

Anna Wytrykowska, Piotr Tomczuk

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

PRZEGLĄD METOD BADAŃ ZACHOWAŃ UCZESTNIKÓW RUCHU DROGOWEGO NA PRZEJŚCIACH DLA PIESZYCH

Rękopis dostarczono: kwiecień 2018

Streszczenie: Wzrost zainteresowania problematyką bezpieczeństwa i zagrożeń w ruchu drogowym wpłynął na popularyzację badań prowadzonych w tym zakresie. Przeprowadzając analizę zagrożeń w ruchu drogowym szczególną uwagę należy zwrócić na stan techniczny pojazdu, stan infrastruktury drogowej, otoczenie i dostępność drogi oraz zachowania uczestników ruchu drogowego. Zarządcy dróg mają możliwość oddziaływania na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego wprost, poprzez modernizację i przebudowę infrastruktury drogowej. W celu doboru skutecznych rozwiązań należy prowadzić systematyczne badania poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego, wypadkowości oraz skuteczności wdrażanych rozwiązań. Przykładem prowadzonych badań są analizy z uczestników ruchu drogowego. W referacie przedstawiono przegląd metod stosowanych do badań zachowań użytkowników dróg. Jedną z przedstawionych metod została opracowana i wykorzystana w ramach realizacji Grantu Rektorskiego w 2017 r. przez Koło Naukowe Elektrotechniki w Systemach Transportowych KNEST.

Słowa kluczowe: zachowania pieszych, przejścia dla pieszych, video rejestracja

1. WPROWADZENIE

Dynamiczny rozwój ruchu drogowego wiąże się z powstawaniem zagrożeń dla użytkowników dróg. W konsekwencji dochodzi do dużej liczby wypadków drogowych, w tym wypadków z udziałem pieszych. Mimo wdrażania programów poprawy BRD, Polska wykazuje wysoki bilans ofiar śmiertelnych wypadków drogowych.

Jak wynika z analiz statystycznych prowadzonych przez Komendę Główną Policji [14], piesi stanowią grupę najbardziej narażoną na niebezpieczeństwo. W 2017 roku odnotowano 8197 wypadków z udziałem pieszych (25% ogółu), w których zginęły 873 osoby, a 7587 zostało rannych. Główną przyczyną wypadków z udziałem pieszych było nieustąpienie pierwszeństwa na przejściu dla pieszych (3379 zdarzeń). W 2017 roku na przejściach dla pieszych odnotowano 4091 wypadków, w których zginęło 259 osób a 4029 zostało rannych.

Przejsciedla pieszych to powierzchnia jezdni, torowiska, umożliwiająca uczestnikom ruchu drogowego bezpieczne przejście przez jezdnię lub torowisko [13]. Obszary te

stanowią przecięcie trajektorii ruchu pieszych, pojazdów i rowerzystów. Strefa ta narażona jest na wystąpienie kolizji między ww. uczestnikami ruchu drogowego. Pomimo poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce, nadal zauważalny jest wysoki poziom wskaźnika demograficznego wypadków śmiertelnych. Przejścia dla pieszych w Polsce są od wielu lat obszarem o podwyższonym ryzyku doznania obrażeń lub utraty życia na skutek kolizji pieszego z pojazdem.

W celu wdrażania odpowiednich działań wpływających na poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego przeprowadzane są systematyczne badania, analizy i oceny bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Przykładem podejmowanych działań są badania i analizy zachowań uczestników ruchu drogowego i relacji pieszy – kierowca na przejściach dla pieszych.

Analiza zachowań uczestników ruchu drogowego obejmuje szereg czynności związanych ze zdefiniowaniem cech psychofizycznych i parametrów ruchu użytkowników dróg. Wśród cech psychofizycznych należy wyróżnić wiek, płeć oraz np. rodzaj niepełnosprawności użytkownika drogi. Analizując zachowania uczestników ruchu drogowego na przejściu dla pieszych należy określić m.in.: prędkość ruchu pojazdów, prędkość ruchu pieszych, natężenie ruchu kołowego i pieszego, poziom swobody ruchu. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na wzajemną widoczność pieszych i kierowców we wszystkich porach doby.

W artykule przedstawiono przegląd metod stosowanych do analizy i badań zachowań uczestników ruchu drogowego na przejściach dla pieszych oraz koncepcję metody opracowaną w ramach Grantu Rektorskiego w 2017 r. przez Koło Naukowe Elektrotechniki w Systemach Transportowych KNEST.

