONi-2xCAN-USB firmy DEWESoft (rys. 99). Umożliwiło to ich korelację i analizę w jednej podstawie czasowej. W celu jednoznacznej identyfikacji na osi czasu jako marker (znacznik) czasów reakcji wykorzystano kanał werbalny odpowiednio zakodowany 3 rodzajami komunikatów mierzony jako sygnał akustyczny wewnątrz pojazdu. Pozwoliło to zastosować w badaniach modelu wskazań wolicjonalnych. Przykładowy widok sygnałów rejestrowanych podczas badań razem z aktualnym podglądem video pola widzenia kierowcy przedstawiono na rysunku 100.



Rys. 99. Kompletny system pomiarowy oraz stanowisko znaku VMS



Rys. 100. Ekran danych rejestrowanych podczas badań zasadniczych.

Z uwagi na istotny poziom szumu w rejestrowanych sygnałach akustycznych w celu poprawy skuteczności identyfikacji komunikatów zastosowano filtrację pasmowo-przepustową (2000 – 8000 Hz).

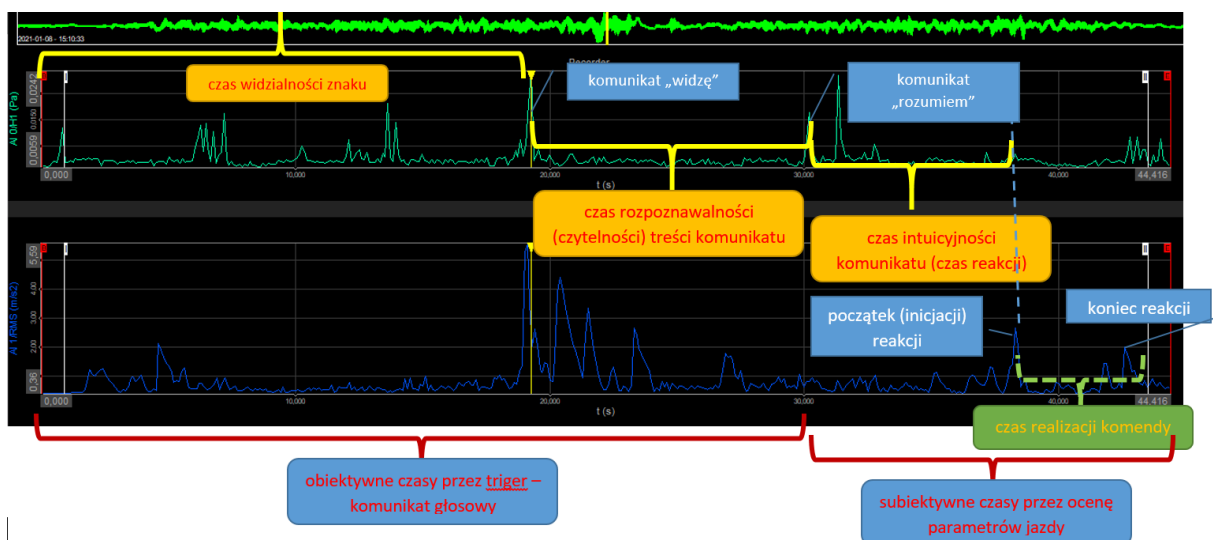
W celu analizy danych w aspekcie identyfikacji kolejnych składowych czasu reakcji kierowcy na komunikat przyjęto następującą procedurę:

- komunikat „widzę” umożliwia określenie **czasu widzialności znaku jako różnica czasu komendy widzę i czasu rozpoczęcia jazdy z określonego dystansu (0 sek)**;
- komunikat „rozumiem” umożliwia określenie **czasu rozpoznawalności (czytelności) treści komunikatu jako różnicy czasu komendy rozumiem i czasu komendy widzę**.

Dodatkowo, w celu oceny intuicyjności i skuteczności komunikatu wprowadzono dodatkowe składowe czasu:

- **czas intuicyjności komunikatu (czas reakcji) szacowany jako różnica czasu początku (inicjacji) reakcji i czasu komendy rozumiem**. Jako reakcję przyjęto oczekiwaną zmianę parametrów jazdy (np. zatrzymanie, zmniejszenie prędkości). Ten czas może być miarą doboru treści komunikatu pod kątem intuicyjnej „zrozumiałości”;
- dodatkowym czasem może być **czas realizacji komendy** (interpretowany jako czas skuteczności komunikatu), wyznaczany jako różnica **czasu zakończenia manewru i czasu początku (inicjacji) reakcji**. Ten czas może pozwalać na ocenę treści komunikatu pod kątem skuteczności egzekucji (wykonalności). Jest to istotny parametr dla znaków „natychmiastowych”, np. „STÓJ!”, gdzie dobór komunikatu ma zminimalizować czas realizacji. Z uwagi na fakt, że ten czas jest silnie zależy od naturalnego czasu reakcji kierowcy, stylu jazdy i parametrów funkcjonalno-konstrukcyjnych zespołów pojazdu zrezygnowano z szacowania tego czasu w ramach realizacji dysertacji doktorskiej.

Wizualizację i graficzną interpretację tych komponentów czasu reakcji dla przykładowych danych pomiarowych przedstawiono na rysunku 101.



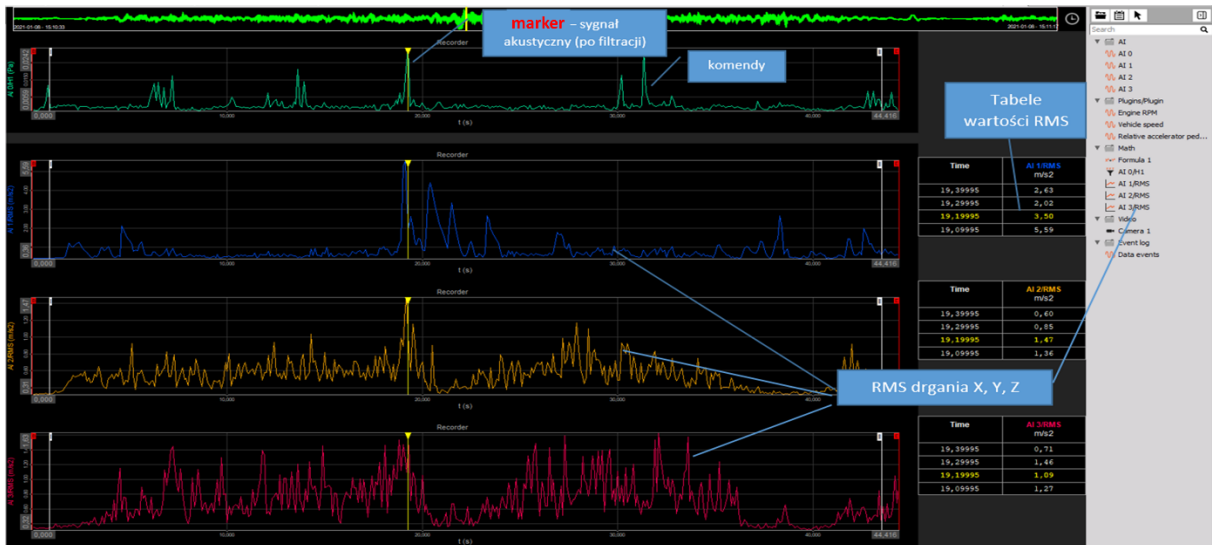
Rys. 101. Wizualizacja i graficzna interpretacja komponentów czasu reakcji

Na rysunku 101 pierwszy wykres od góry (jasno-zielony kolor) to przebieg zmian ciśnienia akustycznego mikrofonu rejestrującego komunikaty stanowiące źródło wskazań wolicjonalnych kierowcy. Drugi wykres (zielony) to sygnał akustyczny poddany filtracji pasmowo-przepustowej w celu jednoznacznej identyfikacji czasów występowania komunikatów (widzę i rozumiem). Dzięki temu wyznaczenie chwil czasowych występowania kolejnych wskazań wolicjonalnych jest znacznie łatwiejsze i widoczne jako silne lokalne ekstrema wartości ciśnienia akustycznego. Trzeci wykres (niebieski) to przykładowy sygnał przyspieszeń drgań wzdluznych, który poddano wstepnemu przekształceniu wyliczając wartości skuteczne (RMS) w kolejno jednosekundowych oknach. Pozwala to na obiektywna analizę zmian parametrów jazdy, jako dynamiczne zmiany prędkości, co wpływa na przyspieszenia wzdluzne pojazdu. Wszystkie sygnały rejestrowano synchronicznie, więc identyfikując, z dużą dokładnością kolejne chwile czasowe wskazań wolicjonalnych, można wyliczać kolejne komponenty czasu reakcji, które zaznaczone zostały pomarańczowymi wskaźnikami. Dodatkowo na dole rysunku 101 zaznaczono obszary analizy obiektywnej, za pomocą wskazań wolicjonalnych (komunikat głosowy) oraz analizy subiektywnej związanej z intuicyjnością i skutecznością komunikatu. W tym zakresie analiza w celu wyznaczenia chwil czasowych wymaga analizy parametrów jazdy, co umożliwia obserwacja zmian przebiegów wartości RMS przyspieszeń drgań pojazdu.

Jednym z kluczowych elementów metody oceny i doboru komunikatu znaku VMS było opracowanie algorytmu identyfikacji chwil czasowych komend deklarowanych przez kierowców podczas eksperymentów (widzę i rozumiem). Stanowi to bowiem podstawę metody badań w oparciu o wskazania wolicjonalne. W tym celu jako marker (znacznik czasów reakcji) wykorzystano kanał werbalny rejestrowany jako sygnał akustyczny wewnątrz pojazdu. Dodatkowo dla poprawy czytelności sygnałowej kanału werbalnego zastosowano filtrację pasmowo-przepustową (2000 – 8000 Hz), która silnie wyeksponowała wezwania jako lokalne ekstrema funkcji. Dodatkowo w celu weryfikacji poprawności tej metody oraz monitorowania badania zastosowano rejestrację video (sceny ruchu oraz podgląd na dźwignię hamulca i przyspieszenia).

Dodatkowej analizie wymagały także sygnały przyspieszeń drgań, które służyły do określania czasu intuicyjności komunikatu oraz potencjalnie czasu skuteczności komunikatu. Dzięki zastosowaniu algorytmu wyznaczania wartości skutecznej dla kolejnych 1-sekundowych okien sygnału (częstotliwość próbkowania wynosiła 20000 Hz) istnieje możliwość analizy

parametrów jazdy z dużą precyzją, co umożliwi identyfikację czasu inicjacji reakcji (rozpoczęcie działania) oraz czasu jej zakończenia. Przykładowe wyniki analizy przedstawiono na rysunku 102.

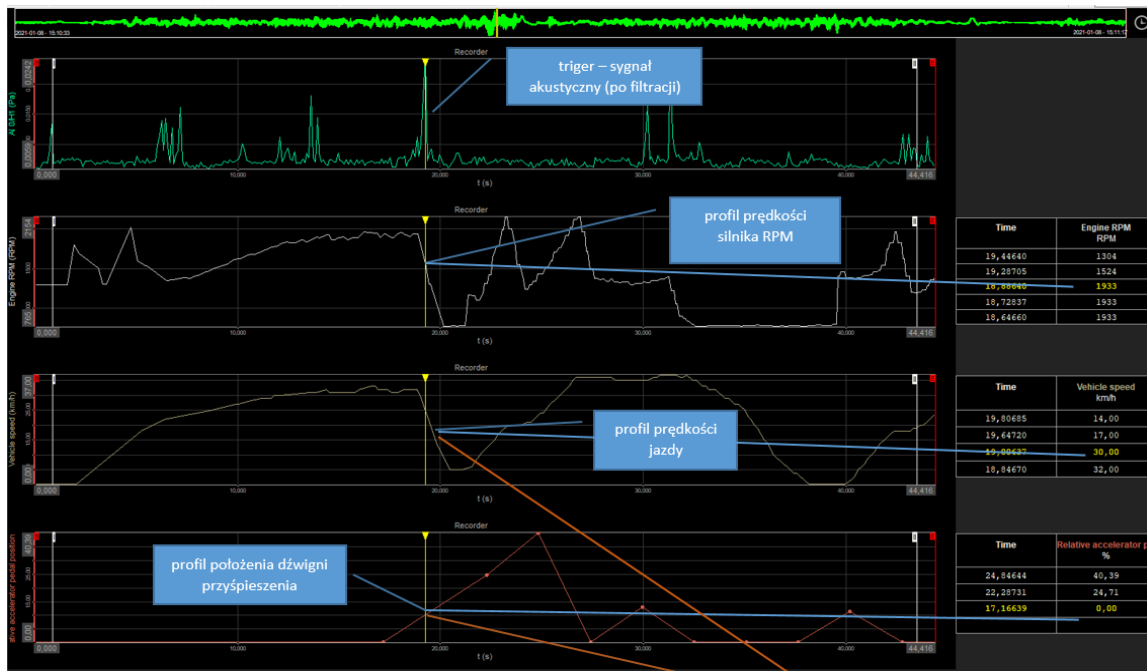


Rys. 102. Wyniki przekształceń matematycznych sygnałów akustycznego i przyspieszeń drgań z zaznaczeniem markerów komend

Na rysunku 102 przedstawiono od góry poddany filtracji sygnał akustyczny w paśmie mowy ludzkiej wykorzystany jako synchroniczny wskaźnik komend. Dodatkowo, poniżej przedstawiono obliczone przebiegi wartości skutecznej przyspieszeń drgań w oknach 1 sekundowych, które umożliwią niezależną analizę dynamiki jazdy w ujęciu oceny zachowania kierowcy. Rejestracja drgań w trzech osiach umożliwi ocenę „manewrowania kierowcy” – np., skrętu.

