



RENATA ŻOCHOWSKA¹⁾
MARCIN J. KŁOS²⁾
PIOTR SOCZÓWKA³⁾

ANALYSIS OF TRAFFIC SAFETY AT INTERSECTIONS OF ROADWAYS AND TRAM TRACKS

ANALIZA BEZPIECZEŃSTWA RUCHU NA SKRZYŻOWANIACH TRAS TRAMWAJOWYCH Z RUCHEM KOŁOWYM

STRESZCZENIE. Jednym z najbardziej obiecujących podsystemów transportu publicznego w zakresie zrównoważonej mobilności jest komunikacja tramwajowa. Tramwaje mogą przewozić dużą liczbę pasażerów i są przyjazne środowisku. W celu kształtowania sprawnego systemu tramwajowego konieczne jest jednak zminimalizowanie możliwości występowania zdarzeń z udziałem tramwajów i pojazdów kołowych na skrzyżowaniach tras tramwajowych z ruchem kołowym. W artykule przedstawiono propozycję metody analizy zdarzeń w takich miejscach. Dla zapewnienia kompleksowego podejścia do problemu bezpieczeństwa, analiza obejmowała dwa aspekty zagadnienia: czasowy i przestrzenny. Proponowana metoda została przedstawiona na przykładzie sieci tramwajowej obszaru Gómośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM). Analiza umożliwiła identyfikację przyczyn zdarzeń na dwóch najbardziej niebezpiecznych skrzyżowaniach tras tramwajowych z ruchem kołowym. W przypadku każdego z tych miejsc określono propozycje rozwiązań poprawiających poziom bezpieczeństwa.

SŁOWA KLUCZOWE: bezpieczeństwo ruchu, skrzyżowania tras tramwajowych z ruchem kołowym, system informacji geograficznej (GIS), transport tramwajowy.

ABSTRACT. Ensuring high standard of service of public transport is among the most important goals of sustainable mobility. One of the most promising subsystems of public transport in this respect is the tram transport. Trams are eco-friendly and able to transport large numbers of passengers. However, in order to shape an efficient tram system, it is important to minimize the possibility of occurrence of incidents involving trams and road vehicles at intersections of roadways and tram tracks. The paper presents a proposition of a method of analysis of incidents in such locations. For ensuring a comprehensive approach to safety problem, the analysis encompasses two aspects: temporal and spatial. The proposed method has been presented on the example of tram network of the Metropolis GZM (Metropolitan Association of Upper Silesia and Dąbrowa Basin) area. The analysis has enabled identification of causes of incidents for the two most hazardous intersections of roadways and tram tracks. For each of these locations, proposed solutions to improve the level of safety have been determined.

KEYWORDS: geographic information system (GIS), intersections of tram tracks and roadways, traffic safety, tram transport.

DOI: 10.7409/rabdim.021.003

¹⁾ Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej, Katedra Systemów Transportowych, Inżynierii Ruchu i Logistyki, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, renata.zochowska@polsl.pl (✉)

²⁾ Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej, Katedra Systemów Transportowych, Inżynierii Ruchu i Logistyki; marcin.j.klos@polsl.pl

³⁾ Politechnika Śląska, Wydział Transportu i Inżynierii Lotniczej, Katedra Systemów Transportowych, Inżynierii Ruchu i Logistyki; piotr.soczowka@polsl.pl

1. WSTĘP

Współczesne obszary miejskie muszą mierzyć się z różnymi problemami związanymi z działalnością transportową. Negatywne oddziaływanie transportu w miastach prowadzi do zanieczyszczenia, hałasu, zatłoczenia czy zdarzeń drogowych [1-4]. Aby sprostać wymaganiom zrównoważonego rozwoju, konieczne jest ograniczenie niepożądanych skutków transportu. W tym celu wykorzystywane są różne narzędzia zrównoważonej mobilności, np. zmniejszenie zapotrzebowania na korzystanie z samochodu, minimalizacja odległości pomiędzy miejscami o określonej funkcjonalności czy zastosowanie innowacyjnych narzędzi zwiększających efektywność przemieszczania się pasażerów [5-9]. W przypadku obszarów miejskich, wzrost liczby przejazdów transportem publicznym jest jednym z najważniejszych celów związanych ze zrównoważoną mobilnością [10]. Dlatego też konieczne jest zapewnienie odpowiedniej jakości usług transportowych poprzez rozwój sprawnego, niezawodnego, a przede wszystkim bezpiecznego systemu transportu publicznego. W tym kontekście transport tramwajowy wydaje się być podsystemem transportu publicznego, który oferuje wysoki potencjał spełnienia wszystkich tych postulatów.

Komunikacja tramwajowa jest przyjazna środowisku i może zapewnić transport dla dużej liczby osób [11]. Dlatego też, mając na uwadze liczbę pasażerów podróżujących tramwajami oraz zakłócenia w sieci tramwajowej, jakie mogą być spowodowane zdarzeniami drogowymi, należy traktować każde zdarzenie z udziałem tramwajów jako niebezpieczne i mogące prowadzić do poważnych konsekwencji [12]. Ważne jest, aby zidentyfikować niebezpieczne miejsca na odcinkach drogi wspólnych z torami tramwajowymi i przeanalizować je w celu znalezienia rozwiązań zmniejszających poziom ryzyka [13-15]. Istnieje wiele podejść do definiowania, identyfikowania i analizowania takich miejsc. W pracy [16] niebezpieczne miejsce na drodze jest definiowane jako każda lokalizacja o wyższej oczekiwanej liczbie wypadków niż inne podobne lokalizacje z uwzględnieniem lokalnych czynników ryzyka. Autorzy pracy [17] zwracają uwagę, że praktycznie takie miejsca można zidentyfikować na podstawie zarejestrowanej liczby wypadków. Podkreślają oni jednak również znaczenie lokalnych czynników ryzyka i okoliczności, które mają wpływ na występowanie zdarzeń. Inna definicja [18] wymaga spełnienia co najmniej jednego z dwóch kryteriów, związanych albo z występowaniem zdarzeń z ofiarami śmiertelnymi, albo z częstotliwością występowania wypadków podobnych do siebie. W innej pracy [19] przedstawiono metodę identyfikacji niebezpiecznych miejsc na drogach na podstawie kryteriów związanych z liczbą zdarzeń, ciężkością zdarzeń oraz częstotliwością występowania podobnych zdarzeń. Wśród innych

1. INTRODUCTION

Modern urban areas have to cope with various issues associated with transport activity. Negative impact of transport in cities results in pollution, noise, congestion or traffic incidents [1-4]. In order to comply with the demands of sustainable development it is necessary to reduce undesirable consequences of transport. To that end, different tools of sustainable mobility are exploited, e.g. reduction of the demand for travelling by car, minimisation of the distance between locations with specific functionality or the use of innovative tools for increasing the efficiency of movement of passengers [5-9]. In the case of urban areas, the growth of the number of trips made using public transport is one of the most important goals associated with sustainable mobility [10]. Therefore, it is necessary to provide transport service of appropriate quality by developing an efficient, reliable and – above all – safe system of public transport. In this context, tram transport seems to be a sub-system of public transport that offers a high potential of fulfilling all these demands.

Tram communication is eco-friendly and may provide transport for a large number of people [11]. Hence, bearing in mind the number of passengers travelling by trams and disruptions in the tram network that may be caused by traffic incidents, it is necessary to treat any incident involving trams as hazardous and potentially leading to serious consequences [12]. It is important to identify hazardous locations on the road sections shared with the tram tracks and analyse them in order to find solutions to reduce the level of risk [13-15]. There is a variety of approaches to defining, identifying and analysing such locations. In the paper [16] hazardous road location is defined as any location with a higher expected number of accidents than other similar locations, taking into account local risk factors. Authors of paper [17] point out that, practically, such locations may be identified based on the recorded number of accidents. However, they also emphasise the importance of local risk factors and circumstances that influence the occurrence of incidents. Another definition [18] requires the fulfilment of at least one of the two criteria, associated either with occurrence of incidents with casualties or with the frequency of occurrence of accidents that are similar to each other. Another paper [19] presents a method of identification of hazardous road locations based on criteria associated with the number of incidents, severity of incidents and the frequency of similar incidents. Among other methods that enable identification of hazardous locations, empirical Bayes estimate of severe-crash frequency [20] or method based on property

metod umożliwiających identyfikację miejsc niebezpiecznych można wymienić empiryczną metodę Bayesa stosowaną do estymacji częstotliwości występowania poważnych wypadków [20] lub metodę opartą na szkodach materialnych [21]. Analiza takich miejsc zwykle koncentruje się na identyfikacji lokalnych uwarunkowań, które przyczyniają się do wysokiego poziomu ryzyka.

Jednak specyfika transportu tramwajowego wymaga zastosowania dedykowanych metod. W pracy [22] autorzy zwracają uwagę, że analiza miejsc niebezpiecznych w odniesieniu do systemów tramwajowych powinna obejmować zarówno aspekty czasowe, jak i przestrzenne. Aspekty czasowe dotyczą występowania zdarzeń o określonej porze dnia lub – w szerszej skali – w określonej porze roku. Analizując aspekty przestrzenne, należy wziąć pod uwagę układ tras tramwajowych, gdyż różne układy mogą sprzyjać określonym typom zdarzeń [23]. Bardzo ważnym aspektem przestrzennym jest również układ drogowo-uliczny [12] i związane z nim czynniki. Inna metoda [24] analizy zdarzeń z udziałem tramwajów zakłada uwzględnienie pięciu grup przyczyn zdarzeń: czynnik ludzki, pojazd, droga, ruch i otoczenie.

Głównym celem badań było przedstawienie przestrzenno-czasowego podejścia do analizy zdarzeń na skrzyżowaniach tras tramwajowych z ruchem kołowym, umożliwiającego identyfikację przyczyn występowania zdarzeń w takich lokalizacjach. Na podstawie zidentyfikowanych przyczyn zdarzeń w poszczególnych miejscach możliwe jest opracowanie propozycji różnych rozwiązań (dotyczących infrastruktury, organizacji ruchu lub innych aspektów), które mogą prowadzić do zmniejszenia liczby zdarzeń, a tym samym przyczynić się do kształtowania bezpiecznego systemu transportowego.

