Journal of KONBiN 2020
Volume 50, Issue 3
DOI 10.2478/jok-2020-0048

Agnieszka TUBIS[1], Mateusz RYDLEWSKI[1], Marcin BUDZYŃSKI[2]
[1] *Wroclaw University of Science and Technology (Politechnika Wrocławska)*
[2] *Gdańsk University of Technology (Politechnika Gdańska)*

THE INDICATORS ASSESSMENT OF SAFETY AND FUNCTIONALITY OF TRAM LOOPS

Ocena wskaźnikowa bezpieczeństwa i funkcjonalności pętli tramwajowych

Abstract: *The new requirements set for tram loops mean that all stakeholders' expectations regarding their safety and functionality change. This creates a need for new tools for tram loop assessment, which are important interchanges, especially for people living outside the city limits or on their outskirts. The aim of the authors 'research is to create a indicators for assessing the safety and functionality of tram loops. Therefore, the article presents an overview of the research results in the area of tram transport and interchanges safety. Then the proposed indicator assessment for tram loops was described.*

Keywords: safety, public transport, tram loop

Streszczenie: *Nowe wymagania stawiane przed pętlami tramwajowymi sprawia, że zmieniają się oczekiwania wszystkich interesariuszy dotyczące ich bezpieczeństwa, ale również funkcjonalności. To powoduje zapotrzebowanie na nowe narzędzia oceny pętli tramwajowych, które stanowią istotne węzły przesiadkowe szczególnie dla osób dojeżdżających z miejscowości znajdujących się poza granicami miasta. Celem badań autorów jest stworzenie wskaźników do oceny bezpieczeństwa i funkcjonalności pętli tramwajowych. W artykule przedstawiono w związku z tym przegląd wyników badań z obszaru bezpieczeństwa transportu tramwajowego oraz węzłów przesiadkowych. Następnie opisano proponowaną ocenę wskaźnikową dla pętli tramwajowych.*

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, miejski transport zbiorowy, pętla tramwajowa

1. Introduction

The development of rail public transport in recent years has transformed the form of public transport loops in the urban area. Comparing the newly designed tram loops to those that were created a few years ago, there are clear differences in their parameters and functionality. Current tram loops are becoming intermodal transport hubs, whose task is to combine various means of public and individual transport. For this reason, these loops not only serve the technical service of public transport, but are also a point of exchange of individual transport vehicles for public transport. This process should also be supported by the availability of Park&Ride solutions and availability in close proximity to bus stops.

The new requirements set for the created tram loops mean that the expectations of their users regarding the infrastructure are changing. The direct area of tram loops also includes travel destinations such as commercial and service outlets, especially for pedestrians and cyclists. This situation additionally forces an increase in the level of functioning and security for this area.

There is also an increasing number of factors that threaten the safety of persons and vehicles moving in the loop area. At the same time, a review of the literature showed that there is a lack of studies on the safety and functionality of tram loops as an important element of the public transport system. Therefore, the purpose of the research presented in the article is to create indicators for assessing the safety and functionality of streetcar loops.

The review of research results in the area of tram transport safety and interchange node was presented first. Next, the proposed index assessment of tram loops (hereinafter referred to as ISFTL assessment - the Indicators of Safety and Functionality of Tram Loops) is described. This assessment focuses primarily on issues related to the safety and functionality of tram loops as intermodal interchanges, but also includes selected technical aspects. The summary indicated further research.

2. Research in the area of tram system security and interchange node functionality

The tram system is recognized as one of the more complex urban transport systems. Identifying threats in this system is extremely difficult, because this transport combines certain features of road and rail transport [5]. This is primarily due to the functioning of common elements of technical infrastructure. The European Union nomenclature regarding rail transport applies in the area of safety in tram transport. For this reason, the most commonly used safety indicators refer to [7]: the number of accidents broken down by type, the number of injured and fatalities, the number of suicides, the number of incidents preceding accidents related to the improper technical condition of the infrastructure and the

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

vehicle, as well as operator errors. The analysis of hazards in the tram system is usually carried out in accordance with the system [14]:

MAN - VEHICLE - ROAD TRAFFIC - ENVIRONMENT

For this reason, the factors that are a threat to tram traffic are often divided into the following categories [5]: (1) smoke, fire, explosion; (2) panic attack; (3) electric shock; (4) derailment; (5) passenger-related accidents; (6) collision between trams; (7) collision with another vehicle or pedestrian; (8) bumping into an obstacle on the tracks; (9) other. Today, terrorism is also added to these factors.