W celu oceny zachowań kierowcy analizowano także parametry związane z dynamiką jazdy rejestrowane przez magistralę CAN. Są to zestawy sygnałów pozyskiwanych z różnych czujników zainstalowanych w pojeździe. Z uwagi na zakres oczekiwanych zachowań kierowcy wynikających z komunikatu znaku VMS rejestrowano następujące parametry jazdy: profil prędkości obrotowej silnika (RPM), profil prędkości jazdy, profil położenia dźwigni przyspieszenia. Wszystkie sygnały rejestrowano w postaci przebiegów czasowych. Pozwala to na ocenę takich zachowań jak zmiana prędkości jazdy i dynamika hamowania. Z uwagi na różne częstotliwości próbkowania sygnałów drgań, ciśnienia akustycznego i parametrów z magistrali CAN w analizie zastosowano metodę śledzenia bezpośredniego z wykorzystaniem aktywnych znaczników w programie DEVESoft. Wszystkie analizy prowadzono synchronicznie w odniesieniu do przebiegu przefiltrowanych sygnałów akustycznych, które

jednoznacznie wskazują czasy kolejnych komend. Przykładowe okno analizy z zaznaczonymi markerami czasu wystąpienia komendy przedstawiono na rysunku 103.



Rys. 103, Rejestrowane z magistrali CAN parametry jazdy z zaznaczonymi znacznikami czasu wskazania komendy

W rezultacie tak przeprowadzonej analizy otrzymano wyniki w formie pogrupowanych zestawów wartości przyjętych miar czasów reakcji i percepcji komunikatu dla wybranych treści komunikatu znaku VMS. Kontekstową ocenę dynamiki jazdy jako reakcji na komunikat znaku zmiennej treści prowadzono na podstawie wybranych wartości rejestrowanych sygnałów pomiarowych, takich jak prędkość obrotowa silnika, prędkości jazdy, procentowego wskaźnika położenia dźwigni przyśpieszenia. Dodatkowo wyznaczano okienkowane wartości skuteczne przyśpieszeń drgań pojazdu w trzech ortogonalnych osiach. Jako wartości poddawane ocenie przyjmowano wartości tych parametrów w chwilach czasowych zidentyfikowanych składowych czasu reakcji i percepcji znaku. Zestawienia z wynikami analiz dziesięciu przykładowych kierowców dla badanych trzech komunikatów przedstawiono w tabelach 24, 25, 26.

Tabela 24. Zestawienie składowych czasu reakcji oraz chwilowych parametrów jazdy (komunikat „UWAGA POCIĄG”)

	Kier. Nr 1	Kier. Nr 2	Kier. Nr 3	Kier. Nr 4	Kier. Nr 5	Kier. Nr 6	Kier. Nr 7	Kier. Nr 8	Kier. Nr 9	Kier. Nr 10
Komunikat Widzę (s)	18,50	17,10	25,90	19,00	16,50	18,60	25,60	5,10	2,60	23,70
Drgania oś X (RMS m/s ²)	0,69	0,84	0,59	0,66	3,03	1,16	0,97	0,49	0,76	0,66

Drgania oś Y (RMS m/s ²)	0,96	0,83	0,45	0,59	0,72	0,62	0,87	0,48	0,67	0,63
Drgania oś Z (RMS m/s ²)	1,25	1,52	1,05	1,35	0,66	1,18	1,05	1,05	0,66	0,78
Prędkość obrotowa (obr/min)	784	1470	1101	964	890	1846	1883	1912	1491	1815
Prędkość jazdy (km/h)	59	39	29	26	39	30	31	17	28	30
Położenie dźwigni przyspieszenia (%)	0,00	8,63	0,00	0,00	0,00	11,37	10,59	21,57	19,22	14,90
Komunikat Rozumiem (s)	19,00	22,60	28,70	24,30	25,60	21,20	31,10	28,90	26,00	24,90
Drgania oś X (RMS m/s ²)	0,98	0,98	0,50	0,83	0,80	1,33	0,93	0,56	1,14	0,73
Drgania oś Y (RMS m/s ²)	0,92	0,88	0,46	0,56	0,82	0,65	1,03	0,69	1,02	0,69
Drgania oś Z (RMS m/s ²)	1,32	1,15	0,80	0,66	1,19	0,83	0,81	0,80	1,21	0,84
Prędkość obrotowa (obr/min)	775	1557	822	1335	2266	1373	1877	1132	2376	1800
Prędkość jazdy (km/h)	56	43	29	35	40	21	32	39	40	30
Położenie dźwigni przyspieszenia (%)	0,00	12,94	0,00	3,53	24,31	0,00	12,55	7,84	14,51	14,90
Reakcja (s)	29,80	27,00	34,60	29,20	30,70	30,30	35,70	30,90	27,60	27,90
Drgania oś X (RMS m/s ²)	1,86	0,85	0,73	1,54	0,55	1,27	1,03	0,59	0,82	0,64
Drgania oś Y (RMS m/s ²)	0,47	0,89	0,91	0,84	0,43	0,65	0,73	0,56	0,87	0,53
Drgania oś Z (RMS m/s ²)	0,80	0,89	0,87	1,56	1,21	0,97	0,92	1,49	1,15	0,75
Prędkość obrotowa (obr/min)	1812	824	778	1274	782	1878	779	782	2237	1618
Prędkość jazdy (km/h)	21	28	18	34	29	31	28	34	38	29
Położenie dźwigni przyspieszenia (%)	36,86	0,00	0,00	3,53	0,00	0,00	0,00	0,00	14,51	0,00

Tabela 25. Zestawienie składowych czasu reakcji oraz chwilowych parametrów jazdy (komunikat „STOP” – piktogram B20)

	Kier. Nr 1	Kier. Nr 2	Kier. Nr 3	Kier. Nr 4	Kier. Nr 5	Kier. Nr 6	Kier. Nr 7	Kier. Nr 8	Kier. Nr 9	Kier. Nr 10
Komunikat Widzę (s)	9,30	20,10	24,40	15,00	17,70	10,20	30,10	5,50	20,60	14,40
Drgania oś X (RMS m/s ²)	0,98	0,96	0,71	0,82	1,09	0,47	1,01	0,40	0,82	0,63
Drgania oś Y (RMS m/s ²)	1,40	0,91	0,69	0,83	2,47	0,42	0,54	0,35	0,92	0,89
Drgania oś Z (RMS m/s ²)	1,49	1,00	1,35	0,63	1,10	0,52	0,95	0,33	0,94	1,96
Prędkość obrotowa (obr/min)	3957	1094	1423	1314	2522	1622	1732	1507	1790	2460
Prędkość jazdy (km/h)	67	29	39	37	43	27	29	14	48	65
Położenie dźwigni przyspieszenia (%)	100,00	3,14	16,08	5,14	35,00	0,00	0,00	8,24	26,00	10,00
Komunikat Rozumiem (s)	11,90	26,30	25,70	16,20	18,80	30,20	31,60	23,60	24,80	15,10
Drgania oś X (RMS m/s ²)	1,23	0,92	0,68	0,64	1,05	0,81	0,85	0,57	0,95	0,84
Drgania oś Y (RMS m/s ²)	1,55	0,87	0,78	0,50	1,30	0,93	0,78	0,76	0,95	1,09
Drgania oś Z (RMS m/s ²)	3,21	0,92	1,12	0,54	0,60	0,92	0,84	0,67	1,37	1,49
Prędkość obrotowa (obr/min)	4630	1264	1396	1311	2865	1314	1549	782	1656	2402
Prędkość jazdy (km/h)	77	34	37	33	49	35	25	42	45	65
Położenie dźwigni przyspieszenia (%)	100,00	0,00	16,08	14,00	15,00	12,94	0,00	0,00	0,00	6,67
Reakcja (s)	15,10	34,10	29,20	28,50	27,50	38,20	35,60	28,90	29,10	23,00
Drgania oś X (RMS m/s ²)	2,90	0,71	0,53	0,60	0,94	1,39	1,43	2,25	2,12	0,79
Drgania oś Y (RMS m/s ²)	1,64	0,70	0,52	0,24	0,50	0,34	0,61	0,30	0,61	0,34
Drgania oś Z (RMS m/s ²)	2,80	0,70	0,73	0,26	0,54	0,47	0,66	0,32	0,72	0,35
Prędkość obrotowa (obr/min)	2217	779	782	780	781	784	777	761	779	774
Prędkość jazdy (km/h)	65	8	28	4	7	0	0	0	0	0

Położenie dźwigni przyspieszenia (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
--------------------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tabela 26. Zestawienie składowych czasu reakcji oraz chwilowych parametrów jazdy (komunikat „20 sek.”)

	Kier. Nr 1	Kier. Nr 2	Kier. Nr 3	Kier. Nr 4	Kier. Nr 5	Kier. Nr 6	Kier. Nr 7	Kier. Nr 8	Kier. Nr 9	Kier. Nr 10
Komunikat Widzę (s)	21,90	17,10	25,90	19,00	16,50	18,60	25,60	5,10	2,60	23,70
Drgania oś X (RMS m/s ²)	0,61	0,84	0,59	0,66	3,03	1,16	0,97	0,49	0,76	0,66
Drgania oś Y (RMS m/s ²)	0,56	0,83	0,45	0,59	0,72	0,62	0,87	0,48	0,67	0,63
Drgania oś Z (RMS m/s ²)	0,64	1,52	1,05	1,35	0,66	1,18	1,05	1,05	0,66	0,78
Prędkość obrotowa (obr/min)	1227	1470	1101	964	890	1846	1883	1912	1491	1815
Prędkość jazdy (km/h)	33	39	29	26	39	30	31	17	28	30
Położenie dźwigni przyspieszenia (%)	11,37	8,63	0,00	0,00	0,00	11,37	10,59	21,57	19,22	14,90
Komunikat Rozumiem (s)	27,60	22,60	28,70	24,30	25,60	21,20	31,10	28,90	26,00	24,90
Drgania oś X (RMS m/s ²)	0,78	0,98	0,50	0,83	0,80	1,33	0,93	0,56	1,14	0,73
Drgania oś Y (RMS m/s ²)	0,93	0,88	0,46	0,56	0,82	0,65	1,03	0,69	1,02	0,69
Drgania oś Z (RMS m/s ²)	0,90	1,15	0,80	0,66	1,19	0,83	0,81	0,80	1,21	0,84
Prędkość obrotowa (obr/min)	1388	1557	822	1335	2266	1373	1877	1132	2376	1800
Prędkość jazdy (km/h)	37	43	29	35	40	21	32	39	40	30
Położenie dźwigni przyspieszenia (%)	0,00	12,94	0,00	3,53	24,31	0,00	12,55	7,84	14,51	14,90
Reakcja (s)	0,00	27,00	34,60	29,20	30,70	30,30	35,70	30,90	27,60	27,90
Drgania oś X (RMS m/s ²)	1,86	0,85	0,73	1,54	0,55	1,27	1,03	0,59	0,82	0,64
Drgania oś Y (RMS m/s ²)	0,47	0,89	0,91	0,84	0,43	0,65	0,73	0,56	0,87	0,53

Drgania oś Z (RMS m/s ²)	0,80	0,89	0,87	1,56	1,21	0,97	0,92	1,49	1,15	0,75
Prędkość obrotowa (obr/min)	776	824	778	1274	782	1878	779	782	2237	1618
Prędkość jazdy (km/h)	35	28	18	34	29	31	28	34	38	29
Położenie dźwigni przyspieszenia (%)	0,00	0,00	0,00	3,53	0,00	0,00	0,00	0,00	14,51	0,00

Jak już wspomniano komunikat „20 sek.” Badana z uwagi na założenie analizy porównawczej, ponieważ na podstawie badań intuicyjności komunikatów odlicznika VMS, przedstawionych w rozdziale 5.3, stwierdzono niewłaściwe zachowania kierowców w przypadku stosowania tego typu komunikatów na PKD. Na podstawie skompletowanych baz danych wyznaczono składowe czasu reakcji w odniesieniu do ostatecznie wybranych komunikatów znaku zmiennej treści. Wyznaczono czas widzialności, rozpoznawalności, intuicyjności dla poszczególnych komunikatów. Wyniki końcowe zestawiono w tabeli 27, 28.

Tabela 27. Zestawienie składowych czasu reakcji (komunikat „UWAGA POCIĄG”)

UWAGA POCIĄG	Kier. Nr 1	Kier. Nr 2	Kier. Nr 3	Kier. Nr 4	Kier. Nr 5	Kier. Nr 6	Kier. Nr 7	Kier. Nr 8	Kier. Nr 9	Kier. Nr 10
Czas widzialności (s)	18,50	17,10	25,90	19,00	16,50	18,60	25,60	23,80	23,40	23,70
Czas rozpoznawalności (s)	0,50	5,50	2,80	5,30	9,10	2,60	5,50	5,10	2,60	1,20
Czas intuicyjności (s)	10,80	4,40	5,90	4,90	5,10	9,10	4,60	2,00	1,60	3,00

Tabela 28. Zestawienie składowych czasu reakcji oraz chwilowych parametrów jazdy (komunikat „STOP” – piktogram B20)

STOP	Kier. Nr 1	Kier. Nr 2	Kier. Nr 3	Kier. Nr 4	Kier. Nr 5	Kier. Nr 6	Kier. Nr 7	Kier. Nr 8	Kier. Nr 9	Kier. Nr 10
Czas widzialności (s)	9,30	20,10	24,40	15,00	17,70	20,00	30,10	18,10	20,60	14,40
Czas rozpoznawalności (s)	2,60	6,20	1,30	1,20	1,10	10,20	1,50	5,5	4,20	0,70
Czas intuicyjności (s)	3,20	7,80	3,50	12,30	8,70	8,00	4,00	5,30	4,30	7,90

Dodatkowo wyznaczono wartości średnie składowych czasu reakcji oraz z uwagi na specyfikę zachowań ludzkich, szczególnie w aspekcie szybkości reakcji, przeprowadzono analizę w podziale na 3 grupy wiekowe. Z uwagi na zachowania w ruchu drogowym zdefiniowano następujące grupy wiekowe:

- młodzi kierowcy z niewielkim doświadczeniem, do 26 roku życia;
- doświadczeni kierowcy w średnim wieku, przedział od 27 do 50 lat;
- doświadczeni kierowcy w wieku powyżej 50 roku życia.