2. PRZEGLĄD METOD ANALIZY ZACHOWAŃ UCZESTNIKÓW RUCHU DROGOWEGO

Jedną z metod stosowanych do analizy zachowań uczestników ruchu drogowego jest analiza obrazu cyfrowego. Metoda ta opiera się na wykorzystaniu nagrań z kamer pomiarowych zlokalizowanych na wybranych poligonach badawczych. Na podstawie dostępnych materiałów (np. ocena bezpieczeństwa ruchu drogowego, statystyki wypadkowości) należy dokonać wyboru poligonów badawczych. Następnie zgodnie z przyjętą metodą należy dokonać rejestracji obrazu. W zależności od lokalizacji kamer pomiarowych, ich ustawienia, czasu trwania nagrania oraz wyboru godzin pomiarowych można określić różne cechy i parametry ruchu. Analiza obrazu cyfrowego pozwala na odczytanie m.in.:

- liczby konfliktów pieszy - kierowca,
- prędkości pojazdów,
- trajektorii ruchu pojazdów,
- natężenia ruchu pieszego, natężenia ruchu kołowego,
- struktury rodzajowej,
- cech psychofizycznych pieszych [4].

W badaniach polskich metoda ta była wykorzystywana w programie MOBIS [2, 6] realizowanym na Politechnice Warszawskiej. Głównym celem projektu było opracowanie metody oceny bezpieczeństwa ruchu drogowego przy użyciu analiz obrazu wideo. Przy wyborze poligonów badawczych kierowano się: natężeniem ruchu pieszych, liczbą wypadków drogowych z udziałem pieszych oraz dostępnością infrastruktury umożliwiającej instalację aparatury badawczej. Wykorzystana aparatura badawcza składała się z: jednej lub dwóch kamer pomiarowych, szerokokątnej kamery poglądowej oraz stacji roboczej do rejestracji danych. Kamery pomiarowe pozwalały na obserwację pojazdów dojeżdżających do przejścia dla pieszych, natomiast kamera poglądowa rejestrowała obszar przejścia dla pieszych. W programie MOBIS analizowano trzy rodzaje sytuacji: zatrzymanie się pojazdu przed przejściem dla pieszych, opóźnienie pojazdu podczas gwałtownego hamowania przed pieszym oraz minimalną odległość między pojazdem a pieszym.

Innym przykładem wykorzystania analizy obrazu wideo jest projekt InDev realizowany na Politechnice Warszawskiej w ramach programu Horyzont 2020 [8]. Głównym celem projektu jest analiza przyczyn wypadków drogowych ze szczególnym uwzględnieniem niechronionych uczestników ruchu drogowego. Wykorzystano rejestrację obrazu do określenia przyczyn wypadków drogowych oraz genezy ich powstawania.

W doświadczeniach polskich do analizy zachowań uczestników ruchu drogowego wykorzystywana jest metoda konfliktów ruchowych [4]. Metoda ta opiera się na zdefiniowaniu konfliktów ruchowych oraz procesu ich powstawania. Technika ta składa się z następujących elementów:

- opis operacyjny konfliktu,
- skala powagi konfliktu,
- procedura obserwacji,
- program szkolenia obserwatorów,
- procedura opracowania wyników,
- walidacja,
- sposób wykorzystania zarejestrowanych konfliktów.

Głównym źródłem danych o konfliktach są obserwacje terenowe. Wykrycie konfliktu wymaga równoczesnej obserwacji uczestników ruchu drogowego. W celu przeprowadzenia badań należy zdefiniować stanowisko obserwacji, czas obserwacji oraz sposób rejestracji konfliktów. Ważnym elementem jest określenie typu konfliktu, powagi konfliktu oraz jego uczestników. Otrzymane wyniki można wykorzystać do oszacowania prawdopodobnej liczby wypadków lub do oceny stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Metoda konfliktów ruchowych została zastosowana w ramach opracowania podręcznika „Ochrona pieszych” [3]. Autorzy wykonali badania pilotażowe w celu uzyskania danych o konfliktach i sytuacjach niebezpiecznych. Jako poligon badawczy wybrano przejścia dla pieszych zlokalizowane na terenie Gdańska. Przejścia dla pieszych wytypowano z uwagi na: rodzaj przekroju, geometrię drogi, występowanie urządzeń brd oraz rodzaj zagospodarowania terenu w obszarze obiektu. Badania wykonano za pomocą kamery szerokokątnej. Całkowity czas nagrania wynosił 8 godzin. Wśród konfliktów wyróżniono sytuacje takie jak: gwałtowne hamowanie pojazdu na przejściu przed pieszym lub rowerzystą, nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu/rowerzyście przez szybko jadący samochód (pieszy/rowerzysta musiał zwolnić lub zatrzymać się), gwałtowne hamowanie