The subject of numerous studies in the area of tram transport safety are analyzes regarding tram derailment due to the poor condition of tracks (see for example [12]). However, researchers pay the most attention to the analysis of accidents involving trams and other road users. Therefore, these studies focus primarily on the functioning of tram transport in mixed road traffic that occurs in urban areas. An example is the research described in [11]. Farrun stated in the presented results that the most common cause of accidents involving trams in the United States is a car crossing a tram route (passing the track without due care). Other researchers, such as [6], in their analyzes assessed the risk of tram accidents not only involving cars, but also with pedestrians and cyclists. Hedelin and others in their research analyzed injuries that were the result of tram accidents that took place in Sweden [13]. This team stated that pedestrians were the most-injured category of participants in these accidents.

Therefore, more and more attention is focused on pedestrians in research on the safety of tram transport [15]. Passenger exchange zones are particularly important. Therefore, a large number of publications deal with pedestrian safety at tram stops. These aspects were analyzed, among others in Australia [8, 9, 10], Germany [2] and Switzerland [3, 15]. The results of the work presented below are a continuation of research of authors on safety and operation of tram stops in Poland [19]. At the same time, a review of the literature showed that there is currently a lack of studies devoted solely to safety at tram loops, which are also a place of passengers exchange.

It should also be noted that interchanges are considered key locations for passengers using public transport. On the one hand, they allow passengers to travel by various modes of transport and reach destinations where there are no direct connections. On the other hand, they require additional effort on the part of passengers, there is also uncertainty about continuing the journey, a waste of time to move around the interchange or because of waiting for another vehicle. [4] Therefore, in the planning and organization of public transport, these nodes should receive high priority [17]. For this reason, projects financed by the European Union are implemented. The purpose of these projects is to determine the requirements for proper organization and ensure the required functionality and security of interchange places. Examples are [4]:

- NODES (*New tools for design and operation of urban transport interchanges*) – as part of the project, methods and tools were developed to support the planning and operation of new and modernized interchanges. These methods take into account various scales in the development of interchane nodes, stations or public spaces,

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

- City-HUB Project – the project's goal was implementation and operation of intelligent, clean and secure intermodal public transport systems.

There are also publications in the literature that describe good practices and checklists for assessing interchanges. An example of such studies is [1, 18]. In these publications, the authors formulate guidelines and principles regarding the planning of the interchange. The goal is to create an exchange area that will be a safe and convenient part of transport infrastructure, but also a miniature center of public life.

The organization of the passenger exchange area requires many adjustments, especially for loops. In the loop area, apart from public transport infrastructure, there is also point infrastructure for individual transport, e.g. parking spaces. This results in a greater complexity of this transport node and more intensive passenger exchange between various means of collective and individual transport (e.g. between a car and a tram). In view of the above, it should be recognized that the subject matter discussed in this article is currently very important for all stakeholders of the transport system, i.e. passengers, the public transport organizer, transport service companies and other units involved in maintaining the city's transport infrastructure.

3. Characteristics of tram loop assessment indicators

The purpose of the article is to present the indicators for the assessing the safety and functionality of the tram loops, which is based on factors that are components of the loop safety index (ISTL) and the tram loop functionality index (IFTL). The proposed indicator assessment is adapted to two types of tram line endings: standard loops and tram track cross.

In addition to the main division of the loop into two types, there are also an additional 5 factors that determine the way traffic is organized in the loop area. These factors have been collected and shown in fig. 1.