W każdej z badanych grup wiekowych udział brały zarówno kobiety jak i mężczyźni. Wyniki przedstawiono w tabelach 29, 30.

Tabela 29. Średnie czasy reakcji w podziale na grupy wiekowe (komunikat „UWAGA POCIĄG”)

Wartości średnie	KOMUNIKAT VMS	Grupa wiekowa		
		0-26	27-50	>50
AVG	UWAGA POCIĄG			
17,26	Czas widzialności (s)	18,05	16,8	18,6
7,97	Czas rozpoznawalności (s)	5,4	9,47	12,6
5,14	Czas intuicyjności (s)	4,65	4,71	9,1

Tabela 30. Średnie czasy reakcji w podziale na grupy wiekowe (komunikat „STOP” – piktogram B20)

Wartości średnie	KOMUNIKAT VMS	Grupa wiekowa		
		0-26	27-50	>50
AVG	STOP			
16,73	Czas widzialności (s)	17,55	17,4	10,2
5,69	Czas rozpoznawalności (s)	3,7	4,21	19,8
6,5	Czas intuicyjności (s)	10,05	5,27	8,2

Na podstawie szczegółowej analizy uzyskanych wyników określono, że w kontekście sceny i sytuacji ruchowej na przejazdach kolejowo-drogowych najbardziej właściwym komunikatem znaku VMS jest „UWAGA POCIĄG”. Wynika to bezpośrednio z przyjętych ilościowych parametrów jazdy oraz składowych czasu reakcji. Co prawda czasy te są zbliżone dla komunikatu STOP, jednak jako kluczowy parametr dla PKD przyjęto czas intuicyjności komunikatu, który w przypadku pierwszego komunikatu był mniejszy, szczególnie wyraźnie dla dominującej wśród kierowców grupy wiekowej 27-50 lat oraz dodatkowo znacząco mniejszy dla grupy najmłodszych kierowców, którzy z uwagi na najmniejsze doświadczenie powinni być dodatkowo wspomagani w sytuacjach niebezpiecznych, np. na PKD.

W wyniki przeprowadzonych badań terenowych należy stwierdzić, że zaproponowana metoda oceny i doboru komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych umożliwia ilościowe porównania skuteczności różnych komunikatów VMS i ma duży potencjał aplikacyjny.

6.

6. Walidacja metody i modelu doboru komunikatu znaku VMS

Dobór właściwych treści komunikatu znaku zmiennej treści (VMS) powinien być walidowany. Powinna być sprawdzana skuteczność tego typu komunikatów w praktyce. Ta skuteczność powinna być obserwowana w formie właściwych zachowań kierujących pojazdami na drodze (pieszych również). Jakkolwiek w badaniach pilotażowym i zasadniczych badano konkretne parametry fizyczne takie jak czasy, odległość reakcji, tak w przypadku walidacji badana jest skuteczność odpowiednich komunikatów

Celem rozprawy doktorskiej było opracowanie metody i modelu oceny i doboru komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych. Dlatego ostatnim etapem realizacji badań była weryfikacja opracowanej metody, jako badanie skuteczności dobranego w efekcie opracowanej metody komunikatu znaku VMS w warunkach PKD.

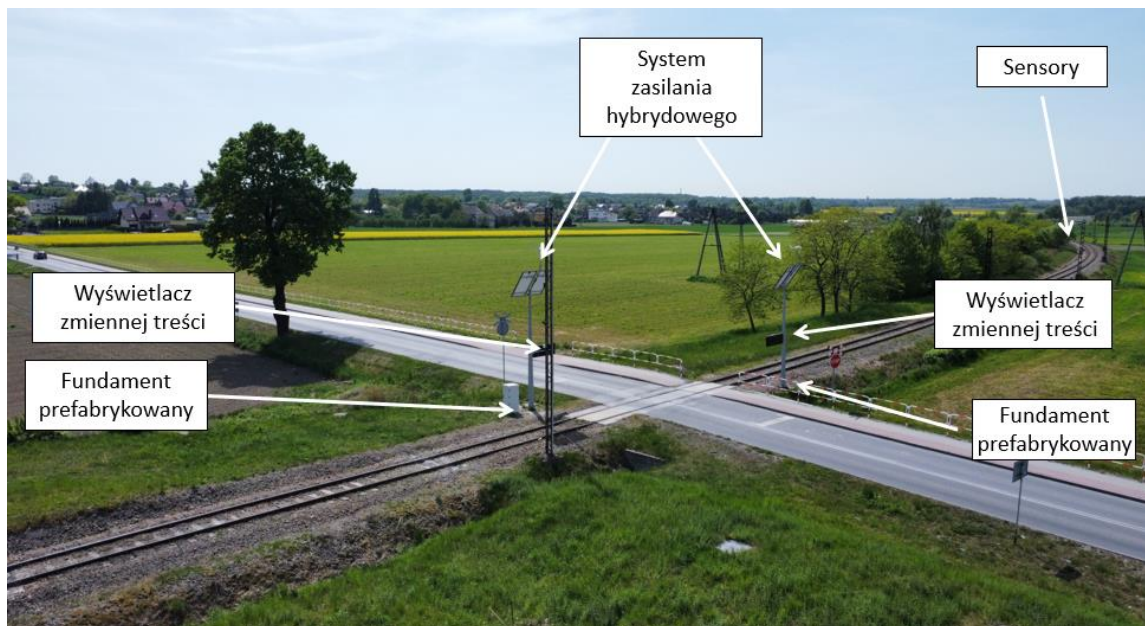
Walidację opracowanej metody i modelu doboru treści komunikatu znaku VMS zrealizowano w warunkach *in situ* dla działania rzeczywistego systemu IPS (Identyfikacji Pojazdu Szynowego) na przejeździe kolejowo-drogowym kategorii D. System IPS podczas badań walidacyjnych opracowanego modelu znajdował się na 8 poziomie gotowości technologicznej TRL. Badania walidacyjne trwają już nieprzerwanie od kwietnia 2021 roku. System IPS służy do ostrzegania i informowania kierowców pojazdów mechanicznych o obecności pojazdu szynowego w bezpośrednim sąsiedztwie PKD. Na rys. 104 pokazano tego typu system na PKD kat. D przy obecności pojazdu szynowego.



Rys. 104. Zdjęcie działającego w warunkach sieci PKP PLK systemu IPS.

W ramach walidacji poprawności doboru treści komunikatów VMS zrealizowano badanie statyczne w zakresie zachowania się kierujących pojazdami na PKD przy wyświetlaniu określonych znaków VMS w systemie IPS.

Na rysunku 104 widać, że w trakcie najazdu pojazdu szynowego na PKD i do przejazdu po nim na znaku VMS wyświetlany jest stosowny komunikat o treści: UWAGA POCIĄG wraz z pulsacyjnie wyświetlanymi polami w kształcie okręgu. Drugi komunikat ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ to z kolei jedna z treści najlepiej i najczęściej akcentowanych w prawie o ruchu drogowym. Cały system wraz z systemem zasilania autonomicznego systemu IPS przedstawiono na rysunku 105.



Rys. 105. Zdjęcie działającego w warunkach sieci PKP PLK systemu IPS, pokazano system wraz z zasilaniem.

Zasadniczo jest to system dwustanowy:

- przy obecności (detekcji) pojazdu szynowego wyświetlany jest komunikat „UWAGA POCIĄG”,
- przy braku pociągu w obszarze detekcji wyświetlany jest komunikat „ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ”.

W doborze komunikatów przyjęto następujące zachowania oczekiwane (intuicyjne):

- przy wykryciu zbliżania się pojazdu szynowego i wyświetlaniu komunikatu „UWAGA POCIĄG”, powinno, co najmniej nastąpić zwolnienie prędkości jazdy, a przy widoczności pojazdu szynowego zatrzymanie samochodu (jest to kwestia interpretacji i podjęcia decyzji przez kierującego pojazdem drogowym w stosunku do odległości pojazdu szynowego od PKD).

- przy braku pociągu w obszarze detekcji i wyświetlaniu komunikatu „ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ”, powinna być obserwowalna co najmniej mniejsza prędkość, po dostrzeżeniu treści komunikatu.

Są to dwa komunikaty wysoko ocenione w badaniach Autora, komunikatów VMS dla przejazdów kolejowych. Oznacza to, że w warunkach sieci rzeczywistej też powinny się one sprawdzić jako zasadny wybór dla wyświetlanych treści dla takiego systemu jak IPS. To znaczy komunikaty powinny odpowiednio modyfikować zachowania kierujących pojazdami i pieszych na PKD. Komunikat „ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ” powinien skutkować zmniejszeniem prędkości przed i na PKD. Komunikat „UWAGA POCIĄG” powinien powodować zatrzymanie się pojazdu lub jego zwolnienie (w tym przypadku na PKD brak zapór kat. D). Zwolnienie wynika z ew. dużej odległości pociągu lub braku jego w polu widzenia kierującego pojazdem drogowym.

Do celów badawczych zastosowano ciągłą rejestrację video, za pomocą systemu telewizji przejazdowej, który specjalnie zamontowano na przejeździe kolejowo-drogowym z zamontowanym systemem IPS. W ramach analiz oceniano, z odtworzenia zachowania kierowców według przyjętych kategorii reakcji (zwolnił, zatrzymał się, stał lub większa prędkość) w zależności od aktualnie wyświetlanego komunikatu na znaku VMS.

Przykładowe wyniki walidacji metody i modelu doboru treści komunikatu znaku VMS na PKD przedstawiono w tabelach 31,32,33. W celu prezentacji wybrano wyniki walidacji dla przykładowych godzinnych obserwacji zachowań kierowców.

Tabela 31. Komunikat ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ, w godzinie ruchu szczytowego 13.35-15.35

Godzina	Zwolniły	Zatrzymały się	Stała lub zwiększająca się prędkość
13:35-13:45	29	37	2
13:45-14:00	47	31	7
14:00-14:15	54	69	3
14:15-14:30	49	108	3
14:30-14:45	51	79	2
14:45-15:00	47	68	1
15:00-15:15	28	59	2
15:15-15:35	38	75	3

W pierwszej kolumnie wskazano interwał pomiarowy, w drugiej liczbę kierujących którzy zwolnili z uwagi na wyświetlany komunikat ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ. W trzeciej kolumnie zapisano liczbę osób które się zatrzymały (na marginesie należy zauważyć fakt, że wymaga tego znak B20), a w czwartej liczbę osób które poruszały się ze stałą lub ze zwiększającą się prędkością (oba zachowania stanowią zdaniem Autora zachowania nie właściwe – sprzeczne z intuicją).

Warto podkreślić, że badanie skuteczności doboru treści na VMS zrealizowano z wykorzystaniem odmiennych informacji niż dobór tych komunikatów. W dalszych pracach na tym polu (walidacji metody) można zastosować w tym celu układ logiki rozmytej. Taki układ binarny jaki zastosowano jest pewną orientacją na potencjalną skuteczność metody.

Istotną kwestią jest to, że komunikat zachowaj ostrożność, jakkolwiek jest określony w prawie o ruchu drogowym w formie zapisu:

„Uczestnik ruchu i inna osoba znajdująca się na drodze są obowiązani zachować ostrożność albo gdy ustawa tego wymaga – szczególną ostrożność, unikać wszelkiego działania, które mogłoby spowodować zagrożenie bezpieczeństwa lub porządku ruchu drogowego, ruch ten utrudnić albo w związku z ruchem zakłócić spokój lub porządek publiczny oraz narazić kogokolwiek na szkodę”. Przez działanie rozumie się również zaniechanie” (art. 3 ust. 1 Ustawy Prawo o ruchu drogowym). To w przypadku systemu IPS taki komunikat jest pewną nowością na drodze w rzeczywistej sieci drogowej i nie do końca pewne było jak będą na ten komunikat reagować kierowcy (nie znana skuteczność nowej informacji w sieci drogowej). Nowej informacji w określonym kontekście. Kodeks drogowy wprowadza również termin „szczególna ostrożność” która polega na zwiększeniu uwagi i dostosowaniu zachowania uczestnika ruchu do warunków i sytuacji zmieniających się na drodze, w stopniu umożliwiającym odpowiednio szybkie reagowanie.

System IPS w opisywanym przypadku jest systemem informacyjnym, niezależnie od niego na tym PKD są usytuowane stosowne znaki drogowe w tym B-20 i krzyż św. Andrzeja. (art. 2 ust. 22 Ustawy Prawo o ruchu drogowym). Zasadniczo, zbliżanie się do i przejeżdżanie przez przejazd kolejowy wymusza na kierującym konieczność dostosowania jego działań do typu przejazdu, warunków drogowych i obecności pojazdów szynowych na szlaku, do zachowania innych pojazdów drogowych i pieszych uczestników ruchu drogowego.