2. METODA ANALIZY BEZPIECZEŃSTWA RUCHU NA SKRZYŻOWANIACH TRAS TRAMWAJOWYCH Z RUCHEM KOŁOWYM

Przedstawione badania koncentrują się na zdarzeniach występujących na skrzyżowaniach tras tramwajowych z ruchem kołowym. Celem proponowanej analizy jest określenie czynników, które mają największy wpływ na występowanie zdarzeń drogowych w tego typu lokalizacjach. Wyniki uzyskane w oparciu o proponowaną metodę powinny umożliwić określenie niezbędnych działań, jakie należy podjąć w celu podniesienia poziomu bezpieczeństwa. Na Rys. 1 przedstawiono ogólny schemat przetwarzania danych wykorzystanych do analizy sposobów zmniejszenia ryzyka występowania zdarzeń na skrzyżowaniach tras tramwajowych z ruchem kołowym. Opracowana metoda zakłada wykorzystanie dostępnych baz

damage [21] may be also mentioned. Analysis of such locations usually focuses on identification of local conditions that contribute to the high level of risk.

However, the specificity of tram transport requires dedicated methods. In paper [22] authors point out that the analysis of hazardous locations in case of tram systems should encompass both temporal and spatial aspects. Temporal aspects pertain to the occurrence of incidents during a specific time of day or – on a larger scale – in a specific season. When analysing spatial aspects, it is important to take into account the layout of tram tracks, as different layouts may favour specific types of incidents [23]. The road design [12] and associated factors are also very important spatial aspects. A different method [24] of analysis of incidents involving trams assumes taking into account five groups of causes of incidents: human factor, vehicle, road, traffic and surroundings.

The main objective of the research was to present a spatial-temporal approach to the analysis of incidents at intersections of tram tracks with roadways, that enables identification of the causes of occurrence of incidents in such locations. Based on the identified causes of incidents in specific locations, it is possible to propose different solutions (pertaining to infrastructure, traffic organisation or other aspects) that may lead to a decrease in the number of incidents and, therefore, contribute to shaping of a safe transport system.

2. METHOD OF TRAFFIC SAFETY ANALYSIS AT THE INTERSECTIONS OF ROADWAYS AND TRAM TRACKS

The research focuses on incidents occurring at the intersections of roadways with tram tracks. The aim of the proposed analysis is to determine the factors which have the greatest influence on the occurrence of the incidents in such locations. The results obtained based on the proposed method should enable determination of the necessary actions to be taken to increase the level of safety. Fig.1 presents a general data processing scheme of the analysis of ways to reduce the risk of incidents at intersections of roadways with tram tracks. The developed method assumes the use of available databases of incidents and topography for the analysed area. The data about incidents should encompass at least five previous years. The data about the topography should enable visualisation of roadways, tram tracks and intersections.

The analysis, in general, covers two fields: spatial and temporal. The indicated analyses should be performed

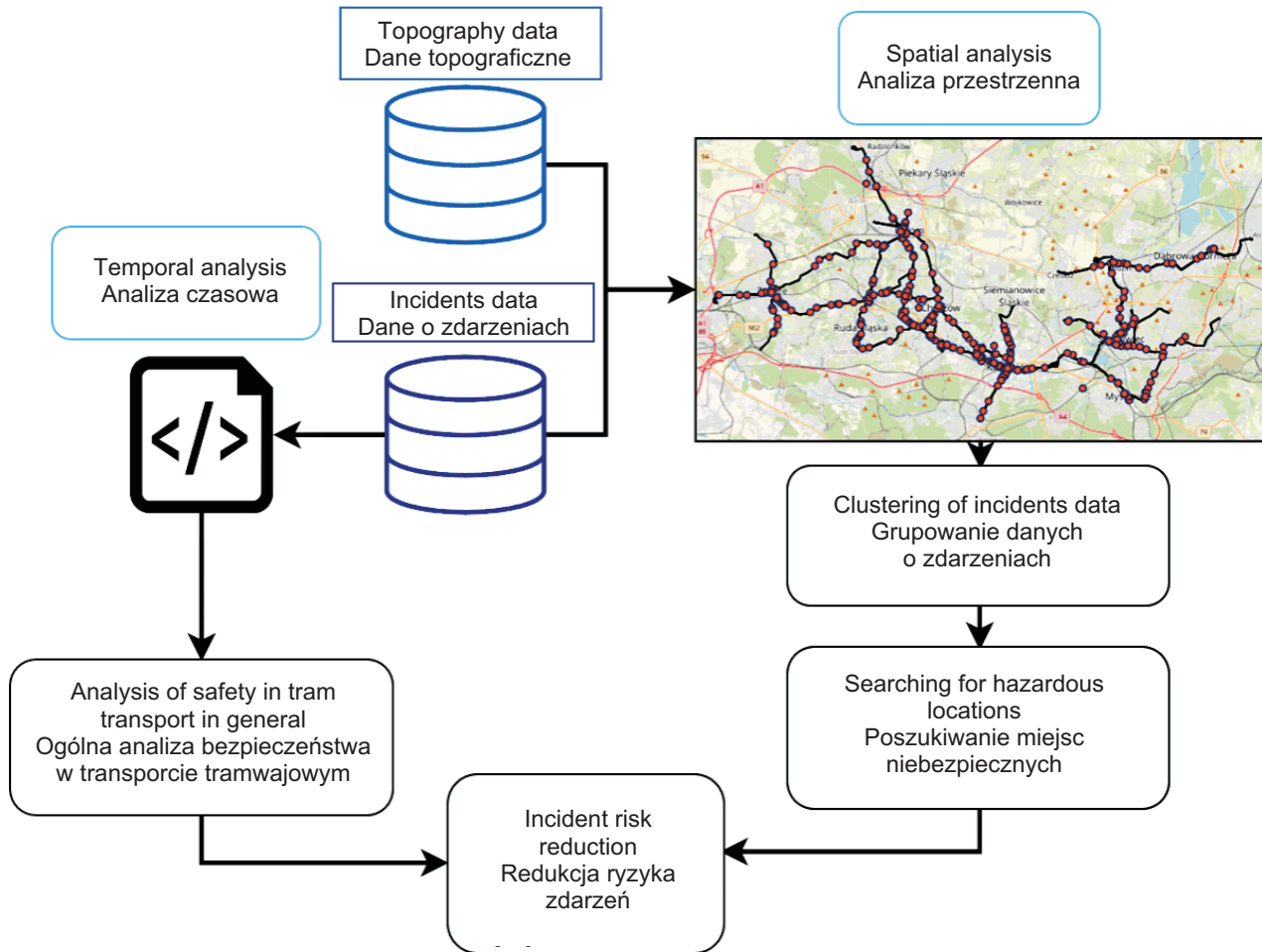


Fig. 1. General scheme of the method of incident risk reduction at the intersections of roadways and tram tracks
 Rys. 1. Ogólny schemat metody redukcji ryzyka zdarzeń na skrzyżowaniach tras tramwajowych z ruchem kołowym

danych zawierających informacje o zdarzeniach i topografii dla analizowanego obszaru. Dane dotyczące zdarzeń powinny obejmować co najmniej pięć poprzednich lat. Dane dotyczące topografii powinny umożliwiać wizualizację dróg, tras tramwajowych i skrzyżowań.

Analiza, najogólniej rzecz ujmując, obejmuje dwa obszary: przestrzenny i czasowy. Wskazane analizy należy wykonać w oparciu o dwie opisane bazy danych po niezbędnym przygotowaniu danych. Analiza czasowa zakłada wykorzystanie pliku skryptowego, umożliwiającego uzyskanie wszystkich niezbędnych opisów poszczególnych zdarzeń z baz danych. Konieczne jest, aby wszystkie zdarzenia były opisane w ten sam sposób. Kolejnym krokiem, po wstępnym przetworzeniu danych, jest przygotowanie zbioru danych, zawierającego przede wszystkim dokładne informacje na temat liczby zdarzeń w ciągu roku, które umożliwiają ogólną analizę bezpieczeństwa transportu tramwajowego.

based on the two described databases after necessary data preparation. Temporal analysis assumes using a script file that enables obtaining all the necessary descriptions of individual incidents from databases. It is essential to have all the incidents described in the same way. The next step, after pre-processing of the data, is the preparation of a data set, containing, primarily, exact information on the number of incidents per year that enables a general safety analysis of the tram transport.

Spatial analysis assumes using geographic information system (GIS) data and software (e.g. QGIS [25]) for their processing. Input data for spatial analysis may come both from open data sites (e.g. OpenStreetMap [26]) and from the national transport institution or police databases. The data should be written in database with coordinates, enabling their visualisation and processing with GIS software. The next step is clustering processing of the incident

Analiza przestrzenna zakłada wykorzystanie danych systemu informacji geograficznej (GIS) oraz oprogramowania (np. QGIS [25]) do ich przetwarzania. Dane wejściowe do analiz przestrzennych mogą pochodzić zarówno z otwartych serwisów danych (np. OpenStreetMap [26]), jak i z baz danych krajowych instytucji transportowych lub policji. Dane powinny być zapisane w bazie danych wraz ze współrzędnymi, co umożliwi ich wizualizację i przetwarzanie za pomocą oprogramowania GIS. Kolejnym krokiem jest grupowanie danych o zdarzeniach umożliwiające wyszukiwanie miejsc niebezpiecznych. W zależności od danych i oprogramowania proces ten może przebiegać w różny sposób, np. dla QGIS może to być agregacja, metoda k-średnich lub algorytm grupowania GRASS [27]. Wyniki analizy umożliwiają wizualizację miejsc niebezpiecznych.