rowerzysty na przejściu dla pieszych. Dodatkowo analiza materiału filmowego umożliwiła rejestrowanie natężenia pojazdów i pieszych na danym przejściu.

Ważnym aspektem wpływającym na relację pieszy – kierowca jest ich wzajemna widoczność zarówno w dzień jak i w nocy. W celu zbadania wzajemnej widoczności uczestników ruchu drogowego w porze nocnej wykorzystuje się pomiar luminancji sylwetki pieszego. Do rejestracji rozkładu luminancji stosuje się mierniki luminancji lub zaawansowane mierniki matrycowe.

W badaniach przedstawionych w pracach [9, 10, 11, 12] do oceny widzialności sylwetki pieszego wykorzystano:

- pionowe natężenie oświetlenia w osi przejścia dla pieszych, mierzone z kierunku ruchu pojazdu,
- równomierność pionowego natężenia oświetlenia wzdłuż osi przejścia dla pieszych,
- poziome natężenie oświetlenia na przejściu dla pieszych i w strefie oczekiwania,
- kontrast sylwetki pieszego i tła,
- widzialność geometryczną pieszego na przejściu z odległości 50 m w kierunku ruchu pojazdu,
- występowanie olśnienia kierowcy,
- luminancję tła za sylwetką pieszego,
- luminancję obiektu na przejściu dla pieszych.

Przejścia dla pieszych powinny się charakteryzować prawidłowymi warunkami oświetleniowymi w różnych warunkach atmosferycznych oraz porach doby. W przypadku dobowych ograniczeń widzialności należy stosować odpowiednio dobrane oświetlenie dedykowane.

Najbardziej rozpowszechnioną formą prowadzonych badań, w zakresie analizy zachowań pieszych, w Stanach Zjednoczonych są badania ankietowe. Wśród badań ankietowych można wyróżnić listy sprawdzające (tzw. walkability checklist) oraz reguły ruchu (principles of pedestrian design). W przypadku badań za pomocą list sprawdzających, badacz ma za zadanie ocenę w skali o 1 do 6 wstępnie zdefiniowanych problemów. Wyniki otrzymanych ankiet prowadzą do opracowania i przedstawienia sposobów rozwiązania wskazanych problemów [7].

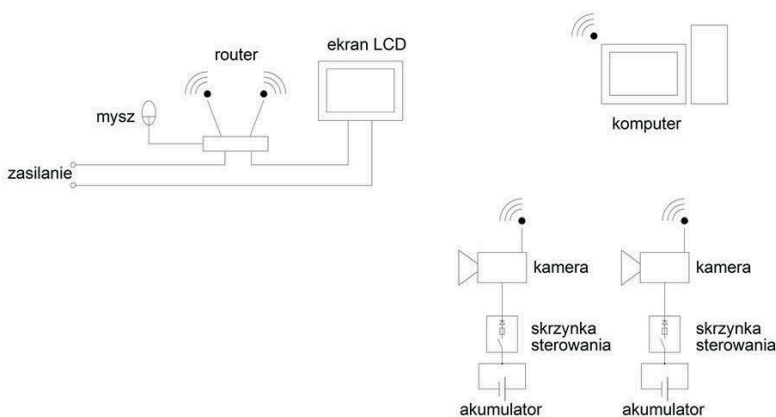
We Francji przeprowadzono badania analizy zachowań i wzajemnego oddziaływania relacji pieszy – kierowca. W ramach prowadzonych prac przebadano ponad 2500 kierowców. Eksperyment wykazał zależność między zachowaniami pieszych a prawdopodobieństwem zatrzymania pojazdu [5].