W tabeli 31 analizowane w kolejnych kolumnach kategorie zachowań są rozłączne. Tzn. pojazd, który zwolnił ale się nie zatrzymał nie jest klasyfikowany w danych nt. zatrzymania. Abstrahując od konieczności zatrzymania wynikającej ze znaku B20, potraktowano, że

niewłaściwym zachowaniem w stosunku do treści komunikatu jest utrzymanie stałej prędkości lub przyspieszenie. W takim przypadku uzyskano skuteczność komunikatu na poziomie określonym w tabeli 32.

Tabela 32. Komunikat ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ, skuteczność treści (abstrahując od znaku B20)

Godzina	Skuteczność [%]
13:35-13:45	97,06
13:45-14:00	91,76
14:00-14:15	97,62
14:15-14:30	98,13
14:30-14:45	98,48
14:45-15:00	99,14
15:00-15:15	97,75
15:15-15:35	97,41

Fakt, że pojazdy zwalniają przed PKD przy obecności komunikatu UWAG POCIAG , zamiast się zatrzymać – wynika z powszechnie stosowanej strategii pokonywania PKD w polskiej sieci kolejowej (jeśli pociąg jest daleko obserwowane są próby przekroczenia PKD). Oceniając skuteczność treści komunikatu przy uwzględnieniu tych zachowań jako niedostosowanie się do treści komunikatu (a nie znaku B20, co ma przecież miejsce), wyniki wyglądają tak jak pokazano to w tabeli 33.

Tabela 33. Komunikat ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ, skuteczność treści (znak B20)

Godzina	Skuteczność [%]
13:35-13:45	54,41
13:45-14:00	36,47
14:00-14:15	54,76
14:15-14:30	67,50
14:30-14:45	59,85
14:45-15:00	58,62
15:00-15:15	66,29
15:15-15:35	64,66

Niższa skuteczność wynika ze specyfiki traktowania pewnych sytuacji w ruchu jako bezpieczne. Zdaniem autora ocena skuteczności powinna być zgodna z tablicą pierwszą (pojazdy zwalniają ale się nie zatrzymują) , albowiem znak B20 i jego uwarunkowania są poza

funkcjonalnością systemu IPS. Zatem średnia skuteczność na poziomie 97% powinna być traktowana jako dostateczna (jako dostateczną przyjęto 95% (5 percentyli zostawiając na przypadki losowe np. atmosferyczne). Uzyskana skuteczność potwierdza wysoką ocenę tego znaku w rankingu przygotowanym z zastosowaniem techniki Eye Trackingu i autodiagnostyki samochodowej (a potwierdzona w nowym kanale behawioralnym, gdzie badano wyłącznie zachowanie kierujących pojazdami kołowymi)..

W przyjętym do analizy interwale czasowym zarejestrowano tylko jeden interwał z obecnością pojazdu szynowego 13.45-14.00. Na wyświetlony komunikat UWAGA POCIĄG w interwale 13:45-14:00 – 4 pojazdy się zatrzymały. Co w chwili wyświetlenia komunikatu dotyczyło 100% zarejestrowanych samochodów. Z tych 4 przypadków wyróżniono dwa rodzaje zachowań:

- bez widocznego pociągu, zatrzymanie i dalsza jazda – 1 pojazd
- z widocznym pociągiem – 3 pojazdy i dalsza jazda po przejechaniu składu.

Struktura tego typu obserwacji wymaga dalszych badań przy rejestracji obecności pociągu.

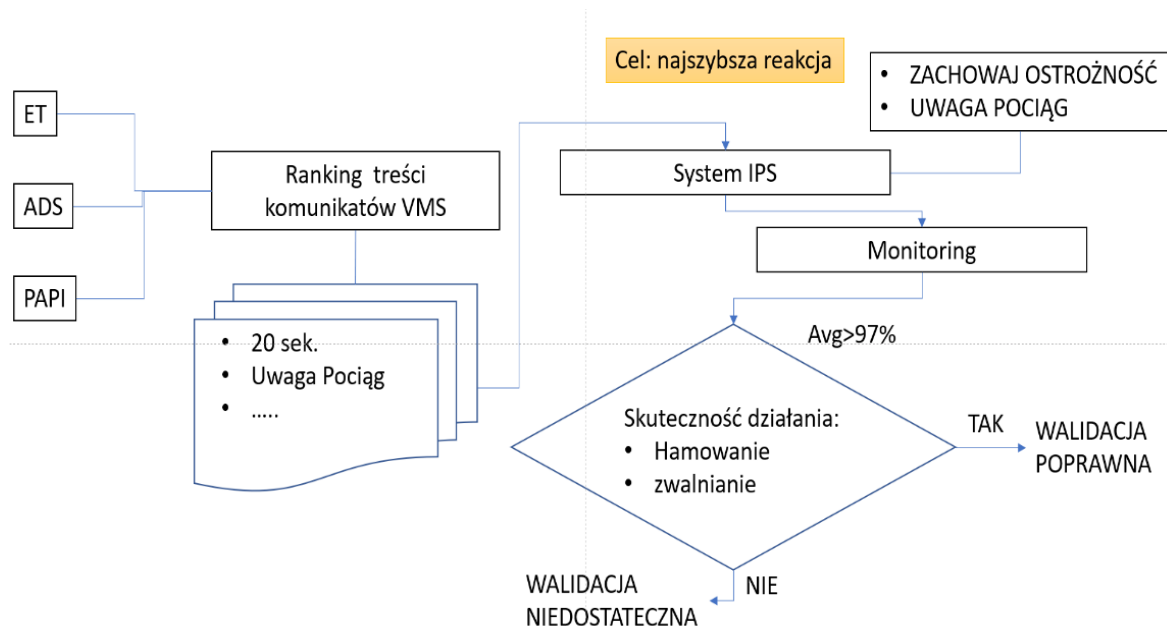
Przeprowadzona walidacja z wykorzystaniem zbioru innego typu danych niż przy doborze komunikatów (kanał behawioralny) potwierdza wysoką ocenę tego znaku w rankingu przygotowanym z zastosowaniem techniki Eye Trackingu i autodiagnostyki samochodowej. Należy przypomnieć, że w badaniach pilotażowych najwyższe oceny rozpoznawalności mierzone odległością percepcji treści komunikatu VMS uzyskały znaki: 20 sek, Uwaga Pociąg, Awaria (w funkcji odległości i charakterystykach skorygowanych odległości). Korekcja tego rankingu z uwagi na długość treści komunikatu nie zmieniła pozycji tych znaków. Na walidowanie znaku „20 sek.” Nie zdecydowano się z uwagi na problemy jakie tego typu komunikaty powodowały w ruchu drogowym na PKD. Ten znak mimo dobrej percepcji w funkcji odległości charakteryzowała się zarazem najmniejszą intuicyjnością w odbiorze. Dodatkowo niewłaściwa interpretacja znaku „20 sek.” mogłaby powodować skojarzenia uczestników ruchu drogowego możliwym czasem do bezpiecznego przejazdu przez PKD odwracając uwagę od obowiązujących znaków pionowych na PKD kategorii D oraz odwrócenie uwagi od sygnalizatorów emitujących światło czerwone na pozostałych kategoriach PKD.

Interpretacja walidacji następuje na drodze oceny skuteczności reakcji i właściwych zachowań kierujących, które powinny wynikać z treści komunikatu. Czyli czy znak, a w zasadzie treść komunikatu powoduje odpowiednie reakcje wśród użytkowników pojazdów w ruchu

drogowym. Takimi zachowaniami jest zwolnienie jazdy (Zachowaj ostrożność) i zatrzymanie się (Uwaga pociąg).

Za należy przytoczyć definicję skuteczności: „działanie skuteczne to takie, które w jakimś stopniu prowadzi do skutku zamierzonego jako cel. Miarą skuteczności jest tylko stopień zbliżenia się do celu. Nie bierzemy tu pod uwagę kosztu. Spośród składników wyniku użytecznego bierzemy pod uwagę tylko skutki przewidywane. Działanie jest minimalnie skuteczne wówczas, gdy przewidywana skuteczność jest na tyle duża, iż warto podjąć działanie (cenna skutku skłania nas do działania). ...” [1]. Na tej zasadzie skuteczność działania danego komunikatu oceniana jest przez pomiar poziomu dostosowania się użytkowników PKD uczestniczących w ruchu drogowym do konkretnego komunikatu. Jako wartość kryterialna przyjęto 95% użytkowników.

Reasumując jako rekomendowaną metodę doboru komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych opracowano algorytm badań pilotażowych i zasadniczych. Poniżej na rys. 106 przedstawiono schemat na jakim oparto procedurę walidacji opracowanej metody.



Rys. 106. Schemat działań w procedurze walidacji

Z systemu pomiarowego (ET, ADS, ankiety) pobierane są dane na temat najdłuższych czasów reakcji i odległości reakcji na treści komunikatów umieszczone w próbie (24 treści). Na drodze zaawansowanych pomiarów tworzony jest ranking znaków od 1 do 24 gdzie uporządkowane one zostają w kolejności treści najszybciej rozpoznawalnych i rozpoznawalnych w odległości

największej od lica znaku VMS. Dodatkowo prowadzone są badania zasadnicze, podczas których rejestruje się parametry ilościowe opisujące kolejne składowe czasu reakcji kierowcy oraz parametry jazdy, jako obiektywnych obserwacji zachowań kierowcy. W końcowym etapie walidacyjnym dwa wybrane komunikaty umieszczane są w systemie IPS, który instalowany jest na PKD w rzeczywistej sieci transportowej. Kontrolowane są reakcje każdego pojazdu zbliżającego się do PKD wyposażonego w tego typu komunikaty. Obliczane są statystyki odpowiednich zachowań w grupie (zwolnienie, zatrzymanie, jazda z prędkością stałą, przyspieszenie). Odpowiednim komunikatom przyporządkowuje się właściwe reakcje. Dla komunikatu: UWAGA POCIĄG nie będzie to przyspieszenie ani jazda ze stałą prędkością. Wszystkie zmierzone pojazdy tworzą statystykę, w której określa się procent pojazdów które dostosowały się do komunikatu. Funkcja celu jest 100 % użytkowników dostosowujących parametry jazdy do treści komunikatu, ale tu ocenia się skuteczność jako realizację celu, która prowadzi do odpowiednich zachowań na PKD wśród jak największego procenta uczestników ruchu drogowego.

7.

7. Wnioski, kierunki dalszych prac

Opracowane metoda i model oceny i doboru komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych mogą zostać wykorzystane do budowy innowacyjnych systemów wspomagania bezpieczeństwa w ruchu drogowym, szczególnie w aspekcie informowania i ostrzegania kierowców. Jako kryterium doboru treści komunikatu może być minimalizacja czasu reakcji użytkowników drogi. Znak i komunikat powinien zostać tak dobrany, aby minimalizować czas reakcji kierującego pojazdem/pieszego na wyświetlane treści oraz aby jego intuicyjność skutkowałą poprawnością zakładanej reakcji (zgodnością).

Rezultat rozprawy doktorskiej stanowi istotny wkład naukowy w zakresie analizowanego problemu na PKD. Celem perspektywicznym opracowania metody oceny i doboru treści komunikatów znaków zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych jest potencjalna poprawa bezpieczeństwa na PKD, w szczególności na przejazdach kategorii D.

W odniesieniu do postawionego w dysertacji celu sformalizowany został model doboru treści komunikatu VMS na PKD. W tym modelu uwzględniono obliczenia czasu reakcji na wyświetlane treści komunikatów i odległości miejsca reakcji od lica znaku.

Przeprowadzone badania umożliwiły miarodajną i ilościową ocenę zachowań kierowców poprzez analizę punktów fiksacji wzroku, ruchów sakkadowych i licznych innych fizycznych charakterystyk narządu wzroku jak również pozwoliły określić charakterystyczne składowe czasu reakcji kierowcy oraz parametry jazdy, takie jak prędkość obrotowa, prędkość jazdy, położenie dźwigni przyspieszenia i przyspieszenia drgań bryły pojazdu, jako obiektywnych obserwacji zachowań kierowcy.

Opracowana metoda umożliwia dobór komunikatu znaku VMS w zależności od kontekstu ruchowego, czego potwierdzeniem jest stwierdzona skuteczność metody dla kontekstu przejazdu kolejowo-drogowego. Niewątpliwą wartością tej metody jest wykorzystanie parametrów ilościowych, które umożliwiają obiektywną ocenę porównawczą dla kilku komunikatów. Dodatkowo synchroniczna rejestracja wielostrumieniowych sygnałów pomiarowych umożliwia precyzyjne obliczanie kolejnych składowych czasu reakcji, jako czasu widzialności, rozpoznawalności i intuicyjności komunikatu. Umożliwia to w przyszłości adaptację modelu i metody w zakresie doboru komunikatów znaków VMS w całej sieci transportowej. Zastosowanie w praktyce ww. metody umożliwi poprawę bezpieczeństwa na

przejazdach kolejowo – drogowych, prawdopodobnie zmniejszając tym samym liczbę wypadków z udziałem pieszych i samochodów.

Otrzymane wyniki potwierdziły zasadność przyjętej tezy. Potwierdzono na drodze eksperymentalnej, analitycznej i podczas badań *in situ*, że istnieje możliwość doboru i oceny komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych na podstawie miar czasu i zgodności reakcji z komunikatem przez kierowców pojazdów drogowych.