Na Rys. 2 przedstawiono opis analiz niezbędnych do opracowania możliwych rozwiązań w zakresie poprawy poziomu bezpieczeństwa dla każdego zidentyfikowanego miejsca niebezpiecznego. Analiza zdarzeń na skrzyżowaniach tras tramwajowych z ruchem kołowym powinna być przeprowadzona zarówno dla całego analizowanego obszaru, jak i dla każdego zidentyfikowanego miejsca niebezpiecznego.

W przypadku analizy przestrzennej dla całego obszaru konieczne jest zidentyfikowanie każdego miejsca, w którym wystąpiło co najmniej jedno zdarzenie [28]. Następnie, po zaklasyfikowaniu każdego miejsca do jednej z odpowiednich grup (np. skrzyżowania i miejsca niebędące skrzyżowaniami, podzielone dalej na podkategorie ze względu na typ skrzyżowania) możliwe jest uwzględnienie tylko wybranych typów skrzyżowań (np. skrzyżowania bez sygnalizacji świetlnej) i ich analiza w aspekcie przestrzennym. Umożliwia to identyfikację miejsc o wybranym typie, które stanowią szczególne zagrożenie. Analiza taka może być również przeprowadzona dla każdej ze zidentyfikowanych jednostek terytorialnych w analizowanym obszarze (np. miastach, jeśli sieć tramwajowa zlokalizowana jest w kilku sąsiednich miastach, jak w przypadku Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii (GZM), lub dzielnic, jeśli sieć tramwajowa funkcjonuje w jednym mieście). Podczas analizy przestrzennej prowadzonej dla każdego zidentyfikowanego miejsca niebezpiecznego ważne jest określenie wszystkich możliwych punktów kolizji, a następnie wyznaczenie dokładnej lokalizacji każdego zdarzenia w odniesieniu do zidentyfikowanych punktów kolizji.

Analiza przyczyn każdego zdarzenia powinna być przeprowadzona pod kątem kilku aspektów:

- błędy użytkowników – przyczyny popełniania błędów w poszczególnych miejscach przez kierujących pojazdami kołowymi i tramwajami,

data for searching for hazardous locations. Depending on the data and software, the clustering process may vary, e.g. for QGIS it could be aggregation, k-means procedure or GRASS clustering algorithm [27]. The results of the analysis enable visualisation of the hazardous locations.

Fig. 2 presents a description of the analyses necessary for development of possible solutions for improvement of safety level for each identified hazardous location. The analysis of incidents at intersections of tram tracks and roadways should be conducted both for the entire analysed area and for each identified hazardous location.

In the case of spatial analysis for the entire area it is necessary to identify every location where at least one incident has occurred [28]. Subsequently, after classification of each location into one of appropriate groups (e.g. intersections and non-intersections, divided further into subcategories pertaining to the type of intersection) it is possible to consider only selected types of intersections (e.g. uncontrolled intersections) and analyse them in spatial aspects. It enables identification of locations of chosen types that are of particular hazard. Such analysis may be also conducted for each of the identified territorial units in the area of analysis (e.g. cities, if the tram network is located in several neighbouring cities, as in the case of the Metropolis GZM (Metropolitan Association of Upper Silesia and Dąbrowa Basin), or districts, if the tram network operates in one city). During spatial analysis conducted for each identified hazardous location, it is important to determine all possible points of collision and subsequently to establish the exact location of each incident in regard to the identified points of collision.

The analysis of the causes of each incident should be conducted pertaining to several aspects:

- users' mistakes – the reasons for making mistakes in the particular locations by drivers of road vehicles and trams,
- infrastructure – identification of damage or failure of infrastructure resulting in incidents,
- traffic organisation – verifying the transparency of organisational solutions and their unambiguity in terms of interpretation by drivers.

Temporal analysis encompasses aspects of variability in the number of incidents. It is important to analyse the manner in which the number of incidents has been changing in the entire area in each year of the analysis, then in each month and, ultimately, in the chosen periods of the day. Such attitude enables identification of the most hazardous months and periods of the day. Similar analysis should be conducted for each identified hazardous location.

- infrastruktura – identyfikacja uszkodzeń lub awarii infrastruktury powodujących zdarzenia,
- organizacja ruchu – sprawdzenie przejrzystości rozwiązań organizacyjnych i ich jednoznaczności w interpretacji przez kierowców.

The spatial-temporal analysis should lead to conclusions about the causes of incidents for the entire area as well as for each of the identified hazardous locations. Development of solutions that may improve the level of safety at intersections of tram tracks and roadways based on the results is indispensable.

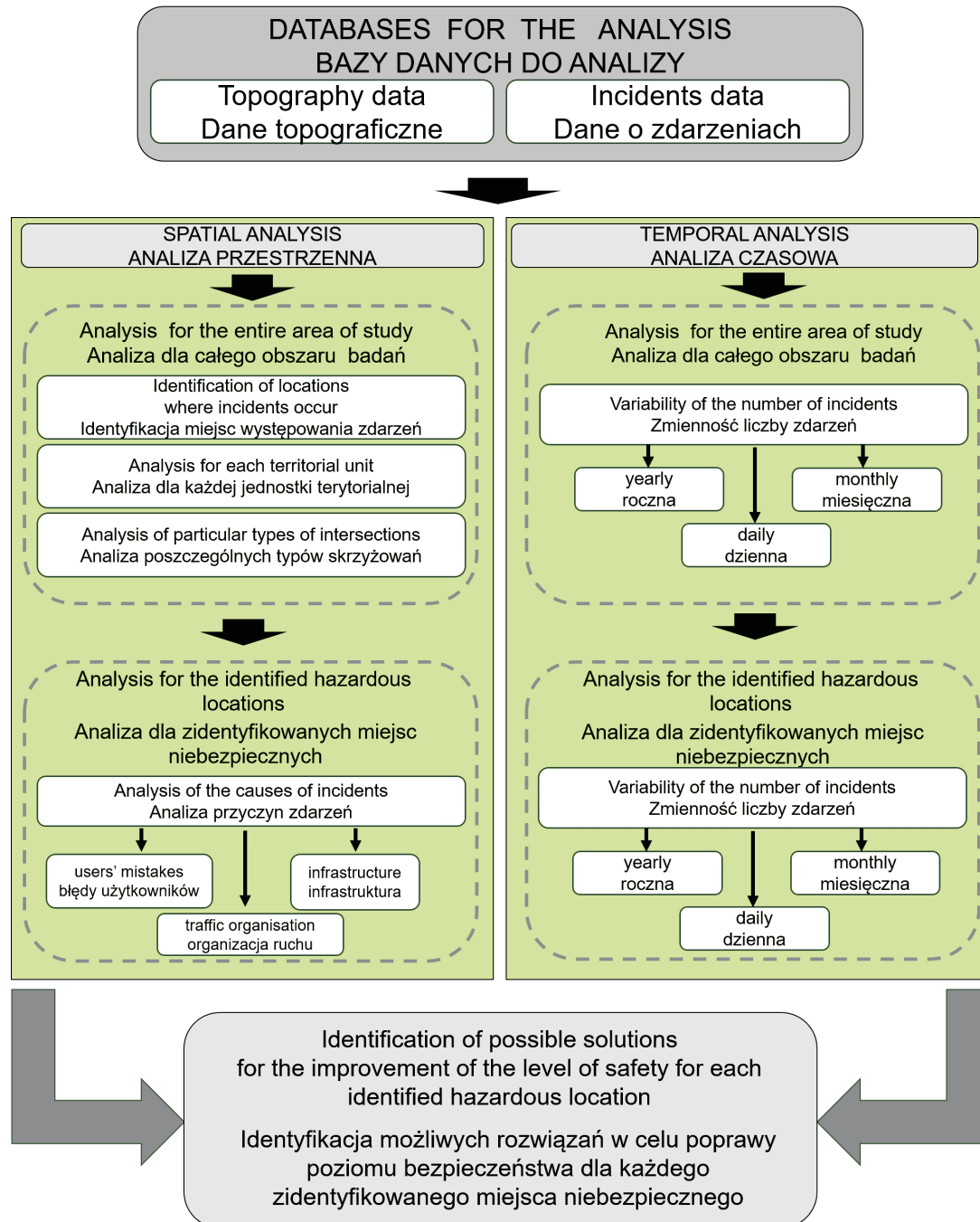


Fig. 2. Step-by-step spatial-temporal analysis of incidents at the intersections of tram tracks and roadways
Rys. 2. Czasowo-przestrzenna analiza zdarzeń na skrzyżowaniach tras tramwajowych z ruchem kołowym

Analiza czasowa obejmuje aspekty zmienności liczby zdarzeń. Ważne jest, aby przeanalizować sposób, w jaki zmieniała się liczba zdarzeń na całym obszarze w każdym roku analizy, następnie w poszczególnych miesiącach i w końcu w wybranych okresach doby. Takie podejście umożliwia identyfikację najbardziej niebezpiecznych miesięcy i pór dnia. Podobna analiza powinna być przeprowadzona dla każdego zidentyfikowanego miejsca niebezpiecznego.

Analiza przestrzenno-czasowa powinna prowadzić do wniosków na temat przyczyn zdarzeń zarówno dla całego obszaru, jak i dla każdego ze zidentyfikowanych miejsc niebezpiecznych. Wyniki badań dają podstawę do opracowania rozwiązań, które mogą poprawić poziom bezpieczeństwa na skrzyżowaniach tras tramwajowych z ruchem kołowym.

Proponowana metoda analizy nie wymaga wykorzystania danych o natężeniu ruchu w analizowanych lokalizacjach. Niebezpieczne miejsca są identyfikowane wyłącznie na podstawie danych o zdarzeniach drogowych. Następnie, na podstawie wyników analizy przestrzenno-czasowej, określone są potencjalne przyczyny zdarzeń. Wyniki analizy przeprowadzonej według przedstawionej metody mogą być później wykorzystane podczas bardziej szczegółowej analizy, która powinna obejmować informacje o wielkości natężenia i strukturze ruchu. Uzyskanie takich danych może jednak wymagać dodatkowych pomiarów ruchu, szczególnie w przypadku małych skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej. Dlatego też proponowana metoda umożliwia identyfikację miejsc niebezpiecznych na podstawie dostępnych informacji. Inne czynniki, które powinny być uwzględnione w bardziej złożonej analizie dotyczą charakterystyki ruchu tramwajowego, analizy widoczności, drogi hamowania, stref decyzyjnych, itp.