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

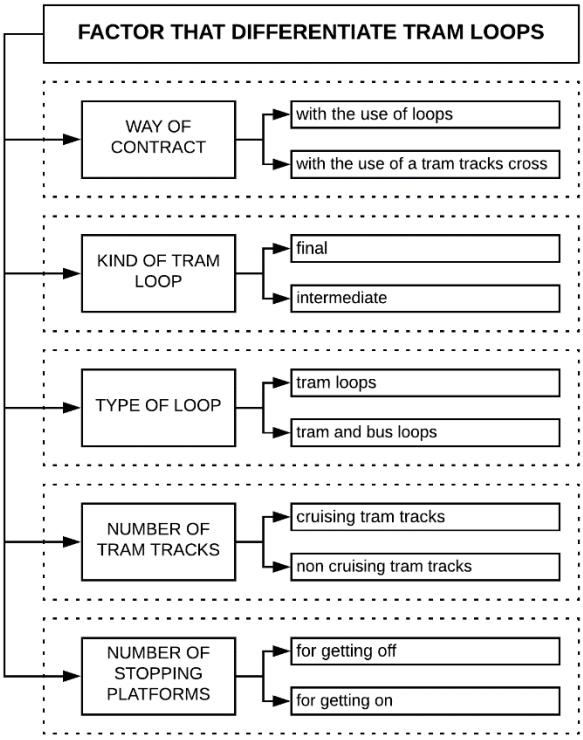


Fig. 1. Types of tram loops

A review of the literature and the results of own research have shown that the key factors in the ISFTL are issues related to:

- the type of the infrastructure,
- the condition of the infrastructure,
- the way to organize traffic in the area of the loop,
- mutual visibility of loop users,
- transfer options available,
- number of tracks and platforms,
- collision with other types of transport users.

The ISFTL assessment includes a tram loop audit in the area of 8 criteria that correspond to the factors mentioned above. The proposed assessment factors are grouped into two generic groups, i.e. safety and functionality. Each of the factors is assessed on a five-point scale as shown in fig. 2.

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

1	2	3	4	5
a complete lack of condition	very low compliance with conditions	partial compliance with conditions	high compliance with conditions	complete compliance with conditions

Fig. 2. Scale of tram loop assessment

In the following points, two generic groups of factors will be presented, which are taken into account in the ISTL and IFTL indicators. Each indicator is described as the product of four factors that make up the indicator. The components and formulas for calculating the indicators will be given later in the article. The value of the safety index (ISTL) and the functionality index (IFTL) of streetcar loops can assume a minimum value of 1 and a maximum value of 625 (product of 4 factors assessed at the maximum level of 5). This assessment indicators provides the possibility of presenting the values of ISTL and IFTL indicators in percentage form for the unification and easier interpretation of the obtained result. This indicator value is calculated on the basis of formula 1.

$$ISTL_{\%i} = \frac{ISTL_i}{625} * 100\ [\%]$$

$$IFTL_{\%i} = \frac{IFTL_i}{625} * 100\ [\%] \quad (1)$$

where:
$ISTL_i$ – tram loop safety indicator,
$ISTL_{\%i}$ – percentage indicator of tram loop safety,
$IFTL_i$ – tram loop functionality indicator,
$IFTL_{\%i}$ – percentage tram loop functionality indicator,
i – sign of tram loop.

3.1. Tram loop safety indicator (ISTL)

The tram loop includes a number of activities that can be implemented in its area by various users. In the case of an operator, the main process is turning the tram back. It is also possible to stop or overtake trams. Users of public transport in the loop area can wait for a vehicle, get off, get on or change between different vehicles. In addition, in some loops there may be pedestrian and bicycle traffic that is not associated with the need for public transport. The multitude of possibilities creates many factors affecting safety in the loop area.

The ISTL indicator in the loop area consists of four components, each of which is assessed as described in fig. 2. These components are:

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

- Assessment of the condition of the stop infrastructure for passengers – CI – the factor determining the technical condition of such elements of the loop as sidewalks or surfaces of stop platforms.
- Assessment of the separation of transport routes in the area of loops – ST – the factor determining durability and uniqueness in the separation of corridors for loop users.
- Assessment of vehicle visibility in the loop area – VV – the factor determining the level of visibility of tram vehicles by the passenger on the loop.
- Assessment of the technical condition of the tram track – CT – the factor determined by the wear of the tram track.