Na podstawie analizy wyników sformułowano następujące wnioski główne:

1. Proces postrzegania sceny ruchu drogowego w obszarach przejazdów kolejowo-drogowych jest różny i zależny od kierowcy, jednak występują charakterystyczne wzrosty uważności na drodze dojazdowej na PKD oraz rozmieszczenie znaków drogowych związanych powoduje powstawanie fiksacji i ruchów ssakadowych wynikających z obserwacji tych znaków przez kierującego przed przejazdem.
2. Na przejazdach kolejowo-drogowych obserwowana jest silna zmienność czasu przekraczania i przechodzenia przez jego obszar w zależności od typu pojazdu i pieszego (np. pieszy z wózkami). To wymusza dobór nie tylko odpowiednich treści ale również ich czasu wyświetlania.
3. Przykładowe badania komunikatu w formie odlicznika czasowego wskazały jednoznacznie błędne interpretowanie jego wartości i to w przypadku niemal wszystkich badanych w próbie. Błędna interpretacja polegała na wjeździe na PKD po „odliczeniu do zera”, co interpretowano jako czas „do startu” a nie zgodnie z intencją komunikatu, czyli jako czas zbliżania się pojazdu szynowego do przejazdu.
4. Na podstawie badań ankietowych stwierdzono, że najbardziej jednoznaczne są komunikaty, w których dominują określenia kodeksowe z prawa o ruchu drogowym. Treści kolejowe związane z ruchem na PKD są stosunkowo najmniej jednoznaczne.
5. Na podstawie uzyskanych wyników badań pilotażowych należy stwierdzić, że najlepiej rozpoznawane są komunikaty: „20 sek.”, „UWAGA POCIĄG” z piktogramem B20 z pulsacją i piktogram znaku B20 – „STOP”. Dodatkowo stwierdzono, że w grupie najlepiej rozpoznawanych treści wyświetlanych znaków dominują znaki składające się z maksymalnie do 6-7 znaków.
6. Na podstawie skompletowanych baz danych w efekcie badań zasadniczych wyznaczono składowe czasu reakcji w odniesieniu do ostatecznie wybranych komunikatów znaku zmiennej treści. Wyznaczono czas widzialności, rozpoznawalności, intuicyjności dla poszczególnych komunikatów.

7. Na podstawie szczegółowej analizy uzyskanych wyników określono, że w kontekście sceny i sytuacji ruchowej na przejazdach kolejowo-drogowych najbardziej właściwym komunikatem znaku VMS jest „UWAGA POCIĄG”.
8. W wyniku przeprowadzonych badań terenowych należy stwierdzić, że zaproponowana metoda oceny i doboru komunikatu znaku zmiennej treści na przejazdach kolejowo-drogowych umożliwia ilościowe porównania skuteczności różnych komunikatów VMS i ma duży potencjał aplikacyjny.
9. Walidację opracowanej metody i modelu doboru treści komunikatu znaku VMS zrealizowano w warunkach *in situ* na przejeździe kolejowo-drogowym kategorii D, oceniając komponent behawioralny.
10. Średnia skuteczność komunikatu, na podstawie walidacji, jest na poziomie powyżej 97% co jest wynikiem satysfakcjonującym.

Proces badawczy pozwolił także zaobserwować schematy postrzegania i reakcji kierowcy w obszarze przedpoła przejazdu kolejowo-drogowego kat. D, które pozwoliły ustalić potencjalnie niebezpieczne zachowania kierujących pojazdami samochodowymi. Ponadto zebrane dane mogą posłużyć do poznania rzeczywistego procesu decyzyjnego kierowcy, co w rezultacie pozwoli na stworzenie innowacyjnego systemu informacyjno-ostrzegawczego dla przejazdów kat. D, który przyczyni się do poprawy bezpieczeństwa kierowców.

Doświadczenie zawodowe Autora rozprawy doktorskiej oraz działalność projektowo-wdrożeniowa promotora umożliwiły wdrożenie uzyskanych wyników badań naukowych w formie znaku VMS z wybranymi komunikatami zainstalowanymi w systemie IPS.

Przeprowadzone badania i uzyskane wyniki wskazują także kierunki dalszych badań i duży potencjał aplikacyjny. Autor z promotorem kontynuują działalność badawczą w zakresie bezpieczeństwa w transporcie, czego potwierdzeniem są kolejne wspólne publikacje i realizowane badania o charakterze wdrożeniowym.

8. Bibliografia

1. Hasan Fleyeh, Traffic and Road Sign Recognition, <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:523372/fulltext01.pdf>
2. Fleyeh, Hasan & Dougherty, Mark. (2006). Road and traffic sign detection and recognition.
3. Broggi, Alberto & Cerri, Pietro & Medici, Paolo & Porta, Pier Paolo & Ghisio, Guido. (2007). Real Time Road Signs Recognition. 981 – 986. 10.1109/IVS.2007.4290244.
4. Y. Nguwi and A. Kouzani, “A Study on Automatic Recognition of Road Signs,” in Procs. IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, Bangkok, Thailand, June 2006, pp. 1–6
5. Y. Nguwi and A. Kouzani, “A Study on Automatic Recognition of Road Signs,” in Procs. IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, Bangkok, Thailand, June 2006, pp. 1–6
4. Y. Nguwi and A. Kouzani, “A Study on Automatic Recognition, of Road Signs,” in Procs. IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems, Bangkok, Thailand, June 2006, pp. 1–6.
5. D. Gavrila, “Traffic Sign Recognition Revisited,” in Procs. Of the 21st, DAGM Symposium fr Mustererkennung, Bonn, Germany, 1999, pp.86–93
6. G. Loy and N. Barnes, “Fast Shape-based Road Signs Detection for a Driver Assistance System,” in Procs. IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Sendai, Japan, Sept. 2004, pp. 70–75
7. A. de la Escalera, J. M. Armignol, and M. Mata, “Traffic sign recognition and analysis for intelligent vehicles,” Image and Vision Computing, vol. 21, no. 3, pp. 247–258, Mar. 2003
8. X. Gao, N. Shevtsova, K. Hong, S. Batty, L. Podladchikova, A. Golovan, D. Shaposhnikov, and V. Gusakova, “Vision Models Based Identification of Traffic Signs,” in Procs. Of Europ. Conf. on Color in Graphics Image and Vision, Poitiers, France, Apr. 2002, pp. 47–51
9. W. G. Shadeed, D. I. Abu-Al-Nadi, and M. J. Mismar, “Road traffic sign detection in color images,” in Procs. IEEE 10th Intl. Conf. on Electronics, Circuits and Systems, 2003, vol. 2, Dec. 2003, pp. 890–893

10. A. de la Escalera, L. E. Moreno, E. A. Puente, and M. A. Salichs, "Neural Traffic Sign Recognition for Autonomous Vehicles," in *Procs. IEEE 20th Intl. Conf. on Industrial Electronics, Control and Instrumentation*, vol. 2, Sept. 1994, pp. 841–846
11. A. de la Escalera, L. E. Moreno, M. A. Salichs, and J. M. Armignol, "Road Traffic Sign Detection and Classification," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 44, pp. 848–859, Dec. 1997
12. F. Jeun-Haii and L. Gang, "A Vision-Aided Vehicle Driving System: Establishment of a Sign Finder System," in *Procs. Conf. on Vehicle Navigation and Information Systems*, 1994, Aug.–Sept. 1994, pp. 33–38.
13. Calvi, Alessandro & Blasiis, Maria & Guattari, Claudia. (2012). The Effectiveness of Variable Message Signs Information: A Driving Simulation Study. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 53. 693-702. 10.1016/j.sbspro.2012.09.919.
14. Erke, A., Sagberg, F., & Hågman, R. (2007). Effects of route Guidance Variable Message Signs (VMS) on Driver Behaviour. *Transportation Research Part F*, 10, 447-457.
15. Rama, P., & Kulmala, R. (2000). Effects of Variable Message Signs for Slippery Road Conditions on Driving Speed and Headways. *Transportation Research Part, F* 3, 85-94.
16. Dutta, A., Fisher, D.L., & Noyce, D.A. (2004). Use a Driving Simulator to Evaluate and Optimize Factors Affecting Understandability of Variable Message Signs. *Transportation Research Part F*, 7, 209-227
17. Chatterjee, K., Hounsell, N.B., Firmin, P.E., & Bonsall, P.W. (2002). Driver Response to Variable Message Sign Information in London. *Transportation Research Part. C* 10, 149-169.
18. Shuyan H., & Wei G., (2006). Evaluation of the effects of variable message signs at urban traffic network. *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*, p 2955-2959
19. Richards, A., & McDonald, M., (2007). Questionnaire surveys to evaluate user response to variable message signs in a urban network. *IET Intelligent Transport Systems*, v 1, n 3, p 177-185.
20. Xu T., (2012). Empirical analysis and modelling of drivers' response to variable message signs in Shanghai, China. 91st TRB Annual Meeting. Washington D.C
21. Lai C.J., (2010). Effects of color scheme and message lines of variable message signs on driver performance, *Accident Analysis and Prevention*. V 42, n 4, p 1003-1008

22. Bella, F. (2006). Effects of the driver perception of combined curves on speed and lateral placement. Proc. 85th TRB Annual Meeting, Washington D.C.
23. Peeta, Srinivas & Ramos, Jorge & Pasupathy, Raghubhushan. (2000). Content of Variable Message Signs and On-Line Driver Behavior. Transportation Research Record. 1725. 102-108. 10.3141/1725-14.
24. Bonsall, P. W. Driver Response to VMS Signs: Results of VLADIMIR Surveys. Deliverable 4, WP2, University of Leeds, Leeds, United Kingdom, 1995.
25. Wardman, M., P. W. Bonsall, and J. D. Shires. Driver Responses to Variable Message Signs: A Stated Preference Investigation. Transportation Research C, Vol. 5, No. 6, 1997, pp. 389–405.
26. Brocken, M. G. M. Traffic Control with Variable Message Signs. Proc., Vehicle Navigation and Information Systems Conference, Warundale, Pa., 1991.
27. Polydoropoulou, A., M. Ben-Akiva, A. Khattak, and G. Lauprete. Modeling Revealed and State En-Route Travel Response to Advanced Traveler Information Systems. In Transportation Research Record 1537, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1996, pp. 38–45.
28. Madanat, S. M., C. Y. D. Yang, and Y.-M. Yen. Analysis of Stated Route Diversion Intentions Under Advanced Traveler Information Systems Using Latent Variable Modeling. In Transportation Research Record 1485, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1995, pp. 10–17
29. The Effects of Commercial Electronic Variable Message Signs (CEVMS) on Driver Attention and Distraction: An Update J. Molino, J. Wachtel, J. Farbry, Megan B Hermosillo, T. M. Granda Engineering 2009
30. Effectiveness of Newly Introduced Variable Message Signs in Al-Khobar, Saudi Arabia N. Ratrou, Y. Issa Computer Science 2014
31. Control Oriented Design of Variable Message Signs Vanessa Olsson 2017
32. A data driven approach for automating vehicle activated signs D. Jomaa Engineering 2016
33. Effects of different factors on drivers' guidance compliance behaviors under road condition information shown on VMS Shiquan Zhong, Lizhen Zhou, Shoufeng Ma, Ning Jia Engineering 2012
34. Review of the Effectiveness of Vehicle Activated Signs D. Jomaa, Siril Yella, M. Dougherty Engineering 2013

35. Evaluation of Driver Reactions for Effective Use of Dynamic Message Signs in Richmond, Virginia J. Schroeder, M. Demetsky Engineering 2010
36. Triggering Solar-Powered Vehicle Activated Signs using Self Organising Maps with K-means D. Jomaa, Siril Yella, M. Dougherty Engineering ICIS 2014 2014
37. Legibility of Text and Pictograms in Variable Message Signs: Can Single-Word Messages Outperform Pictograms? J. Roca, B. Insa, P. Tejero Computer Science, Medicine Hum. Factors 2018
38. Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) Based on Machine Learning Techniques for the Detection and Transcription of Variable Message Signs on Roads Gonzalo De-Las-Heras, Javier Sánchez-Soriano, Enrique Puertas Computer Science, Medicine Sensors 2021
39. Accident ahead? Difficulties of drivers with and without reading impairment recognising words and pictograms in variable message signs. J. Roca, P. Tejero, B. Insa Computer Science, Medicine Applied ergonomics 2018
40. A Survey on Cooperative Longitudinal Motion Control of Multiple Connected and Automated Vehicles Ziran Wang, Yougang Bian, S. Shladover, Guoyuan Wu, S. Li, M. Barth Computer Science IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine 2020
41. Augmented Reality-Based Advanced Driver-Assistance System for Connected Vehicles Ziran Wang, Kyungtae Han, Prashant Tiwari Computer Science, Engineering 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) 2020
42. Efficient Utilization of the Existing ITS System and the Viability of a Proactive Traffic Management System for the Orlando-Orange County Expressway Authority System M. Abdel-Aty, E. Radwan, Q. Shi, Ling Wang Computer Science 2014
43. Punde, Pramodini & Jadhav, Mukti & Manza, Ramesh. (2017). A study of Eye Tracking technology and its applications. 86-90. 10.1109/ICISIM.2017.8122153.
44. Reading performance Using Eye Tracking to Assess Reading performance in Patients with Glaucoma: A Within-Person Study, Nicholas D. Smith, Fiona C. Glen, Vera M. Mönter, and David P. Crabb, Hindawi Publishing Corporation Journal of Ophthalmology Volume 2014, Article ID 120528, 10 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2014/120528>
45. Identifying Web Usability Problems from Eye-Tracking Data, Claudia Ehmke, Stephanie Wilson British Computer Society, People and Computers XXI – HCI Proceedings, 2007.

46. Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Current Status and Future Prospects Alex Poole and Linden J. Ball, Psychology Department, Lancaster University, UK
47. Oculomotor ET Biometric Authentication via Oculomotor Plant Characteristics, proceedings of the IARP/IEEE International Conference on Biometrics, March 29 – April 1, 2012 New Delhi, India
48. DOVES: A database of visual eye movements, Van de Linde, I. Rajshekar, U. Bovicj, A.C. Cormack, L.K. (2009). *Spatial Vision*, 22(2): 161-177. URL: <http://live.ece.utexas.edu/research/doves>.
49. Applied Linguistics Papers 25/4, 2018, 101–116 Applied Linguistics Papers: www.alp.uw.edu.pl
- The First Hundred Years: a History of Eye Tracking as a Research Method Monika PŁUŻYCZKA
50. Anliker, J. (1976), Eye Movements: On-line Measurement, Analysis, and Control. In: R.S. Monty/ J.W. Senders (eds.), *Eye Movements and Psychological Processes*. Hillsdale, 185–199.
51. Grobelny, J./ K. Jach/ M. Kuliński/ R. Michalski (2006), Śledzenie wzroku w badaniach jakości użytkowej oprogramowania. Historia i mierniki. (URL https://repin.pjwstk.edu.pl/xmlui/bitstream/handle/186319/166/Kansei%202006_Grobelny.pdf?sequence=1)
52. Rayner, K. (1998), Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research. In: “Psychological Bulletin” 124 (3), 372–422
53. Rayner, K. (1983), *Eye Movements in Reading: Perceptual and Language Processes*. San Diego.
54. Tscherning, M.H.E. (1898), *Optique physiologique*. Paris: Carré and Naud
55. <https://gazeintelligence.com/smi-software-download>
56. <https://www.tobii.com>
57. Salvucci, Dario & Goldberg, Joseph. (2000). Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium. 71-78. 10.1145/355017.355028.
58. Salvucci, D. D., & Anderson, J. R. (1998). Tracing eye movement protocols with cognitive process models. In Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society (pp. 923-928). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Salvucci, D. D. (1999). Mapping eye movements to cognitive processes. Doctoral Dissertation, Department of Computer Science, Carnegie Mellon University.
59. Rayner, K. (1995). Eye movements and cognitive processes in reading, visual search, and scene perception. In J. M. Findlay, R. Walker, & R. W. Kentridge (Eds.), *Eye Movement Research: Mechanisms, Processes, and Applications* (pp. 3-21). New York: Elsevier
60. Land, M. F., & Lee, D. N. (1994). Where we look when we steer. *Nature*, 369, 742-744.
61. Eye-tracking metrics in perception and visual attention research, Magdalena Borys, Małgorzata Plechawska-Wójcik, *European Journal of Medical Technologies* 2017; 3(16): 11-23
62. Shojaeizadeh M, Djamasbi S, Trapp AC. Density of Gaze Points Within a Fixation and Information Processing Behavior. *Int. Conf. Univers. Access Human-Computer Interact.*, 2016, p. 465–71
63. Fitts PM, Jones RE, Milton JL. Eye movements of aircraft pilots during instrument-landing approaches. *Ergon Psychol Mech Model Ergon* 2005;3:56
64. Darrien JH, Herd K, Starling L-J, et al. An analysis of the dependence of saccadic latency on target position and target characteristics in human subjects. *BMC Neurosci* 2001;2:13.
65. Blascheck T, Kurzhals K, Raschke M, et al. State-of-the-art of visualization for Eye Tracking data. *Proc.EuroVis*, vol. 2014, 2014.
66. Naveed, Sidra & Sikander, Bushra & Khiyal, Malik. (2012). Eye Tracking System with Blink Detection. *Journal of Computing*. 4. 50-60. 10.13140/2.1.2152.0007.
67. Ioana Bacivarov, Mircea Ionita, Peter Corcoran, "Statistical models of appearance for Eye Tracking and eye blink detection and measurement " *IEEE transactions on consumer electronics*, Vol.54 ,No.3, pp. 1312-1320 August 2008
68. Kristen Grauman, Margrit Betke, James Gips, Gary R. Bradski "Communication via eye blinks-
69. Detection and duration analysis in real time", proceedings IEEE conf. on computer vision and pattern recognition, Lihue, HI, vol. 1, pp.10102001
70. Aleksandra Krolak, Pawel Strumillo "vision based eye blink monitoring system for human computer interfacing", *Advances in Human system interactions conference*, pp. 994-998, May 25-27,2008.

71. Dario Babić, Helena Dijanić, Lea Jakob, Darko Babić, Eduardo Garcia-Garzon, Driver eye movements in relation to unfamiliar traffic signs: An Eye Tracking study, *Applied Ergonomics*, Volume 89, 2020, 103191, ISSN 0003-6870,
72. Eye-Tracking Evaluation of Exit Advance Guide Signs in Highway Tunnels in Familiar and Unfamiliar Drivers Ting Shang 1, Hao Lu 2,*, Peng Wu 1 and Yi Wei 2 *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18(13), 6820;
73. Hurtado, Stephanie & Chiasson, Sonia. (2016). An Eye-tracking Evaluation of Driver Distraction and Unfamiliar Road Signs. 153-160. 10.1145/3003715.3005407.
74. Young, Kristie & Regan, Michael & Hammer, Mike. (2003). Driver Distraction: A Review of the Literature. *Distracted Driving*.
75. Yanqun, Yang & Chen, Jianying & Easa, Said & Zheng, Xinyi & Lin, Wei & Peng, Yichuan. (2019). Driving Simulator Study of the Comparative Effectiveness of Monolingual and Bilingual Guide Signs on Chinese Highways. *Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour*. 10.1016/j.trf.2019.11.008.
76. AlKheder, S., AlRukaibi, F., & Aiash, A. (2019). Drivers' response to variable message signs (VMS) in Kuwait. *Cognition, Technology & Work*, 1-15.
77. Erke, A., Sagberg, F., & Hagman, R. (2007). Effects of route guidance variable message signs (VMS) on driver behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(6), 447-457
78. Guo, T. & Peng, D. (2006). Event-related potential evidence for parallel activation of two languages in bilingual speech production. *Neuroreport*, 17(17), 1757-60
79. Harms, I. M., Dijksterhuis, C., Jelijs, B., de Waard, D., & Brookhuis, K. A. (2019). Don't shoot the messenger: traffic-irrelevant messages on variable message signs (VMSs) might not interfere with traffic management. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 65, 564-575.
80. Hilchey, M. D., & Klein, R. M. (2011). Are there bilingual advantages on nonlinguistic interference tasks? Implications for the plasticity of executive control processes. *Psychonomic bulletin & review*, 18(4), 625-658
81. Jamson, S. & Mrozek, M. (2016). Is three the magic number? The role of ergonomic principles in cross country comprehension of road traffic signs. *Ergonomics*, 1-30
82. Oviedo-Trespalacios, O., Truelove, V., Watson, B., & Hinton, J. A. (2019). The impact of road advertising signs on driver behaviour and implications for road safety: A critical systematic review. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 122, 85-98

83. Sun, L., Yao, L. , Rong, J. , Lu, J. , Liu, B. , & Wang, S. (2011). Simulation analysis on driving behavior during traffic sign recognition. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 4(3),353-360.
84. Tejero, P., Insa, B., & Roca, J. (2019). Reading Traffic Signs While Driving: Are Linguistic Word Properties Relevant in a Complex, Dynamic Environment? *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 8(2), 202-213
85. Wittmann, M., Kiss, M., Gugg, P., Steffen, A., Fink, M., Pöppel, E., & Kamiya, H. (2006). Effects of display position of a visual in-vehicle task on simulated driving. *Applied Ergonomics*, 37(2), 187-199.
86. Zhang, Y., Harris, E., Rogers, M., Kaber, D. , Hummer, J. & Rasdorf, W. et al. (2013). Driver distraction and performance effects of highway logo sign design. *Applied Ergonomics*, 44(3), 472-479.
87. Research on the experimental road signs perception time and their intelligibility Andrzej Grabowski^{1,*}, Jarosław Jankowski¹ , and Mikołaj Kruszewski²MATEC Web of Conferences 231, 02005 (2018) <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823102005GAMBIT 2018>
88. J. Chan, P. Gonzalez, E.M.M. Perez, Designing Traffic Signs: A Case Study on Driver Reading Patterns and Behavior, in: 16th Philipp. Comput. Sci. Congr. Conf., (PuertoPrincesa, Palawan, Philippines, 2016
89. T. Kamiński, M. Kruszewski, M. Niezgoda, P. Soluch, Application of eyetracking research techniques into road safety studies – theoretical considerations, *J. KONES*. 19 pp. 259–266 (2012)
90. Calvi, Alessandro & Benedetto, Andrea & Blasiis, Maria & Guattari, Claudia. (2009). Calibration of an Eye Tracking system for variable message signs validation. *Driver Behaviour and Training*.
91. Alhajyaseen, Wael & Reinolsmann, Nora & Brijs, Kris & Brijs, Tom. (2018). Variable Message Sign strategies for Congestion Warning on Motorways. 10.5339/qfarc.2018.ICTPD260.
92. Fancello, G.; Serra, P.;Pinna, C. Visual Perception and Understanding of Variable Message Signs: The Influence of the Drivers'Age and Message Layout. *Safety* 2021,7, 60. <https://doi.org/10.3390/safety7030060>

93. Selig, M & Shi, Zm & Ball, Andrew & Schmidt, K. (2012). A modern diagnostic approach for automobile systems condition monitoring. *Journal of Physics: Conference Series*. 364. 10.1088/1742-6596/364/1/012013.
94. S. You, M. Krage, L. Jalics. Overview of Re-remote Diagnosis and Maintenance for Automotive Systems, SAE World Congress, Detroit, 2005
M. Selig, The Development of a New Automotive Diagnostic Approach, Master thesis, University of Huddersfield, 2010
95. Design of an information system for vehicle diagnostic trouble codes Master of Science Thesis in the Master Degree Programme, Computer Systems and Networks Alexander Hentschel Erik Nordlander Department of Computer Science and Engineering Division of Networks and Systems CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Göteborg, Sweden, 2013
96. R. Williams, J. Banner, I. Knowles, M. Dube, M. Natishan, and M. Pecht. An investigation of “cannot duplicate” failures. *Quality and Reliability Engineering International*, 14(5):331–337, September/October 1998.
97. Chris Urmson, Joshua Anhalt, Drew Bagnell, Christopher Baker, Robert Bittner, M. N. Clark, John Dolan, Dave Duggins, Tugrul Galatali, Chris Geyer, Michele Gittleman, Sam Harbaugh, Martial Hebert, Thomas M. Howard, Sascha Kolski, Alonzo Kelly, Maxim Likhachev, Matt McNaughton, Nick Miller, Kevin Peterson, Brian Pilnick, Raj Rajkumar, Paul Rybski, Bryan Salesky, YoungWoo Seo, Sanjiv Singh, Jarrod Snider, Anthony Stentz, William Red Whittaker, Ziv Wolkowicki, Jason Ziglar, Hong Bae, Thomas Brown, Daniel Demitrish, Bakhtiar Litkouhi, Jim Nickolaou, Varsha Sadekar, Wende Zhang, Joshua Struble, Michael Taylor, Michael Darms, and Dave Ferguson. Autonomous driving in urban environments: Boss and the urban challenge. *Journal of Field Robotics*, 25(8):425–466, July 2008.
98. Dawn A. Thomas, Ken Ayers, and Michael Pecht. The “trouble not identified” phenomenon in automotive electronics. *Microelectronics Reliability*, 42(4–5):641–651, April/May 2002
99. Al-Taani, Ahmad. (2005). An Expert System for Car Failure Diagnosis.. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 1. 457-560.
100. Jeff Pepper (1990). An Expert System for Automotive Diagnosis in Ray Kurzweil’s book, *The Age of Intelligent Machines*.

101. Zhuk, Mykola & Kovalyshyn, Volodymyr & Royko, Yurii & Barvinska, Khrystyna. (2017). Research on drivers' reaction time in different conditions. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*. 2. 24-31. 10.15587/1729-4061.2017.98103.
102. Allen, R. Application of driving simulation to road safety [Text] / R. Allen, M. Cook, T. Rosenthal // *Advances in Transportation*. – 2007. – Issue 12. – P. 5–8.
103. Guzek, M. Comparative analyses of driver behaviour on the track and in virtual environment [Text] / M. Guzek, R. Jurecki, Z. Lozia, T. Stanczyk // *Driving Simulation Conference Europe*. – 2006. – P. 221–232.
104. Paweł Drożdziel, Sławomir Tarkowski, Iwona Rybicka*, and Rafał Wrona Drivers' reaction time research in the conditions in the real traffic, *Open Eng.* 2020; 10:35–47
105. Guzek M, Jaśkiewicz M, Jurecki R, Lozia Z, Zdanowicz P. Czas reakcji kierowcy w warunkach awaryjnego hamowania samochodu badania w symulatorze jazdy samochodem. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* nr 4; 2012. 295-301p.
106. Magister T, Krulec R, Batista M, Bogdanović L. The driver reaction time measurement experiences. *Innovative Automotive Technology: IAT'05*; 2005 21st-22nd April.
107. McGehee D.V, Mazzae E.N, Baldwin G.H.S. Driver reaction time in crash avoidance research: validation of a driving simulator study on a test track. *Proceedings of the 14th Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society (IEA 2000), San Diego/USA; 2000*
108. Muttart J.W. Driver response in various environments estimated empirically. *Materiały Konferencji: Problemy rekonstrukcji wypadków drogowych*. Kraków. Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych; 2004
109. Törnros J. Effect of driving speed on reaction time during motorway driving. *Accident Analysis and Prevention* 27(4); 1995.435-442p.
110. Wang B, Abe M, Kano Y. Influence of driver's reaction time and gain on driver vehicle system performance with rear wheel steering control systems: part of a study on vehicle control suitable for the aged driver. *JSAE Review* 23 (1); 2002. 75-82p
111. Estimation of Driver Reaction Time from Car-Following Data Application in Evaluation of General Motor-Type Model Xiaoliang Ma and Ingmar Andréasson, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:11472/FULLTEXT01.pdf>