W Hiszpanii przeprowadzono badania podstawowych parametrów ruchu: czas oczekiwania, prędkość pieszego i pojazdu, typ pojazdu, luki czasowe. W tym celu wykorzystano metodę automatycznej detekcji pieszego za pomocą kamer. Dodatkowo wyniki uzupełniono o płeć i wiek pieszych [1].

3. KONCEPCJA METODY REJESTRACJI I ANALIZY ZACHOWAŃ UCZESTNIKÓW RUCHU DROGOWEGO NA PRZEJŚCIU DLA PIESZYCH

Prezentowana w niniejszym artykule koncepcja metody rejestracji i analizy zachowań uczestników ruchu drogowego powstała w ramach realizacji Grantu Rektorskiego w 2017 r. przez Koło Naukowe Elektrotechniki w Systemach Transportowych KNEST. Głównym celem projektu była budowa mobilnych rejestratorów obrazu do rejestracji i analizy zachowań uczestników ruchu drogowego.

System pomiarowy umożliwia rejestrację obrazu z dwóch kamer zamontowanych na masztach o odpowiedniej długości, w rejonie przejścia dla pieszych. Zbudowany system składa się z rejestratora, monitora, dwóch kamer pomiarowych oraz systemu zasilającego. Schemat systemu przedstawiono na rysunku 1.



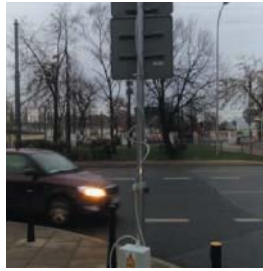
Rys. 1. Schemat systemu rejestracji obrazu

Źródło: Opracowanie własne

Zastosowany rejestrator posiada wbudowany system operacyjny LINUX oraz siecią nagrywarkę wideo, realizującą program rejestrujący materiał wideo w postaci cyfrowej na dysku urządzenia. Rejestrator obsługuje cztery kanały, co pozwala na rejestrację wideo z kilku kamer jednocześnie. Oprogramowanie posiada takie funkcje, jak możliwość robienia zdjęć, detekcję ruchu oraz zaplanowanie czasu nagrania. Dodatkowo rejestrator pełni funkcję routera wi - fi.

Kamery pomiarowe zbudowane są z wysokiej jakości przetwornika obrazu. Zastosowany obiektyw oraz oświetlacz podczerwieni umożliwia obserwację przestrzeni do 30 metrów. posiada wbudowany moduł wi – fi, co umożliwia bezprzewodowe połączenie kamery z routerem. Zarządzanie funkcjami kamery odbywa się za pomocą aplikacji komputerowej. Producent posiada również oprogramowanie dla urządzeń mobilnych.

Na rysunku 2 przedstawiono fotografię zbudowanego systemu rejestracji obrazu.



Rys. 2. System rejestracji obrazu zbudowany w ramach Grantu Rektorskiego

Źródło: Opracowanie własne

Docelowo system zostanie wykorzystany przez członków Koła Naukowego do analizy zachowań uczestników ruchu drogowego w porze nocnej. Badanie składało się będzie z następujących etapów: wybór poligonów badawczych, przeprowadzenie wizji lokalnej na wytypowanych przejściach dla pieszych, rejestracja obrazu wideo, analiza obrazu oraz opracowanie wyników.

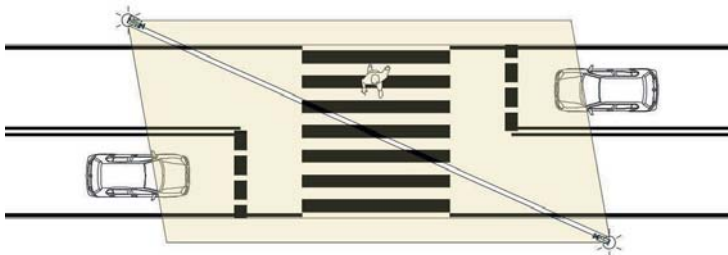
Przy wyborze poligonu badawczego należy zwrócić uwagę na natężenie ruchu pieszego, natężenie ruchu kołowego, przekrój drogi oraz jej geometrię. Badania zrealizowane zostaną dla przejść dla pieszych niesterowanych sygnalizacją świetlną.

W czasie wizji lokalnej należy określić podstawowe parametry geometryczne przejścia dla pieszych, takie jak: długość i szerokość przejścia dla pieszych, szerokość jezdni, rodzaj i przekrój drogi, istniejącą organizację ruchu, występowanie urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego, występowanie oświetlenia ulicznego, reklam świetlnych i innych elementów infrastruktury drogowej czy zagospodarowania przestrzennego w rejonie przejścia dla pieszych.