3. WYNIKI STUDIUM PRZYPADKU

3.1. POZYSKIWANIE I PRZETWARZANIE DANYCH

Studium przypadku dla opracowanej metody zostało przeprowadzone dla obszaru Metropolii GZM, która położona jest na południu Polski, w centralnej części województwa śląskiego. Łączna liczba mieszkańców Metropolii wynosi około 2,3 mln [29]. Na Rys. 3 przedstawiono położenie obszaru Metropolii GZM na tle Polski i województwa śląskiego. W analizie wykorzystano dane o zdarzeniach drogowych z udziałem tramwajów i pojazdów kołowych na obszarze Metropolii GZM.

Na analizowanym obszarze trasy tramwajowe przebiegają przez 13 miast. W Tabl. 1 przedstawiono liczbę zdarzeń oraz długość tras dla poszczególnych miast. Warto zwrócić uwagę, że liczba zdarzeń jest stosunkowo nieregularna i może wahać się od kilku (tj. 7 zdarzeń w 2016 r.

The proposed method of analysis does not require the use of data about traffic intensity in the analysed locations. Hazardous locations are identified solely on the basis of data about traffic incidents. Subsequently, possible causes of incidents are determined based on the findings of spatial-temporal analysis. The results of the analysis conducted according to the presented method may be used afterwards during a more detailed analysis that should encompass information about traffic volume and traffic structure. However, obtaining of such data may require additional traffic measurements, especially in the case of small intersections without traffic lights. Therefore, the proposed method enables identification of hazardous locations based on accessible information. Other factors that should be included in a more complex analysis pertain to tram traffic characteristics, analysis of visibility, stopping distance, decision zones, etc.

3. RESULTS OF THE CASE STUDY

3.1. DATA ACQUIREMENT AND PROCESSING

The case study for the developed method was applied in the area of the Metropolis GZM, which is located in the south of Poland in the central part of Silesian Voivodship. The total population of the Metropolis is about 2.3 million [29]. Fig. 3 shows the location of the area of the Metropolis GZM within Poland and Silesian Voivodship. In the analysis, data on traffic incidents involving trams and road vehicles in the area of Metropolis GZM were used.

In the analysed area, tram tracks pass through 13 cities. Table 1 presents the number of incidents and track length for each city. It is worth noting that the number of incidents is diverse and may vary from several (i.e. 7 incidents in 2016 in Świętochłowice) to almost 30 (27 incidents in 2017 in the same city).

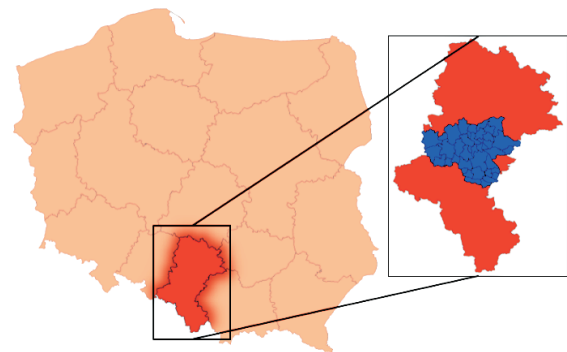


Fig. 3. The location of the area of the Metropolis GZM within Poland and Silesian Voivodship

Rys. 3. Lokalizacja obszaru Metropolii GZM na tle Polski i województwa śląskiego

w Świętochłowicach) do prawie 30 (27 zdarzeń w 2017 r. w tym samym mieście).

Table 1. The number of all incidents involving trams and road vehicles divided according to cities
Tablica 1. Liczba wszystkich zdarzeń z udziałem tramwajów i pojazdów kołowych z podziałem na miasta

City Miasto	Length of tram tracks [km] Długość torów tramwajowych	Year / Rok					Total Suma
		2015	2016	2017	2018	2019	
Będzin	29	2	3	4	5	4	18
Bytom	50	20	13	25	11	10	79
Czeladź	26	0	0	0	0	0	0
Chorzów	5	17	4	16	7	21	65
Dąbrowa Górnicza	14	4	4	3	3	4	18
Gliwice	5	2	1	1	0	0	4
Katowice	113	33	18	34	23	40	148
Mysłowice	4	9	2	5	1	4	21
Ruda Śląska	14	12	5	7	9	11	44
Siemianowice Śląskie	1	0	0	0	0	0	0
Sosnowiec	45	17	12	21	10	17	77
Świętochłowice	19	20	7	27	9	16	79
Zabrze	44	20	10	18	6	11	65

Dane niezbędne do przeprowadzenia badania zostały pozyskane z dwóch źródeł:

- OpenStreetMap – zbiór danych dotyczących dróg i tras tramwajowych,
- SEWIK – baza danych o zdarzeniach Komendy Głównej Policji [30].

Dane z OpenStreetMap zostały pobrane ze strony internetowej [26] i zawierają surowe dane z serwisu, które mogą być przydatne po ich wstępnym przetworzeniu. Dane z bazy SEWIK zostały wyeksportowane z bazy danych w postaci pliku XML, który wymaga przetworzenia, aby mógł być przydatny do analizy bezpieczeństwa. Zakres danych historycznych obejmował ostatnie pięć lat. Należy jednak zaznaczyć, że baza SEWIK nie zawiera wszystkich zdarzeń, które miały miejsce – a tylko te, które zgłoszono na policję. Drobne incydenty, które zostały rozwiązane na miejscu zdarzenia, bez udziału policji, nie są zamieszczane w bazie danych SEWIK. Wizualizacja wyników analiz przestrzennych została wykonana za pomocą oprogramowania typu open source QGIS, które umożliwia pracę z danymi GIS.

3.2. BEZPIECZEŃSTWO NA SKRZYŻOWANIACH TRAS TRAMWAJOWYCH Z RUCHEM KOŁOWYM – ANALIZA CZASOWA

Analiza czasowa polega na analizie statystycznej występowania zdarzeń. Tabl. 2 przedstawia całkowitą liczbę zdarzeń

The necessary data for this study were obtained from two sources:

- OpenStreetMap – for data concerning roadways and tram tracks,
- SEWIK – the Polish police headquarters database of incidents [30].

The data from the OpenStreetMap were downloaded from the website [26] and contain raw data from the service, which could be useful after pre-processing operation. The data from SEWIK were exported from database in the XML file type, which needs processing operation to be useful for safety analysis. The range of historical data covered the last five years. However, it is important to point out that SEWIK does not contain all incidents that took place – only those that were reported to the police. Minor incidents that were resolved at the scene, without the involvement of the police, are not registered in the SEWIK database. Visualisation of the results from spatial analysis was performed with the open source software QGIS, which enables working with GIS data.

3.2. SAFETY AT INTERSECTIONS OF TRAM TRACKS AND ROADWAYS – TEMPORAL ANALYSIS

The temporal analysis consists in statistical analysis of incident occurrence. Table 2 shows the total number of incidents in the previous type years, divided according to the

w ciągu ostatnich pięciu lat w podziale na rodzaj skrzyżowania. Do większości zdarzeń dochodziło na skrzyżowaniach wyposażonych tylko w znaki drogowe, skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną oraz na odcinkach dróg pomiędzy skrzyżowaniami. Wynika to z faktu, że większość skrzyżowań tras tramwajowych z ruchem kołowym posiada organizację sterowaną, tj. sygnalizację świetlną lub znaki drogowe. Na analizowanym obszarze występuje niewielka liczba skrzyżowań równorzędnych. Liczba zdarzeń różni się w zależności od roku i nie stwierdzono wyraźnej tendencji. Ponieważ celem badań jest analiza skrzyżowań tras tramwajowych z ruchem kołowym, dalsza część przeprowadzonej analizy czasowej dotyczy tylko zdarzeń na skrzyżowaniach. Pierwszy etap analizy pokazuje, że ważne jest bardziej szczegółowe zbadanie skrzyżowań z sygnalizacją świetlną i znakami drogowymi. Na uwagę zasługuje fakt, że prawie 10% wszystkich zdarzeń na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną miało miejsce, gdy sygnalizacja była nieczynna (z powodu usterki). Biorąc pod uwagę, że takie przypadki są stosunkowo rzadkie, wydaje się, że skrzyżowania z sygnalizacją świetlną stają się znacznie bardziej niebezpieczne, gdy przestaje ona działać.

type of the intersection. The majority of the incidents occurred at intersections with road signs only, intersections with traffic lights and road segments between intersections. It is due to the fact that most intersections of roadways and tram tracks have controlled organisation, i.e. traffic lights or road signs. In the analysed area there is a low number of uncontrolled intersections. The number of incidents differs depending on the year, and no clear tendency was found. Because the aim of the research is the analysis of intersections of tram tracks and roads, the rest of the performed temporal analysis pertains only to incidents at intersections. The first step of the analysis shows that it is important to investigate intersections with traffic lights and road signs in a more detailed manner. It is noteworthy that almost 10% of all incidents at intersections with traffic lights took place when the lights were out of operation (due to defects). Given that such instances are relatively rare, it seems that intersections with traffic lights become much more hazardous once traffic lights stop working.