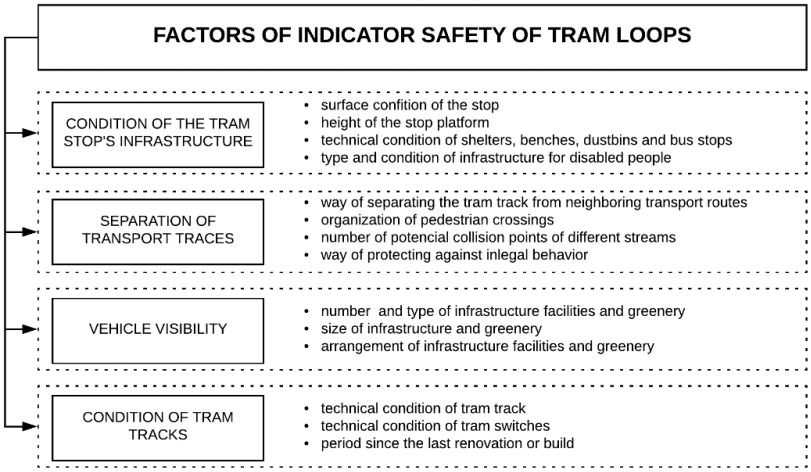


Fig. 3. Factors taken into account when calculating the ISTL value

The factors taken into account when calculating the ISTL value are shown in the fig. 3. The tram loop safety index (ISTL) is calculated according to formula 2.

$$ISTL_i = CI_i * ST_i * VV_i * CT_i \tag{2}$$

where:
$ISTL_i$ – the indicator of safety of tram loop,
CI_i – assessment of the condition of tram stop's infrastructure,
ST_i – assessment of the separation of transport traces,
VV_i – assessment of the vehicle visibility,
CT_i – assessment of the condition of tram tracks,
i – sign of tram loop.

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

3.2. Tram loop functionality indicator (IFTL)

It is very important that the tram terminus meets its functional requirements. As described earlier, the tram loops do not currently only fulfill the function of changing the direction of travel of a tram vehicle. In recent years, other functions have been added to them, such as the possibility of changing or implementing small services. The most important in this case are services related to the functioning of public transport, e.g. placing the loop area of ticket vending machines or ticket sales points. As part of calculating the IFTL indicator, the elements in the loop area related to the quality of service of its users are assessed. In this case, the key role is played by unambiguous traffic organization and completeness of messages transmitted to passengers.

The IFTL indicator in the loop area consists of four components, each of which is assessed as described in fig. 2. These components are:

- Assessment of the accessibility to different forms of transport – AD – factor assessing the tram loop in terms of accessibility to many forms of transport in the idea of combined transport.
- Assessment of the type of stop infrastructure and facilities – TI – the factor in which the convenience and comfort of using the loop while waiting for the vehicle and preparing travelers for travel is assessed.
- Assessment of the stopping platform – SP – the factor in which the traffic organization of various tram lines in the loop area is assessed.
- Assessment of the way of organize the tram traffic – WO – factor affecting the value of how trains are organized in the loop area. The high value ensures smooth functioning in emergency situations.

The factors taken into account when calculating the IFTL value are shown in the fig. 4.

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

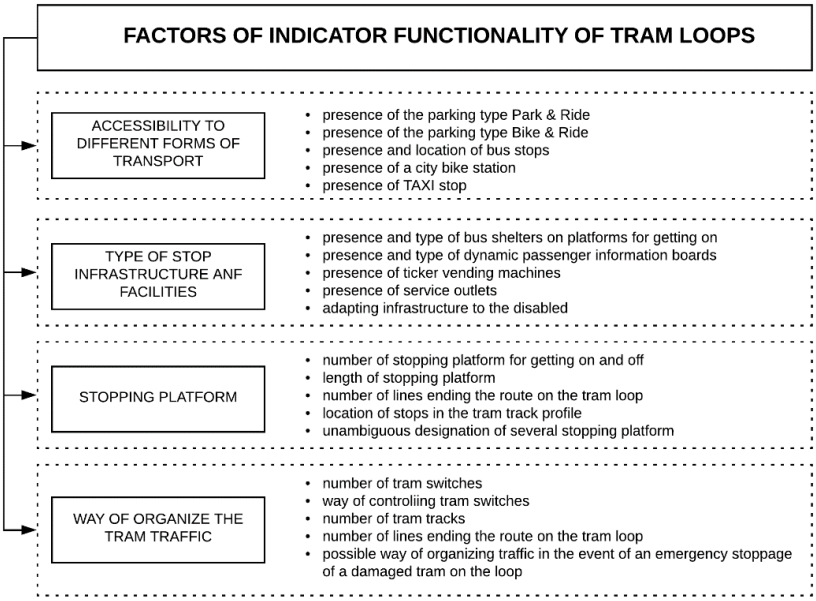


Fig. 4. Factors taken into account when calculating the IFTL value

The tram loop safety index (IFTL) is calculated according to formula 3.