112. Johansson, G., and K. Rummer. Drivers' Brake Reaction Time. *HumanFactors*, Vol. 13, No. 1, 1971, p. 23.
113. T. Magister, R. Krulec, M. Batista, and L. Bogdanoviæ. The DriverReaction Time Measurement Experiences. *Proceedings of Innovative Automotive Technology (IAT'05) Conference*, Bled, Slovenia, 2005.
114. Fambro, D. B., R. J. Koppa, D. L. Picha, and K. Fitzpatrick. Driver Perception-Brake Response in Stopping Sight Distance Situations. In *Transportation Research Record 1628*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1998, pp. 1–7.
115. Szydłowski, T.; Surmiński, K.; Batory, D. Drivers' Psychomotor Reaction Times Tested with a TestStation Method. *Appl. Sci.* 2021, 11, 2431. <https://doi.org/10.3390/app11052431>
116. Jurecki, R.S.; Stanczyk, T.L. Driver Reaction Time to Lateral Entering Pedestrian in a Simulated Crash Traffic Situation. *Transp.Res. Part F* 2014, 27, 22–36
117. Makishita, H.; Matsunaga, K. Differences of drivers' reaction times according to age and mental workload. *Accid. Anal. Prev.* 2008, 40, 567–575. [CrossRef] [PubMed]
118. Yadav, A.K.; Velaga, N.R. Modelling the relationship between different Blood Alcohol Concentrations and reaction time of young and mature drivers. *Transp. Res. Part F* 2019, 64, 227–245. [CrossRef]
119. Haring, Kerstin & Ragni, Marco & Konieczny, Lars. (2012). A Cognitive Model of Drivers Attention. *Proceedings of the 11th International Conference on Cognitive Modeling, ICCM 2012*.
120. Donges, E. (1987). A two-level model of driver steering behavior. *Human Factors*, 20, 691-707
121. Salvucci, D. D. (2006). Modeling Driver Behavior in a Cognitive Architecture. *Human Factors*, 48, 362-380
122. Wilkie, R. M., & Wann, J. P. (2003). Controlling steering and judging heading: retinal flow, visual direction and extra-retinal information. *Journal of Experimental Psychology*
123. Fajen, B. R., & Warren, W. H. (2003). Behavioral dynamics of steering, obstacle avoidance, and route selection. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 343-362
124. Fu, Rongrong & Wang, Hong. (2014). DETECTION OF DRIVING FATIGUE BY USING NONCONTACT EMG AND ECG SIGNALS MEASUREMENT SYSTEM.

125. I. Hostens and H. Ramon, Assessment of muscle fatigue in low level monotonous task performance during car driving, *J. Electromyograph. Kinesiol.* 15 (2005) 266–274.
126. Awais, Muhammad & Badruddin, Nasreen & Drieberg, Micheal. (2014). Driver drowsiness detection using EEG power spectrum analysis. *IEEE TENSYPMP 2014 – 2014 IEEE Region 10 Symposium.* 244-247. 10.1109/TENCONSpring.2014.6863035.
127. Stancin, I.; Cifrek, M.; Jovic, A. A Review of EEG Signal Features and Their Application in Driver Drowsiness Detection Systems. *Sensors* 2021, 21, 3786. <https://doi.org/10.3390/s21113786>
128. <https://dane.utk.gov.pl/sts/infrastruktura/przejazdy-kolejowe/19293,Przejazdy-kolejowo-drogowe-w-2021-r.html>
129. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 26 lutego 1996 r.
130. ROZPORZĄDZENIE MINISTRA INFRASTRUKTURY I ROZWOJU z dnia 20 października 2015 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać skrzyżowania linii kolejowych oraz bocznic kolejowych z drogami i ich usytuowania; Poz. 1744
131. Burdzik Rafał, Celiński Ireneusz, Rozmus Jacek: An innovative method of research on the perception and selection of the message of the variable message sign, W: *International Scientific Conference TRANSPORT OF THE 21st CENTURY*, Józefów 30.08-2.09.2022 / Siergiejczyk Mirosław, Rosiński Adam (red.), 2022, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, ISBN 978-83-8156-413-7, s. 43-44
132. Burdzik Rafał, Celiński Ireneusz, Rozmus Jacek: Zastosowanie sygnałów wibroakustycznych jako znaczników reakcji operatorów środków transportu, W: *Diagnostyka Maszyn. XLVIII Ogólnopolskie Sympozjum*, Wisła, 27.02-2.03. 2022. Streszczenia / Peruń Grzegorz, Konieczny Łukasz (red.), 2022, Politechnika Śląska, ISBN 978-83-964252-0-1, s. 18-18
133. Burdzik Rafał, Rozmus Jacek, Celiński Ireneusz: Analiza możliwości zastosowania wspomaganie wibroakustycznego w badaniach reakcji kierowcy, W: *Konferencja naukowa VibDiag*, Poznań, 24 listopada 2021, 2021, s. 1
134. Rozmus Jacek, Burdzik Rafał, Celiński Ireneusz: Analiza postrzegania komunikatu znaku zmiennej treści - badania ankietowe i terenowe, W: *XIX Studencka Sesja Naukowa Wydziału Transportu i Inżynierii Lotniczej [Politechniki Śląskiej]*, 18 czerwca 2021, Online / Cebulska Wioletta (red.), 2021, s. 145

135. Burdzik Rafał, Celiński Ireneusz, Rozmus Jacek: Diagnostyka pojazdu samochodowego znajdującego się w ruchu, ujęcie ergonomiczne, W: Diagnostyka Maszyn : XLVII Ogólnopolskie Sympozjum, Wisła, 1.03-5.03. 2020. Streszczenia / Peruń Grzegorz, Konieczny Łukasz (red.), 2020, ISBN 978-83-7880-693-6, s. 19
136. Burdzik Rafał, Celiński Ireneusz, Rozmus Jacek, Nowak B.: Diagnostyka pojazdu zanjdującego się w ruchu, jako złożonego układu biologiczno-mechanicznego, W: Diagnostyka Maszyn : XLVII Ogólnopolskie Sympozjum, Wisła, 1.03-5.03. 2020. Streszczenia / Peruń Grzegorz, Konieczny Łukasz (red.), 2020, ISBN 978-83-7880-693-6, s. 20
137. Burdzik Rafał, Rozmus Jacek, Celiński Ireneusz, Konieczny Łukasz: Analiza postrzegania informacji przez kierujących pojazdami samochodowymi i procesu decyzyjnego kierowcy w otoczeniu przejazdu kolejowego kat. D, W: Diagnostyka maszyn : XLVI Ogólnopolskie sympozjum, Wisła, 3.03. - 7.03.2019 r, 2019, Politechnika Śląska, ISBN 978-83-930581-9-8, s. 17
138. Burdzik Rafał, Celiński Ireneusz, Rozmus Jacek, Fołęga Piotr: Analiza zachowań kierujących samochodami w bezpośrednim otoczeniu przejazdu kolejowo-drogowego z wykorzystaniem badań eye-trackingowych, W: Diagnostyka maszyn : XLV Ogólnopolskie sympozjum, Wisła, 4.03. - 8.03.2018 r. Streszczenia / Konieczny Łukasz, Peruń Grzegorz (red.), 2018, Politechnika Śląska, ISBN 978-83-930581-8-1, s. 24
139. Celiński Ireneusz, Burdzik Rafał, Rozmus Jacek, Nowak Bogusław, Warczek Jan: Analysis of driver behavior during railway crossing level passing, W: XXIII Konferencja Naukowa "Pojazdy Szynowe 2018", 22-25 maja 2018 roku, Katowice-Chorzów-Szczyrk : 23th Scientific Conference "Rail Vehicles 2018" / Krawiec Krzysztof (red.), 2018, ISBN 978-83-950229-0-6, s. 15
140. Celiński Ireneusz, Burdzik Rafał, Rozmus Jacek, Nowak Bogusław, Konieczny Łukasz: Measurements of velocity profiles of trains on railway crossing level, W: XXIII Konferencja Naukowa "Pojazdy Szynowe 2018", 22-25 maja 2018 roku, Katowice-Chorzów-Szczyrk : 23th Scientific Conference "Rail Vehicles 2018" / Krawiec Krzysztof (red.), 2018, ISBN 978-83-950229-0-6, s. 45
141. Burdzik Rafał, Rozmus Jacek, Nowak B., Młyńczak Jakub: Analysis of the safety of railway level crossings in the aspect of traffic ratio, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, Instytut Pojazdów Politechniki Warszawskiej, nr 4, 2017, s. 23-31

142. Burdzik Rafał, Słowiński Paweł, Rozmus Jacek, Nowak B.: Rail transport-rail safety from a human risk point of view, *Vibroengineering Procedia*, JVE International Ltd., vol. 13, 2017, s. 184-187, DOI:10.21595/vp.2017.19107
143. Burdzik Rafał, Nowak B., Rozmus Jacek, Słowiński Paweł, Pankiewicz J.: Safety in the railway industry, *Archives of Transport*, Polish Academy of Sciences Committee of Transport , vol. 44, nr 4, 2017, s. 15-24, DOI:10.5604/01.3001.0010.6158
144. Młyńczak Jakub, Burdzik Rafał, Rozmus Jacek, Nowak B.: Analiza bezpieczeństwa przejazdów kolejowych w aspekcie iloczynu ruchu, W: *Transport problems 2017 : IX International scientific conference*, 28.06-30.06.2017, Katowice, Sulejów. VI International symposium of young researchers, 26.06-27.06.2017, Katowice. Proceedings. [Dokument elektroniczny] / Sładkowski Aleksander[i in.](red.), 2017, Politechnika Śląska, ISBN 978-83-945717-4-0, 433-440
145. Harley, Jason M., and Sharon Y. Tettegah. "Special Issue on Exploring Identity, Emotions, and Learning in Virtual Environments: An Introduction." (2014).
146. Guzek M, Jurecki R, Lozia Z, Stańczyk T. Badania zachowania kierowców w sytuacjach przedwypadkowych realizowane w symulatorze jazdy samochodem. Konferencja Instytutu Ekspertyz Sądowych, Szczyrk 27-29 października 2006r.: 157-171.
147. Jurecki R, Stańczyk T. L. The test methods and the reaction time of drivers, *Eksplatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2011; 3: 84-91
148. McGehee D.V, Mazzae E.N, Baldwin G.H.S. Driver reaction time in crash avoidance research: validation of a driving simulator study on a test track. Proceedings of the 14th Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society (IEA 2000), San Diego/USA 2000: 6
149. Drożdziel, Paweł & Tarkowski, Sławomir & Rybicka, Iwona & Wrona, Rafał. (2020). Drivers 'reaction time research in the conditions in the real traffic. *Open Engineering*. 10. 35-47. 10.1515/eng-2020-0004.
150. McGehee, Daniel & Mazzae, Elizabeth & Baldwin, G. (2000). Driver Reaction Time in Crash Avoidance Research: Validation of a Driving Simulator Study on a Test Track. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting. 44. 10.1177/154193120004402026.
151. Jurecki, Rafał & Stańczyk, Tomasz. (2011). The test methods and the reaction time of drivers. *Eksplatacja i Niezawodność*. 51. 84-91.

9. Spis tabel

Tabela 1. Liczba wypadków i kolizji, zabitych, ciężko rannych w latach 2010 do 2022 (do kwietnia) .	9
Tabela 2. Czasy charakterystyczne w trakcie przejazdu przez przejazd kolejowo-drogowy.....	71
Tabela 3. Czasy charakterystyczne w ruchu na obiekcie nr 1	77
Tabela 4. Czasy charakterystyczne w ruchu na obiekcie nr 2.....	77
Tabela 5. Czasy charakterystyczne w ruchu na obiekcie nr 3	77
Tabela 6. Pomiar czasu przejścia/przejazdu przez przejazd kolejowo – drogowych, obiekt nr 3.....	87
Tabela 7. Pomiar prędkości/przejazdu przez przejazd kolejowo – drogowy, obiekt nr 1	87
Tabela 8. Zestawienie zbiorcze wyników ankiet.....	96
Tabela 9. Zestaw komunikatów wyświetlanych w procesie badawczym	99
Tabela 10. Uzasadnienie treści dla komunikatów VMS na PKD.....	100
Tabela 11. Badane znaki VMS z różnymi komunikatami dla PKD.....	101
Tabela 12. Czasy reakcji na pojawienie się rozpoznawalnej treści znaku w polu widzenia.....	118
Tabela 13. Odległość miejsca reakcji na pojawienie się rozpoznawalnej treści znaku w polu widzenia od lica znaku zmiennej treści	119
Tabela 14. Odległość miejsca reakcji na pojawienie się rozpoznawalnej treści znaku w polu widzenia od lica znaku zmiennej treści z uwzględnieniem długości komunikatu w znakach.....	120
Tabela 15. Posortowane malejąco odległość miejsca reakcji na pojawienie się rozpoznawalnej treści znaku w polu widzenia od lica znaku zmiennej treści	121
Tabela 16. Posortowane malejąco odległość miejsca reakcji na pojawienie się rozpoznawalnej treści znaku w polu widzenia od lica znaku zmiennej treści z korektą tej wartości o długość napisu.....	123
Tabela 17. Maksymalna liczba fiksacji w polach zbliżonych do lokalizacji znaku	125
Tabela 18. Charakterystyka czasów fiksacji	127
Tabela 19. Charakterystyka rozkładu przestrzennego punktów fiksacji	129
Tabela 20. Charakterystyka rozkładu rozmiaru średnicy oka kierowcy pojazdu testowego.....	131
Tabela 21. Charakterystyka rozkładu czasu trwania ruchów sakkadowych (wartości zaokrąglone)..	133
Tabela 22. Charakterystyka rozkładu przestrzennego punktów początkowych sakkad.....	135
Tabela 23. Charakterystyka amplitudy ruchów sakkadowych	137
Tabela 24. Zestawienie składowych czasu reakcji oraz chwilowych parametrów jazdy (komunikat „UWAGA POCIĄG”)	156
Tabela 25. Zestawienie składowych czasu reakcji oraz chwilowych parametrów jazdy (komunikat „STOP” – piktogram B20)	158
Tabela 26. Zestawienie składowych czasu reakcji oraz chwilowych parametrów jazdy (komunikat „20 sek.”)	159
Tabela 27. Zestawienie składowych czasu reakcji (komunikat „UWAGA POCIĄG”)	160
Tabela 28. Zestawienie składowych czasu reakcji oraz chwilowych parametrów jazdy (komunikat „STOP” – piktogram B20)	160
Tabela 29. Średnie czasy reakcji w podziale na grupy wiekowe (komunikat „UWAGA POCIĄG”)	161
Tabela 30. Średnie czasy reakcji w podziale na grupy wiekowe (komunikat „STOP” – piktogram B20)	161
Tabela 31. Komunikat ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ, w godzinie ruchu szczytowego 13.35-15.35	165
Tabela 32. Komunikat ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ, skuteczność treści (abstrahując od znaku B20)	167
Tabela 33. Komunikat ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ, skuteczność treści (znak B20)	167