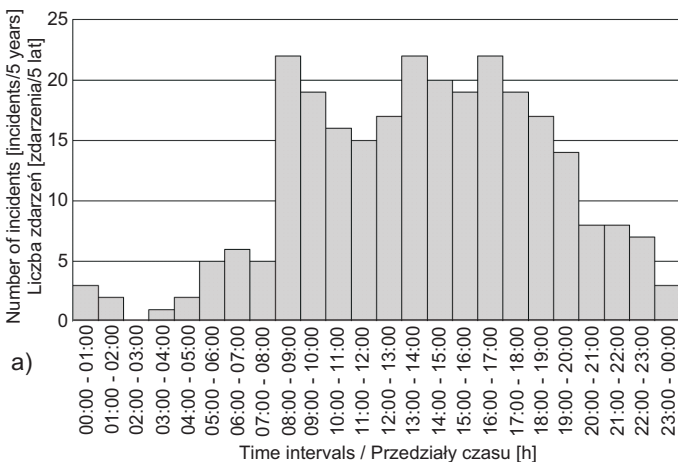
Table 2. The number of all incidents involving trams and road vehicles divided according to the location
Tablica 2. Liczba wszystkich zdarzeń z udziałem tramwajów i pojazdów kołowych z uwzględnieniem lokalizacji zdarzeń

Incident location Miejsce wystąpienia zdarzenia		Year / Rok					Total Suma
		2015	2016	2017	2018	2019	
Uncontrolled intersections Skrzyżowania bez sygnalizacji świetlnej		0	0	0	1	1	2
Intersections with traffic lights Skrzyżowania z sygnalizacją świetlną	functioning działająca	32	13	26	14	18	103
	inoperative nie działająca	1	4	3	0	2	10
Roundabouts / Ronda		6	8	10	6	5	35
Road signs only Skrzyżowania tylko ze znakami drogowymi		29	16	35	17	25	122
Roads segments between intersections Odcinki dróg między skrzyżowaniami		88	38	87	46	87	346
Total / Łącznie		156	79	161	84	138	618

Na Rys. 4 przedstawiono wykresy z liczbą zdarzeń w kolejnych godzinach doby oraz w kolejnych miesiącach, z podziałem na kategorie zawilgocenia drogi i oświetlenia. Częstość występowania zdarzeń odpowiada typowemu rozkładowi natężenia ruchu. Rysunek przedstawia również analizę wpływu dwóch czynników – rodzaju warunków oświetleniowych i wilgotności nawierzchni – na występowanie zdarzeń w ujęciu miesięcznym. Największa liczba zdarzeń przy mokrej nawierzchni miała miejsce od października do grudnia. Lód i kałuże na nawierzchni pojawiały się jako czynniki wpływu tylko w styczniu i grudniu. Większość analizowanych skrzy-

Fig. 4 shows graphs with the number of incidents in each hour of the day and number of incidents in each month, with the division into categories of road wetness and lighting. Frequency of occurrence of the incidents corresponds to the typical traffic flow distribution. An analysis of the influence of two factors – type of lighting conditions and surface wetness – on incident occurrence in terms of monthly distribution has been also presented in the figure. Most incidents with wet surface took place from October to December. Ice and puddles on the surface appeared as impact factors only in January and December. Most of the

zowań posiada oświetlenie drogowe, więc prawie nie było zdarzeń, które miały miejsce na nieoświetlonej drodze. Duża liczba zdarzeń w październiku mogła być spowodowana kilkoma czynnikami: mokrą nawierzchnią, zanieczyszczeniem torowiska tramwajowego oraz znaczną zmianą długości dnia w krótkim okresie (1 października – 11 h 38 min; 31 października – 9 h 41 min).



analysed intersections have road lamps, so there were nearly no incidents which happened on unlit road. The large number of incidents in October could have resulted from a few factors: wet surface, slippery rail and a significant change in the length of the day within a short period (1st October – 11h 38 min; 31st October – 9h 41 min).

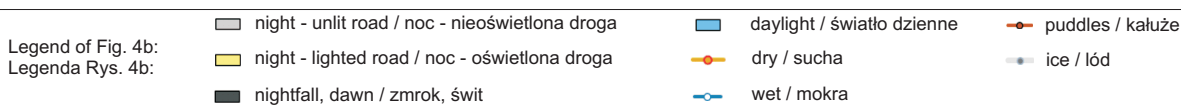
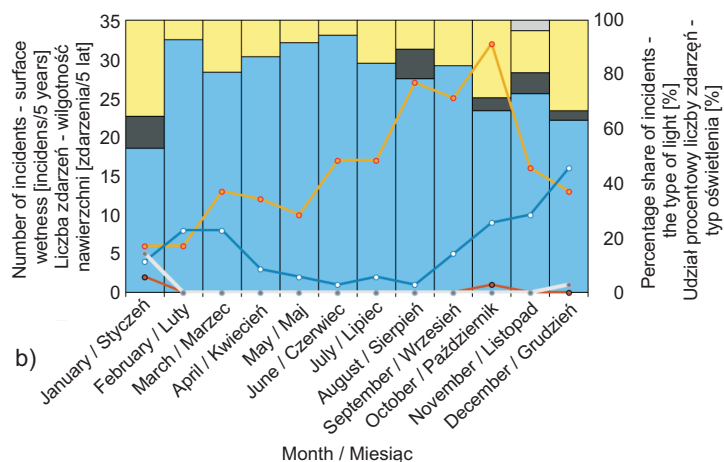


Fig. 4. The number of all incidents involving trams and road vehicles: a) in particular hours of the day and b) in particular months
Rys. 4. Liczba zdarzeń z udziałem tramwajów i pojazdów kołowych: a) w kolejnych godzinach doby oraz b) w kolejnych miesiącach

3.3. BEZPIECZEŃSTWO NA SKRZYŻOWANIACH TRAS TRAMWAJOWYCH Z RUCHEM KOŁOWYM – ANALIZA PRZESTRZENNA

Analizę przestrzenną przeprowadzono w oparciu o bazę danych SEWIK oraz OpenStreetMap. W pierwszym etapie dane zostały wstępnie przetworzone w celu ich wykorzystania w oprogramowaniu QGIS, co umożliwiło pracę na danych GIS. Pierwsze wyniki analizy przestrzennej zostały przedstawione na Rys. 5, pokazującym lokalizację wszystkich zdarzeń na mapie oraz oddzielnie dla tych przypadków, które miały miejsce na skrzyżowaniach.

Ważną analizą w aspekcie bezpieczeństwa jest poszukiwanie miejsc charakteryzujących się powtarzalnością zdarzeń. Na podstawie całkowitej liczby zdarzeń na każdym skrzyżowaniu wybrano dwie najbardziej niebezpieczne lokalizacje, które poddano dalszej, bardziej szczegółowej analizie.

3.3. SAFETY AT INTERSECTIONS OF TRAM TRACKS AND ROADWAYS – SPATIAL ANALYSIS

Spatial analysis was performed based on SEWIK and OpenStreetMap database. In the first step the data were pre-processed for use with the QGIS software, which enabled working on GIS data. The first results of the spatial analysis have been presented in Fig. 5, showing the locations of all incidents on map and separately for those that took place at intersections.

An important analysis in terms of safety is the search for places characterised by repetitiveness of incidents. Based on the total number of incidents at each intersection, two most hazardous locations were chosen for a more detailed further analysis.

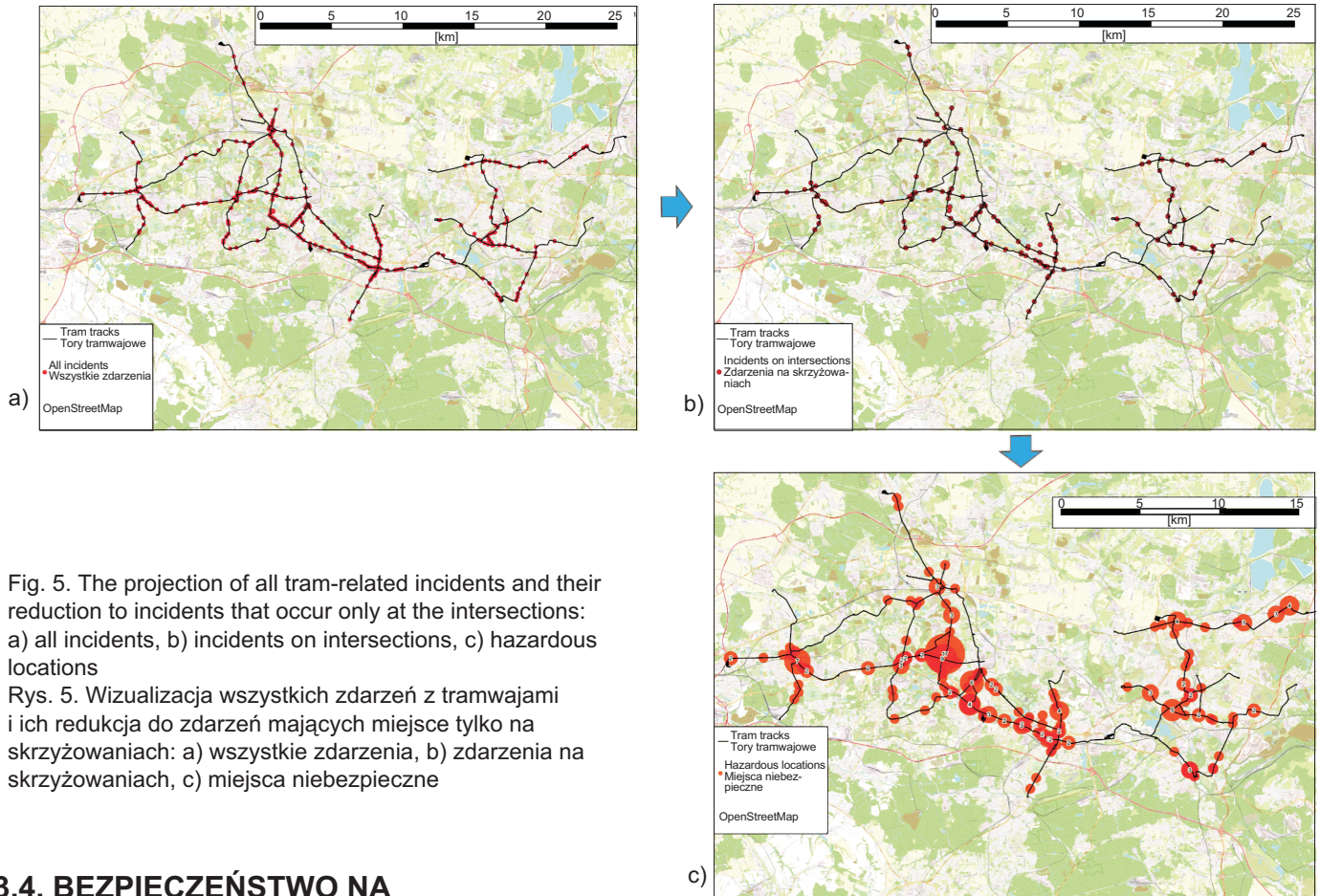


Fig. 5. The projection of all tram-related incidents and their reduction to incidents that occur only at the intersections: a) all incidents, b) incidents on intersections, c) hazardous locations