Dodatkowo wizję lokalną należy uzupełnić o pomiar natężenia oświetlenia oraz pomiar luminancji sylwetki pieszego z tłem, przeprowadzony zgodnie z procedurą omówioną w pracach badawczych [9, 10, 11, 12].

Rejestrację obrazu wideo należy przeprowadzić w ciągu tygodnia (z wyłączeniem dni wolnych od pracy i wakacji). Zaleca się przeprowadzenie nagrań w godzinach szczytu porannego i popołudniowego oraz w porze nocnej.

Kamery do rejestracji obrazu należy zlokalizować względem przejścia dla pieszych zgodnie z rys. 3, tak aby kamera obejmowała cały obszar przejścia dla pieszych.



Rys. 3. Schemat lokalizacji rejestratorów obrazu

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie otrzymanych nagrań wideo należy określić podstawowe parametry ruchu pojazdów i pieszych, a następnie określić i sklasyfikować konflikty w relacji pieszy – kierowca.

W celu weryfikacji poprawności działania zbudowanego systemu przeprowadzono wstępne badania weryfikacyjne na przejściu dla pieszych w Warszawie. Na rysunku 4 przedstawiono widok z rejestratora na badane przejście dla pieszych.



Rys. 4. Widok na przejście dla pieszych z rejestratora KNEST

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonych badań pilotażowych stwierdzono, że analiza obrazu cyfrowego umożliwia określenie parametrów takich jak:

- natężenie ruchu pieszego,
- natężenie ruchu kołowego,
- struktura rodzajowa,
- wiek, płeć pieszych,
- czas oczekiwania na przejście dla pieszych,
- prędkość pojazdu,
- prędkość pieszych,

Analizując sytuacje konfliktowe w relacji pieszy – kierowca zaobserwowano:

- nieustąpienie pierwszeństwa pieszym,
- wywieranie presji na pieszych,
- nieustąpienie pierwszeństwa pieszym przez rowerzystów,
- przejazd rowerzystów przez przejście dla pieszych,
- gwałtowne hamowanie przed przejściem dla pieszych,
- gwałtowne hamowanie rowerzysty przed przejściem dla pieszych,
- wtargnięcie pieszego na przejście dla pieszych przed jadącym pojazdem.

Na podstawie otrzymanych wyników należy oszacować prawdopodobną liczbę wypadków i ocenić stan bezpieczeństwa ruchu drogowego zgodnie z metodą konfliktów ruchowych.

Prace przeprowadzone w ramach Grantu Rektorskiego w 2017 r. obejmowały budowę rejestratorów obrazu wideo. W najbliższym czasie planowane jest podjęcie działań

związanych z realizacją badań terenowych. Przeprowadzenie badań umożliwi doprecyzowanie i przyjęcie metodyki pomiarowej, a w dalszej kolejności analizę zagadnień związanych z wpływem zachowań użytkowników dróg na bezpieczeństwo ruchu drogowego.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Prowadzone prace badawcze wskazują konieczność przeprowadzania systematycznych badań zachowań uczestników ruchu drogowego. Analiza zachowań użytkowników dróg w obrębie przejść dla pieszych ma duże znaczenie dla zarządców dróg i jednostek administracji publicznej. Wyniki uzyskane w ramach badań mogą przyczynić się do oceny skuteczności podejmowanych działań.

Istnieje szereg metod wykorzystywanych do analizy zachowań uczestników ruchu drogowego. Jedną z dostępnych jest analiza obrazu wideo. Podczas przeprowadzania badań terenowych należy pamiętać o kryteriach wyboru obiektów do badań, mierzonych parametrach ruchu oraz szczegółowym zdefiniowaniu sytuacji konfliktowych.

W referacie przedstawiono metody stosowane do analizy zachowań użytkowników dróg na przejściach dla pieszych. Dodatkowo omówiono wyniki prac zrealizowanych w ramach Grantu Rektorskiego w 2017r. przez Koło Naukowe Elektrotechniki w Systemach Transportowych KNEST działające na Wydziale Transportu Politechniki Warszawskiej.