10. Spis rysunków

Rys. 1. Kategoryzacja przejazdów kolejowych.....	10
Rys. 2. Udział procentowy wypadków na przejazdach i przejściach przez tory w podziale na ich kategorie.....	11
Rys. 3 Geometria trójkąta widoczności czoła pojazdu szynowego.....	12
Rys. 4. Pozycjonowanie badań własnych oraz katalog metod, technik i zagadnień.....	27
Rys. 5. Główne obszary badawcze w zakresie badań znaków VSM.....	27
Rys. 6. Pozycjonowanie badań własnych.....	28
Rys. 7. Sieć CAN (a) oraz złącze diagnostyczne OBD dostępu do sygnałów z magistrali (b).....	32
Rys. 8. Zakres i harmonogram czasowy badań własnych.....	36
Rys. 9. Wizualizacja elementów modelu badawczego.....	37
Rys. 10. Kanały informacyjne wykorzystywane w badaniu, kanał werbalny.....	41
Rys. 11. Analizowane czasy, interpretacja graficzna.....	43
Rys. 12. Schemat percepcji znaku i widzenia znaku.....	45
Rys. 13. Schemat percepcji znaku i widzenia znaku.....	47
Rys. 14. Kanały informacyjne wykorzystane w badaniu i ich związki.....	48
Rys. 15. Trzy treści komunikatu o odmiennym czasie percepcji.....	58
Rys. 16. Badania Eye Trackingowe (widok okularów).....	64
Rys. 17. Ilustracja ruchów sakkadowych i punktów fiksacji.....	65
Rys. 18. Przykładowa ilustracja rozkładu przestrzennego punktów fiksacji i czasów fiksacji.....	66
Rys. 19 Przykładowa charakterystyka narządu wzroku kierowcy: zmiany średnicy źrenicy i czasów mrugania.....	66
Rys. 20. Przykładowa ilustracja graficzna rozproszenia wzroku kierowcy.....	67
Rys. 21 Przykładowa ilustracja graficzna rozproszenia wzroku kierowcy.....	69
Rys. 22. Badania Eye Trackingowe – przykładowe dane – wykres czasu mrugania.....	70
Rys. 23. Czas trwania fiksacji, uczestnik nr 1.....	72
Rys. 24. Fiksacje, uczestnik nr 1, pomiar rozmiaru średnicy źrenicy [mm].....	73
Rys. 25. Ruchy sakkadowe, uczestnik nr 1, czas trwania ruchów sakkadowych [ms].....	74
Rys. 26. Ruchy sakkadowe, rozpoczęcia ruchów sakkadowych.....	74
Rys. 27. Ruchy sakkadowe, punkty zakończenia ruchów sakkadowych.....	74
Rys. 28. Ruchy sakkadowe, uczestnik nr 1, przyspieszenia ruchów sakkadowych [st./s ²].....	75
Rys. 29. Ruchy sakkadowe, uczestnik nr 1, amplitudy ruchów sakkadowych [st.].....	75
Rys. 30. czasy mrugania, uczestnik nr1, czas trwania [ms].....	76
Rys. 31. Badane przejazdy kolejowo - drogowo.....	76
Rys. 32. Czas trwania fiksacji [ms], uczestnik 1.....	78
Rys. 33. Położenie punktów fiksacji, uczestnik nr 1, wybrane okresy w trakcie mijania PKD.....	79
Rys. 34. Czas fiksacji [ms, uczestnik nr 1, czasy charakterystyczne mijania znaków informacyjnych na PKD.....	80
Rys. 35. Średnica źrenicy [mm], uczestnik nr 1, charakterystyczne punkty w trakcie jazdy testowej.....	81
Rys. 36. Czas trwania ruchów sakkadowych, uczestnik nr 1, chwile charakterystyczne.....	82
Rys. 37. Rozkład przestrzenny ruchów sakkadowych, punkty początkowe, uczestnik nr 1, okresy charakterystyczne w trakcie jazdy przez przejazd.....	83
Rys. 38. Badania intuicyjności postrzegania komunikatu znaku VMS dla kierującymi pojazdami drogowymi na przejeździe kolejowo - drogowym.....	89
Rys. 39. Widok kwestionariusza ankiety.....	91
Rys. 40. Deklarowane reakcje na komunikat znaku VMS – 20 sek.....	92
Rys. 41. Deklarowane reakcje na komunikat znaku VMS – UWAGA POCIĄG.....	92

Rys. 42. Deklarowane reakcje na komunikat znaku VMS - AWARIA	93
Rys. 43. Deklarowane reakcje na komunikat znaku VMS – B20	93
Rys. 44. Deklarowane reakcje na komunikat znaku VMS - ZWOLNIJ	94
Rys. 45. Deklarowane reakcje na komunikat znaku VMS - STOP	94
Rys. 46. Deklarowane reakcje na komunikat znaku VMS – ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ	95
Rys. 47. Procent uczestników wskazujących na inne postawy w stosunku do treści wyświetlanego komunikatu.....	98
Rys. 48. Stopień jednoznaczności treści wyświetlanego komunikatu.	98
Rys. 49. Prezentacja treści komunikatów badanych znaków VMS	101
Rys. 50. Punkty fiksacji mierzone z wykorzystaniem ET.....	103
Rys. 51. Wyposażenie odcinka testowego do badań znaku VMS.....	104
Rys. 52. Kompleksowy system pomiarowy i wyposażenia pojazdu testowego.....	105
Rys. 53. Schemat podziału odcinka testowego na 10 metrowe sekcje.....	106
Rys. 54. Urządzenia wykorzystywane podczas badań pilotażowych znaków VMS.....	106
Rys. 55. Stanowisko radaru najazdowego (lewy) i odjazdowego (prawy)	107
Rys. 56. Instalacja znaku VMS: z lewej na poboczu w wariancie 1, z prawej nad jezdnią w wariancie 2	107
Rys. 57. Komputer do diagnostyki pokładowej	108
Rys. 58. Widok z kamery przedniej rejestrującej pole widzenia (lewa) oraz z kamery rejestrującej nacisk na dźwignię hamulca (prawa)	108
Rys. 59. Schemat synchronizacji czasu w zastosowanych urządzeniach rejestrujących i pomiarowych; źródło: opracowanie własne.	109
Rys. 60. Przykładowe charakterystyki narządu wzroku, jako wyniki badań ET: a) ciężka śledzenia wzroku, b) rozkład liczby punktów fiksacji wzroku, c) agregowane mapy ciepła, d) ostre pole widzenia.	110
Rys. 61. Średni rozmiar źrenicy (średnica)	113
Rys. 62. Czas trwania ruchów sakkadowych	113
Rys. 63. Punkty początkowe ruchów sakkadowych (widzenie znaku VMS)	113
Rys. 64. Punkty końcowe ruchów sakkadowych (rozpoznanie komunikatu)	113
Rys. 65. Czas trwania ruchów sakkadowych	114
Rys. 66. Przyspieszenie ruchów sakkadowych	114
Rys. 67. Rozkład czasu mrugania	114
Rys. 68. Lokalizacja punktu fiksacji w polu stożka ostrego widzenia	114
Rys. 69. Podstawowe charakterystyki narządu wzroku kierującego pojazdem dla którego wyświetlono znak zmiennej treści: ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ, lokalizacja znaku – pobocze.....	115
Rys. 70. Podstawowe charakterystyki narządu wzroku kierującego pojazdem dla którego wyświetlono znak zmiennej treści: PRZEJAZD WOLNY – lokalizacja znaku – nad jezdnią.....	116
Rys. 71. Zakres danych z jazdy testowej, długość odcinka drogi dla którego analizowane dane statystyczne	117
Rys. 72. Odległość znaków zmiennej treści.....	122
Rys. 73. Odległość względna rozpoznawania znaków zmiennej treści przy uwzględnieniu korekty z uwagi na długość znaku (oś Y odległość od lica znaku).....	124
Rys. 74. Statystyki parametrów fiksacji dla następujących komunikatów: a) UWAGA POCIĄG z B20, b) ZACHOWAJ OSTROŻNOŚĆ, c) AWARIA, d) STOP!	125
Rys. 75. Liczba znaków vs liczba fiksacji w polach zbliżonych do pozycji znaku	126
Rys. 76. Wpływu treści znaku na długość czasu fiksacji (oś Yms)	128
Rys. 77. Reakcja źrenicy w czasie identyfikacji znaku zmiennej treści.	132

Rys. 78. Zmiana rozmiaru średnicy źrenicy (max – min) w czasie identyfikacji znaku zmiennej treści, – porządek według malejących wartości.....	133
Rys. 79. Rozkład czasów ruchów sakkadowych dla poszczególnych treści komunikatów.....	135
Rys. 80. Rozkład amplitudy ruchów sakkadowych.....	138
Rys. 81. Schemat badań zasadniczych oceny i doboru komunikatu znaku VMS dla przejazdów PKD.....	140
Rys. 82. Interpretacja graficzna analizowanych czasów (lewa) i odległości (prawa).....	141
Rys. 83. Poligon badawczy badań zasadniczych.....	142
Rys. 84. Różnica czasy pomiędzy komunikatem „Widzę” i „Rozumiem”, komunikat UWAGA POCIĄG.....	143
Rys. 85. Różnica czasy pomiędzy komunikatem „Widzę” i „Rozumiem”, znak B20_STOP!.....	144
Rys. 86. Różnica czasy pomiędzy komunikatem „Widzę” i „Rozumiem”, komunikat 20 sek.....	144
Rys. 87. Charakterystyki liczbowe zbioru danych dla znaków UWAGA POCIĄG, B20 i 20 sek.....	145
Rys. 88. Różnica odległości pomiędzy komunikatami Widzę i Rozumiem, treść UWAGA POCIĄG.....	146
Rys. 89. Różnica odległości pomiędzy komunikatami Widzę i Rozumiem, znak B20.....	146
Rys. 90. Różnica odległości pomiędzy komunikatami Widzę i Rozumiem, treść „20 sek.”.....	147
Rys. 91. Charakterystyki liczbowe zbioru danych (odległości) dla znaków UWAGA POCIĄG, B20 i 20 sek.....	147
Rys. 92. Sposób postrzegania komunikatu w przypadku treści: UWAGA POCIĄG.....	148
Rys. 93. Sposób postrzegania komunikatu w przypadku piktogramu znaku B20.....	148
Rys. 94. Sposób postrzegania komunikatu w przypadku treści znaku: B20.....	149
Rys. 95. Sposób postrzegania komunikatu w przypadku werbalizacji „Widzę”.....	149
Rys. 96. Sposób postrzegania komunikatu w przypadku werbalizacji „Widzę” znak UWAGA POCIĄG.....	150
Rys. 97. Sposób postrzegania komunikatu w przypadku werbalizacji „widzę” znak B20.....	150
Rys. 98. Sposób postrzegania komunikatu w przypadku werbalizacji „Rozumiem”, znak B20.....	151
Rys. 99. Kompletny system pomiarowy oraz stanowisko znaku VMS.....	152
Rys. 100. Ekran danych rejestrowanych podczas badań zasadniczych.....	152
Rys. 101. Wizualizacja i graficzna interpretacja komponentów czasu reakcji.....	153
Rys. 102. Wyniki przekształceń matematycznych sygnałów akustycznego i przyspieszeń drgań z zaznaczeniem markerów komend.....	155
Rys. 103. Rejestrowane z magistrali CAN parametry jazdy z zaznaczonymi znacznikami czasu wskazania komendy.....	156
Rys. 104. Zdjęcie działającego w warunkach sieci PKP PLK systemu IPS.....	163
Rys. 105. Zdjęcie działającego w warunkach sieci PKP PLK systemu IPS, pokazano system wraz z zasilaniem.....	164
Rys. 106. Schemat działań w procedurze walidacji.....	169

11. Źródło finansowania badań

Finasowanie w ramach środków własnych autora.

12. Załączniki (pliki z danymi)

Załącznik 1

Badania postrzegania sceny ruchu PKD przez uczestników ruchu drogowego

Załącznik 2

Badania charakterystyki ruchu pojazdów i pieszych na PKD

Załącznik 3

Badania ankietowe postrzegania treści komunikatów

Załącznik 4

Badania pilotażowe znaków zmiennej treści – usytuowanie lica znaku i ocena komunikatów

Załącznik 5

Badania zasadnicze znaków zmiennej treści – ocena reakcji