Rys. 5. Wizualizacja wszystkich zdarzeń z tramwajami i ich redukcja do zdarzeń mających miejsce tylko na skrzyżowaniach: a) wszystkie zdarzenia, b) zdarzenia na skrzyżowaniach, c) miejsca niebezpieczne

3.4. BEZPIECZEŃSTWO NA SKRZYŻOWANIACH TRAS TRAMWAJOWYCH Z RUCHEM KOŁOWYM W MIEJSCACH NIEBEZPIECZNYCH

Do analizy przestrzenno-czasowej wybrano dwie najbardziej niebezpieczne lokalizacje (o największej liczbie zdarzeń). Obie znajdują się w mieście Świętochłowice. Na Rys. 6a przedstawiono położenie miasta na mapie Metropolii GZM oraz wskazano miejsca niebezpieczne na mapie miasta z siecią tramwajową. Na podstawie przeprowadzonej analizy autorzy wyodrębnili dwa najbardziej niebezpieczne miejsca:

- miejsce A – 17 zdarzeń,
- miejsce B – 9 zdarzeń.

Dokładne lokalizacje tych dwóch skrzyżowań przedstawiono na rysunkach 6b i 6c. Miejsce A to skrzyżowanie 3-włotowe z torowiskiem tramwajowym położonym równolegle do drogi z pierwszeństwem przejazdu. Droga prostopadła do torów to droga podporządkowana. Miejsce B to skrzyżowanie 4-włotowe z ruchem sterowanym sygnalizacją świetlną. Ogólne schematy obu skrzyżowań z oznaczeniem pojazdów i kierunków jazdy przedstawiono na Rys. 7.

3.4. SAFETY AT INTERSECTIONS OF TRAM TRACKS AND ROADWAYS IN HAZARDOUS LOCATIONS

Two most hazardous locations (with the highest number of incidents) were chosen for the spatial-temporal analysis. Both are situated in Świętochłowice city. Fig. 6a shows the location of the city on the Metropolis GZM map and the indicated hazardous locations on the city map with tram network. Based on the analysis, the authors identified two most hazardous locations:

- location A – 17 incidents,
- location B – 9 incidents.

The exact locations of the two intersections are presented in Figs 6b and 6c. Location A is a 3-approach intersection with tram track located parallel to the road with the right of way. The road perpendicular to the tracks is the road without the right of way. Location B is a 4-approach intersection with traffic controlled by traffic lights. General schemes of both intersections with designation of vehicles and directions are presented in Fig. 7.

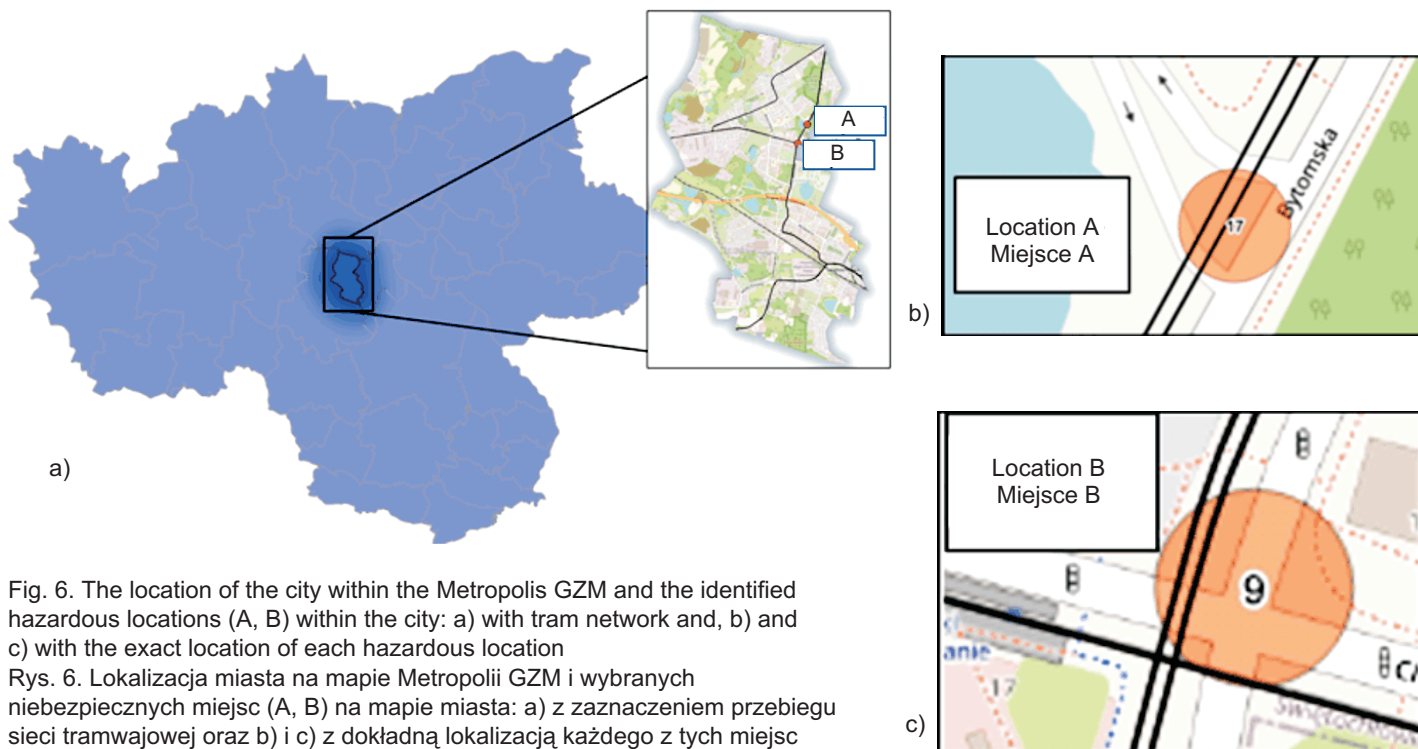


Fig. 6. The location of the city within the Metropolis GZM and the identified hazardous locations (A, B) within the city: a) with tram network and, b) and c) with the exact location of each hazardous location

Rys. 6. Lokalizacja miasta na mapie Metropolii GZM i wybranych niebezpiecznych miejsc (A, B) na mapie miasta: a) z zaznaczeniem przebiegu sieci tramwajowej oraz b) i c) z dokładną lokalizacją każdego z tych miejsc

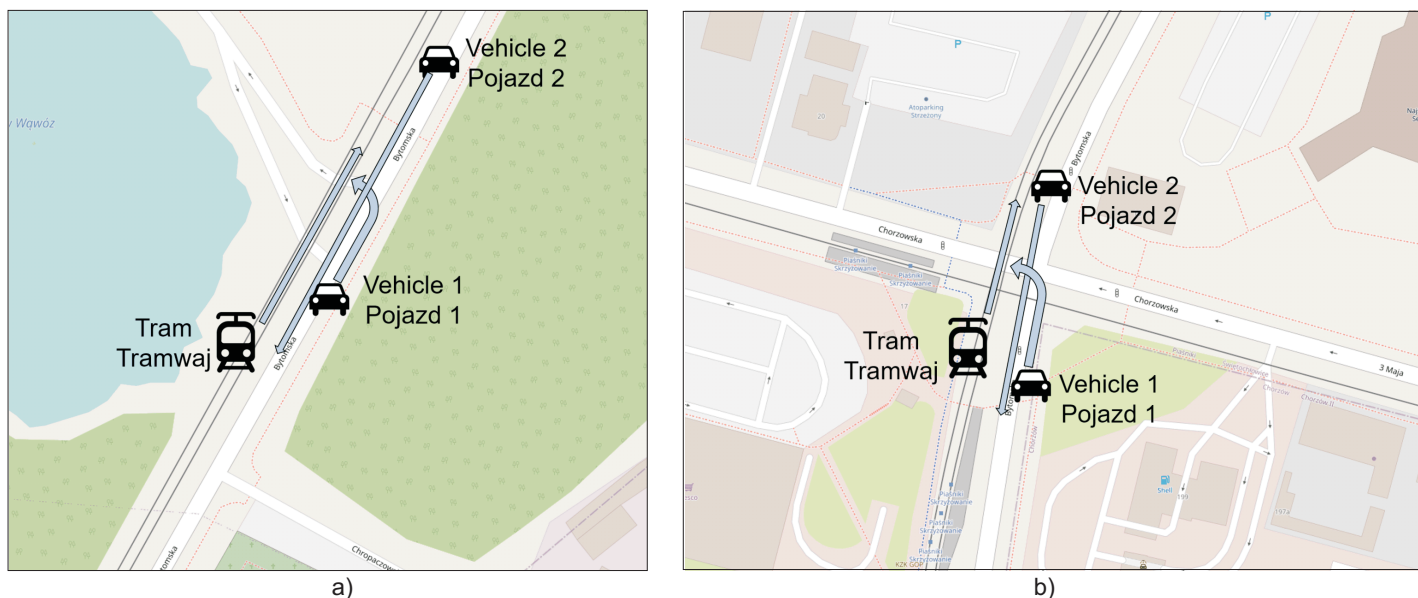


Fig. 7. General schemes of the intersections: a) location A and b) location B
Rys. 7. Schematy ogólne skrzyżowań: a) miejsce A oraz b) miejsce B

W przypadku miejsca A największe ryzyko związane jest ze skrętem w lewo wykonywanym przez pojazdy kołowe, który wymaga przejechania przez torowisko tramwajowe. Jak widać na Rys. 7a, pojazd 1 ustępuje pierwszeństwa pojazdowi 2, a także tramwajowi. Dlatego kierowcy muszą zwracać uwagę

In the case of location A, the highest risk is associated with the left turn made by road vehicles, which requires crossing the tram tracks. As presented in Fig. 7a, vehicle 1 gives way to vehicle 2 and to tram as well. Hence, the drivers have to pay attention to traffic in front of them and behind

na ruch przed nimi i za nimi. Jeśli natężenie ruchu jest znaczne, to kierowcy koncentrują się na znalezieniu akceptowalnej luki w strumieniu nadjeżdżających pojazdów i zwykle zapominają, że w czasie ich oczekiwania mógł nadjechać tramwaj. Taka organizacja ruchu przyczynia się do występowania zdarzeń, ponieważ wymaga od kierowców zamierzających skręcić w lewo skupienia uwagi na innych pojazdach znajdujących się przed nimi i za nimi.