W ramach ww. projektu zbudowano dwa mobilne zestawy narzędzi do rejestracji zachowań uczestników ruchu drogowego, wykorzystujące wideo rejestrację. Wykonany projekt może być podstawą do prowadzenia dalszych prac badawczych i analiz wpływu zachowań uczestników ruchu drogowego na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Zbudowany system będzie wykorzystany przez studentów Wydziału Transportu podczas realizacji prac inżynierskich i magisterskich.

Bibliografia

1. Alonso I. P., Llorca D. F., Sotelo M. A. and others Combination of Feature Extraction Methods for SVM Pedestrian Detection, IEEE vol.8, no. 2, 2007
2. Czajewski W., Dąbkowski P., Kraśkiewicz C.: Problemy oceny bezpieczeństwa pieszych przy pomocy analizy obrazu wideo, Wybrane interdyscyplinarne zagadnienia budownictwa, rozdział VIII, str. 275 – 289, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2015.
3. Jamroz K., Gaca S., Michalski L. i inni, Ochrona pieszych. Podręcznik dla organizatorów ruchu pieszego. Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, Gdańsk, Kraków, Warszawa 2014.
4. Jamroz K., Gaca S., Michalski L. i inni, Metodologia systematycznych badań zachowań pieszych i relacji pieszy-kierowca wraz z przeprowadzeniem badań pilotażowych, Etap I, Założenia do metodologii wraz z badaniami pilotażowymi. Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, Gdańsk, Kraków, Warszawa 2015.
5. N. Guéguen, S. Meineri, and C. Eyssartier, "A pedestrian's stare and drivers' stopping behavior: A field experiment at the pedestrian crossing." Saf. Sci., vol. 75, pp. 87–89, 2015.

6. Olszewski P., Czajewski W., Dąbkowski P., Szagała P.: Badanie zachowań uczestników ruchu na przejścia dla pieszych na podstawie analizy obrazu. *Budownictwo i architektura* 13(4), str. 177 – 184, 2014.
7. Partnership for a Walkable America. Walkability Checklist. Transportation (Amst). 2002. <http://www.walkableamerica.org/checklist-walkability.pdf>.
8. Strona projektu InDev: www.indev-project.eu [dostęp: 22.04.2018].
9. Tomczuk P., Wytrykowska A., Jaskowski P., Jarzębska A., Ogólne zasady oświetlenia przejść dla pieszych, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport*, z. 114, str. 393 – 406, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2016.
10. Tomczuk P.: Assessment model of luminance contrast of pedestrian figure against background on pedestrian crossing, *Przegląd Elektrotechniczny*, pp.104-107, R. 88 NR 3a/2012, SIGMA-NOT.
11. Tomczuk P.: Assessment of the state of pedestrian crossing lighting on the basis of field measurements of luminance, *Przegląd Elektrotechniczny*, pp. 266-269, R. 89 NR 8/2013, SIGMA-NOT.
12. Tomczuk P.: Bezpieczeństwo pieszych - pomiary luminancji na przejściu dla pieszych, *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, Badania Środków i Systemów Transportowych*, z. 80, str.117-135, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2012.
13. Ustawa prawo o ruchu drogowym. Dz. U. 98 poz. 602 z dn. 20 czerwca 197 r. z późniejszymi zmianami.
14. Wypadki drogowe w Polsce w 2017 roku, Raport statystyczny, Komenda Główna Policji.

REVIEW OF METHODS APPLIED TO RESEARCH OF ROAD USERS BEHAVIOUR ON PEDESTRIAN CROSSINGS

Summary: Increase in the interest of road safety and threats has influenced the promotion of research conducted in this area. When conducting the analysis of hazards in road traffic, special attention should be paid to the technical condition of the vehicle, the condition of the road infrastructure, the surroundings and the accessibility of the road and the behavior of road traffic participants. Road managers have the opportunity to influence the level of road safety directly, through the modernization and reconstruction of road infrastructure. In order to select effective solutions, it is necessary to conduct systematic research on the level of road traffic safety, accident rates and the effectiveness of implemented solutions. An example of the conducted research are the analysis of traffic participants' behavior. The paper presents an overview of the methods used to study the behavior of road users. One of the presented methods was developed and used as part of the Rector's Grant in 2017 by the Scientific Circle of Electrical Engineering in Transport Systems.

Keywords: pedestrians behaviors, a pedestrian crossing, video rejestracja