Podobnie jak w przypadku miejsca A, również w przypadku miejsca B ryzyko związane jest głównie z manewrem skrętu. Jak pokazano na Rys. 7b, pojazd 1 wjeżdża na skrzyżowanie na zielonym świetle, ale ponieważ skręca, musi ustąpić pierwszeństwa nadjeżdżającym pojazdom, które jadą na wprost z przeciwnego kierunku. Kierowcy obserwują strumień nadjeżdżających pojazdów, szukając luki, co znacznie utrudnia im obserwację torów tramwajowych również za pojazdem, w celu sprawdzenia, czy na skrzyżowanie wjeżdża tramwaj.

Analiza czasowa obejmuje aspekty zmienności liczby zdarzeń. W Tabl. 3 przedstawiono liczbę zdarzeń w każdej lokalizacji i w każdym roku analizy. Jak wynika z tego zestawienia, tylko w jednym roku (2017) liczba zdarzeń w miejscu A była większa niż 3. Może to sugerować istnienie czynników, które nasilały występowanie zdarzeń w danym roku (np. objazdy zwiększające natężenie ruchu). W przypadku miejsca B liczba zdarzeń była większa niż 3 w tym samym roku. Podobnie jak w przypadku miejsca A, może to również sugerować istnienie czynników, które przyczyniły się do wzrostu liczby zdarzeń w tym roku.

Table 3. The number of all incidents involving trams and road vehicles in location A and B in the analysed years
Tablica 3. Liczba wszystkich zdarzeń z udziałem tramwajów i pojazdów kołowych w miejscach A i B w poszczególnych latach analizy

Year Rok	Number of incidents in location Liczba zdarzeń w miejscu	
	A	B
2015	1	1
2016	2	0
2017	9	6
2018	2	1
2019	3	1
Total / Łącznie	17	9

Liczbę zdarzeń w poszczególnych miesiącach w latach 2015-2019 przedstawia Tabl.4. Jak widać, większość zdarzeń w miejscu A miała miejsce jesienią lub wczesną zimą, kiedy warunki oświetleniowe są najbardziej wymagające. Innym czynnikiem, który mógł przyczynić się do większej liczby

them. If the traffic intensity is significant, then drivers focus on finding an acceptable gap in the stream of oncoming traffic, and they usually forget that the tram may have arrived during their wait. Such traffic organisation contributes to occurrence of incidents, as it requires drivers who are about to make a left turn to focus on other vehicles in front of them and behind them.

Similarly to location A, in the case of location B the risk is also associated mostly with the turn manoeuvre. As presented in Fig.7b, vehicle 1 enters the intersection when the signal is green, however, because it is turning, it has to give way to the oncoming vehicles that go forward from the opposite direction. Drivers observe the stream of oncoming vehicles, looking for an acceptable gap, which significantly obstructs their capability of observing tram tracks behind the vehicle as well, in order to verify if there is a tram entering the intersection.

The temporal analysis encompasses the variability in the number of incidents. Table 3 presents the number of incidents in each location and in each year of analysis. According to the table, there was only one year (2017) with the number of incidents in location A greater than 3. It may suggest existence of factors that intensified the occurrence of incidents that year (e.g. detours that increased traffic intensity). In the case of location B the number of incidents was greater than 3 in the same year. Similarly to location A, it may also suggest existence of factors that contributed to the increase in the number of incidents that year.

The number of incidents in each month in the years 2015-2019 is presented in Table 4. As visible in that table, the majority of incidents in location A occurred in autumn or early winter, when the lighting conditions are most demanding. Another factor that may have contributed to a greater number of incidents in these months is the so-called slippery rail. It is caused by contamination of tram tracks by fallen leaves, which leads to worse adhesion and, consequently, wheel slide during emergency braking. However, a few incidents took place also in summer, which suggests a more complex relation. In the case of location B the distribution of the number of incidents in each season is relatively even. There was 1 incident in spring, 3 in summer, and 2 in autumn and winter.

The number of incidents in each hour of the day in the 2015-2019 period is presented in Table 5. Based on the data from that table, it seems that most incidents in location A and B occurred in the period of the afternoon traffic peak (13:00-18:00). During this period the traffic intensity is the greatest and – in autumn and winter, the lighting conditions may be difficult.

wypadków w tych miesiącach, jest tzw. śliska szyna. Jest to zjawisko spowodowane zanieczyszczeniem torowiska tramwajowego opadłymi liśćmi, co prowadzi do pogorszenia przyczepności, a w konsekwencji do poślizgu kół podczas hamowania awaryjnego. Jednak kilka zdarzeń miało miejsce również latem, co sugeruje bardziej złożoną zależność. W przypadku miejsca B rozkład liczby zdarzeń w poszczególnych porach roku jest stosunkowo równomierny. Odnotowano 1 zdarzenie wiosną, 3 latem i 2 jesienią i zimą.

Liczbę zdarzeń w poszczególnych godzinach w ciągu doby w latach 2015-2019 przedstawia Tabl. 5. Na podstawie danych z tej tabeli można stwierdzić, że najwięcej zdarzeń w miejscu A i B miało miejsce w okresie popołudniowego szczytu komunikacyjnego (13:00-18:00). W tym okresie natężenie ruchu jest największe, a – jesienią i zimą – warunki oświetleniowe mogą być trudne.

Table 5. The number of all incidents involving trams and road vehicles in the analysed locations A and B in particular hours during 2015-2019.

Tablica 5. Liczba wszystkich zdarzeń z udziałem tramwajów i pojazdów kołowych w analizowanych miejscach A i B w poszczególnych godzinach w latach 2015-2019

Location / Miejsce A				Location / Miejsce B			
Hour Godzina	Number of incidents Liczba zdarzeń	Hour Godzina	Number of incidents Liczba zdarzeń	Hour Godzina	Number of incidents Liczba zdarzeń	Hour Godzina	Number of incidents Liczba zdarzeń
00:00-01:00	0	12:00-13:00	0	00:00-01:00	0	12:00-13:00	2
01:00-02:00	0	13:00-14:00	1	01:00-02:00	0	13:00-14:00	0
02:00-03:00	0	14:00-15:00	1	02:00-03:00	0	14:00-15:00	1
03:00-04:00	0	15:00-16:00	1	03:00-04:00	0	15:00-16:00	2
04:00-05:00	1	16:00-17:00	2	04:00-05:00	0	16:00-17:00	3
05:00-06:00	0	17:00-18:00	4	05:00-06:00	0	17:00-18:00	0
06:00-07:00	0	18:00-19:00	1	06:00-07:00	0	18:00-19:00	0
07:00-08:00	1	19:00-20:00	1	07:00-08:00	0	19:00-20:00	0
08:00-09:00	1	20:00-21:00	0	08:00-09:00	0	20:00-21:00	0
09:00-10:00	0	21:00-22:00	2	09:00-10:00	0	21:00-22:00	0
10:00-11:00	0	22:00-23:00	0	10:00-11:00	0	22:00-23:00	1
11:00-12:00	0	23:00-00:00	0	11:00-12:00	0	23:00-00:00	0

Biorąc pod uwagę wyniki analizy przestrzennej (przebieg tras tramwajowych i dróg, nieprawidłowości w infrastrukturze i organizacji ruchu) oraz czasowej (informacje o porach dnia, w których dochodzi do zdarzeń), można zaproponować kilka rozwiązań dla miejsca A. Jako że główną przyczyną zdarzeń jest konieczność koncentrowania się na dwóch przeciwnych kierunkach ruchu w okresach dużego natężenia ruchu i słabego oświetlenia, najważniejszą sugestią jest instalacja sygnali-

Table 4. The number of all incidents involving trams and road vehicles in the analysed locations A and B in particular months during 2015-2019

Tablica 4. Liczba wszystkich zdarzeń z udziałem tramwajów i pojazdów kołowych w analizowanych miejscach A i B w poszczególnych miesiącach w latach 2015-2019

Month Miesiąc	Number of incidents in location Liczba zdarzeń w miejscu	
	A	B
January / Styczeń	0	0
February / Luty	0	0
March / Marzec	3	0
April / Kwiecień	2	1
May / Maj	0	0
June / Czerwiec	0	1
July / Lipiec	1	2
August / Sierpień	4	0
September / Wrzesień	0	0
October / Październik	1	2
November / Listopad	3	0
December / Grudzień	3	2

Taking into account the results of spatial analysis (the alignment of tram tracks and roadways, infrastructural malfunctions and traffic organisation) as well as temporal analysis (information about periods of the day when incidents occur), it is possible to suggest several solutions for location A. As the main cause of incidents is the necessity to focus on two opposing directions of traffic in periods of high traffic intensity and poor lighting, the most important

zacji świetlnej, która działałaby albo przez cały dzień, albo tylko w czasie popołudniowego szczytu komunikacyjnego. Dla miejsca B również można zaproponować kilka rozwiązań. Najprostszym z nich jest wprowadzenie zmian w programie sygnalizacji świetlnej. Obecnie tramwaje i pojazdy kołowe wjeżdżają na skrzyżowanie w tej samej fazie, co stwarza potencjalny konflikt. Program można zmodyfikować tak, aby te grupy pojazdów wjeżdżały na skrzyżowanie oddzielnie.

4. WNIOSKI

Analizy zdarzeń drogowych powinny być wspomagane różnymi metodami i technikami badawczymi mającymi na celu zarówno identyfikację miejsc niebezpiecznych, jak i określenie przyczyn powstawania zdarzeń w tych miejscach. Jednak analizy bezpieczeństwa często ograniczają się do raportów okresowych, w których w formie tabelarycznej wskazywane są konkretne miejsca z dużą liczbą zarejestrowanych zdarzeń, bez głębszej analizy uwzględniającej specyfikę środowiskową i organizacyjną. Pomija się więc ważny aspekt przestrzenny, który powinien być elementem standardowego rozwiązania w takich przypadkach.

Zaproponowany schemat analizy zdarzeń na skrzyżowaniach tras tramwajowych z ruchem kołowym obejmuje dwa aspekty: czasowy i przestrzenny. Zapewnia więc kompleksowe spojrzenie na zagadnienie i prowadzi do identyfikacji przyczyn zdarzeń w takich lokalizacjach związanych z różnymi uwarunkowaniami. Na podstawie wyników analizy możliwe jest poszukiwanie rozwiązań, które mogą doprowadzić do zmniejszenia poziomu ryzyka, a tym samym sprawić, że skrzyżowania dróg z trasami tramwajowymi będą znacznie bezpieczniejsze.

Analiza prowadzona dla obszaru Metropolii GZM umożliwiła identyfikację przyczyn zdarzeń w przypadku dwóch najbardziej niebezpiecznych skrzyżowań dróg z trasami tramwajowymi zlokalizowanymi w mieście Świętochłowice. Dla każdej z nich określono możliwe rozwiązania.

Proponowaną metodę można rozszerzyć poprzez włączenie innych czynników, takich jak informacje o strukturze ruchu lub natężeniu ruchu. Rozwój inteligentnych systemów transportowych w obszarach miejskich może również znacznie ułatwić pozyskiwanie takich danych.

INFORMACJE DODATKOWE

Artykuł został zaprezentowany na XIII Międzynarodowej Konferencji BRD GAMBIT 2020 współfinansowanej przez program Science Excellence Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

suggestion is installation of traffic lights that would operate either for the entire day or only during the afternoon traffic peak. For location B a few solutions may be suggested as well. The easiest one is introducing changes to the traffic lights program. Currently trams and road vehicles enter the intersection in the same phase, thus creating a potential conflict. The program may be modified so that these groups of vehicles enter the intersection separately.

4. CONCLUSIONS

Analyses of road incidents should be supported by various research methods and techniques aimed at both identifying hazardous places and determining the causes of occurrences in these locations. However, safety analyses are often limited to the periodic reports, in which specific locations with a large number of registered incidents are indicated in tabular form, without a deeper analysis taking into account the specificity of environmental and organisational features. Thus, an important spatial aspect is omitted, which should be an element of the standard solution in such cases.

The proposed scheme of analysis of incidents at intersections of roadways and tram tracks includes two aspects: temporal and spatial. Therefore, it ensures comprehensive view of the issue and leads to identification of the causes of incidents in such locations associated with different conditions. Based on the results of the analysis, it is possible to search for solutions that may lead to reduction of the level of risk and therefore make intersections of roadways and tram tracks much safer.

The analysis conducted for the area of the Metropolis GZM enabled identification of causes of incidents for two most hazardous intersections of roadways and tram tracks located in the city of Świętochłowice. Possible solutions have also been determined for each location.

The proposed method may be expanded by inclusion of other factors such as information on traffic structure or traffic intensity. The development of intelligent transport systems in urban areas may also significantly facilitate acquisition of such data.

ACKNOWLEDGMENT

The article has been presented at the 13th International BRD GAMBIT 2020 Conference co-funded by the Science Excellence programme of the Ministry of Science and Higher Education.

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] *Jacyna M., Wasiak M., Lewczuk K., Kłodawski M.*: Simulation model of transport system of Poland as a tool for developing sustainable transport. *The Archives of Transport*, **31**, 3, 2014, 23-35
- [2] *Jacyna M., Żak J., Jacyna-Golda I., Merkisz J., Merkisz-Guranowska A., Pielecha J.*: Selected aspects of the model of proecological transport system. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, **20**, 3, 2013, 193-202
- [3] *Jacyna M., Wasiak M., Lewczuk K., Karoń G.*: Noise and environmental pollution from transport: decisive problems in developing ecologically efficient transport systems. *Journal of Vibroengineering*, **19**, 7, 2017, 5639-5655
- [4] *Sobota A., Żochowska R., Szczepański E., Golda P.*: The influence of tram tracks on car vehicle speed and noise emission at four-approach intersections located on multilane arteries in cities. *Journal of Vibroengineering*, **20**, 6, 2018, 2453-2468
- [5] *Banister D.*: The trilogy of distance, speed and time. *Journal of Transport Geography*, **4**, 2011, 950-959
- [6] *Karoń G., Żochowska R., Sobota A., Soczówka P.*: Kształtowanie zrównoważonej mobilności w obszarach miejskich w ujęciu procesowym. *Annały inżynierii ruchu i planowania transportu. Planowanie ruchu a wyzwania lokalne* (red. Krych A.), **T.3, XII**, 2019, 77-96
- [7] *Żochowska R., Karoń G.*: Model kształtowania mobilności miejskiej w ujęciu systemowo-funkcjonalnym. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, seria Transport*, **120**, 2018, 471-480
- [8] *Sobota A., Karoń G., Żochowska R., Kłos M.J.*: Methodology for research on traffic safety at signalized intersections with countdown timers. *Scientific Journal of Silesian University of Technology, Series Transport*, **100**, 2018, 191-201
- [9] *Żochowska R., Karoń G.*: ITS services packages as a tool for managing traffic congestion in cities, in: *Intelligent Transportation Systems - Problems and Perspectives* (ed. Śładkowski A., Pamuła W.). Springer-Verlag, Series Studies in Systems, Decision and Control, **32**, 2016, 81-103
- [10] *Favre B.*: Introduction to sustainable transport. *ISTE*, 2014
- [11] *Ko Y.D., Jang Y.J.*: Efficient design of an operation profile for wireless charging electric tram systems. *Computers & Industrial Engineering*, **127**, 2019, 1193-1202
- [12] *Naznin F., Currie G., Logan D.*: Key challenges in tram/streetcar driving from the tram driver's perspective-A qualitative study. *Transportation Research part F: traffic psychology and behaviour*, **49**, 2017, 39-48
- [13] *Budzyński M.*: Assessing Tram Infrastructure Safety Using the Example of the City of Gdańsk. *Journal of KONBiN*, **49**, 3, 2019, 293-322
- [14] *Mateja S., Wachnicka J.*: Zagrożenia bezpieczeństwa ruchu na przejazdach przez torowisko tramwajowe obok jezdni oraz środki poprawy. *Transport Miejski i Regionalny*, **5**, 2019, 10-16
- [15] *Bujak N., Grulkowski S., Zariczny J.*: Aspekty bezpieczeństwa w projektowaniu i budowie infrastruktury tramwajowej. *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej*, **25**, 2017, 87-105
- [16] *Elvik R.*: A survey of operational definitions of hazardous road locations in some European countries. *Accident Analysis & Prevention*, **40**, 2008, 1830-1835
- [17] *Hussein H.H., Eissa F.H.*: Identifying hazardous road locations in Saudi Arabia. *Global Advanced Research Journal of Engineering, Technology and Innovation*, **5**, 4, 2016, 45-56
- [18] *Islam S., Mannering F.*: Driver aging and its effect on male and female single-vehicle accident injuries: some additional evidence. *Journal of Safety Research*, **37**, 3, 2006, 267-276
- [19] *Żochowska R., Soczówka P.*: Method for identifying hazardous road locations at the intersection of tramlines and road traffic. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, **97**, 2017, 201-213
- [20] *Montella A.*: A comparative analysis of hotspot identification methods. *Accident Analysis & Prevention*, **42**, 2010, 571-581
- [21] *Washington S.*: Identifying black spots using property damage only equivalency (PDOE) factors. *16th Road Safety on Four Continents Conference*, Beijing, China, 2013
- [22] *Brcic D., Cosic M., Tepes K.*: An overview of tram safety in the city of Zagreb. *Planning and development of sustainable transport system - ZIRP 2013*, Zagreb, 2013, 68-76
- [23] *Guerrieri M.*: Tramways in urban areas: an overview on safety at road intersections. *Urban Rail Transit*, **4**, 4, 2018, 223-233
- [24] *Szmagliński J.K., Grulkowski S., Birr K.*: Identification of safety hazards and their sources in tram transport. *MATEC Web of Conferences*, **231**, 2018, 1-9
- [25] *QGIS Development Team*: QGIS geographic information system. Open source geospatial Foundation project, 2020
- [26] *OpenStreetMap Webpage*. <https://www.openstreetmap.org> (2020)
- [27] *Lemenkova P.*: K-means Clustering in R Libraries {cluster} and {factoextra} for Grouping Oceanographic Data. *International Journal of Informatics and Applied Mathematics*, **2**, 1, 2019, 1-26
- [28] *Platkiewicz K.*: Przestrzenne rozmieszczenie zdarzeń drogowych w Krakowie. *Przegląd Geograficzny*, **89**, 2, 2017, 291-317
- [29] *Soczówka P., Kłos M., Szyndler P., Surlej Ł.*: Analiza bezpieczeństwa ruchu drogowego w latach 2013-2017 na obszarze Górnośląsko-Zagłębiowskiej Metropolii. *Współczesne problemy transportu. Tom IV, Bezpieczeństwo Ruchu Drogowego*, 2019, 47-60
- [30] *Komendant Główny Policji: Dz. Urz. 2015.85, Zarządzenie nr 31 Komendanta Głównego Policji z dnia 22 października 2015 r. w sprawie metod i form prowadzenia przez Policję statystyki zdarzeń drogowych*