$$IFTL_i = AD_i * TI_i * SP_i * WO_i \tag{3}$$

where:
$IFTL_i$ – the indicator of functionality of tram loop,
AD_i – assessment of the accessibility to different forms of transport,
TI_i – assessment of the type of stop infrastructure and facilities,
SP_i – assessment of the stopping platform,
WO_i – assessment of the way of organize the tram traffic,
i – sign of tram loop.

4. Summary

Interchanges in urban transport are playing an increasingly important role in organizing the movement of residents of large cities. They make it possible to travel by various means of transport and reach destinations where there are no direct connections. Their complexity also increases, especially when they combine different modes of transport. For this reason, more and more research is appearing in this area and numerous projects are underway to define guidelines for the assessment of these points and the principles of their design and organization. Most published research, however, focuses on interchanges located in the city center. A review of the literature indicates

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

that there are currently no studies on the assessment of the functioning of tram loops as integrated interchanges.

For this reason, the article presents a proposal for a assessing tram loops as integrated interchanges based on indicators. The proposed approach includes an assessment of the indicator on the safety and functionality of tram loop, based on an assessment made by experts in the 5-point scale. Loop security is assessed separately based on the parameters that make up the ISTL indicator and functionality separately according to the IFTL indicator.

The article presents the theoretical basis of the assessment methodology. Further research will concern the implementation of the proposed indicators in the assessment of tram loops in major cities in Poland. The assessments carried out in cities will not only allow to determine the current state of tram loops, but also to indicate the possibilities of improving them from the point of view of improving the quality of service for their users.

5. References

1. Alexander C. et al.: Język wzorców – miasta, budynki, konstrukcja. GWP, Gdańsk 2008.
2. Baier R., Benthaus D., Klemps A., Schäfer K.H., Meier R., Enke M., Schüller H.: Potenziale zur Verringerung des Unfallgeschehens an Haltestellen des ÖPNV/ÖPSV. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 2007.
3. Brändli H., Kobi R.: Sicherheit an Bus- und Tramhaltestellen. ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, Zurich 1989.
4. Bryniarska Z., Zakowska L.: Multi-criteria evaluation of public transport interchanges. Transportation Research Procedia, 24, 2017.
5. Budzyński M., Szmagliński J., Jamroz K., Birr K., Grulkowski S., Wachnicka J.: Assessing tram infrastructure safety using the example of the city of Gdańsk. Journal of KONBiN, vol. 49, iss. 3, Warsaw 2019, DOI 10.2478/jok-2019-0060
6. Castanier C., Paran F., Delhomme P.: Risk of Crashing With a Tram: Perceptions of Pedestrians, Cyclists, and Motorists. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol. 15, No. 4, 2012.
7. Commission Implementing Regulation (EU) No 402/2013 of 30 April 2013 on the common safety method for risk evaluation and assessment and repealing Regulation (EC) No. 352/2009, 2013.
8. Currie G., Reynolds J.: Vehicle and Pedestrian Safety at Light Rail Stops in Mixed Traffic. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2146, Transportation Research Board of the National Academies, Washington 2010.
9. Currie G., Smith P.: Innovative Design for Safe and Accessible Light Rail or Tram Stops Suitable for Streetcar-Style Conditions. Transportation Research Record:

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

Journal of the Transportation Research Board, No. 1955, Transportation Research Board of the National Academies, Washington 2006.
10. Currie G., Tivendale K., Scott R.: Analysis and Mitigation of Safety Issues at Curbside Tram Stops. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2219, Transportation Research Board of the National Academies, Washington 2011.
11. Farrán J.I.: No Turns Allowed: Controlling Vehicles Turning in Front of Light Rail Vehicles. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1704, TRB, National Research Council, Washington 2000.
12. Grulkowski S., Zariczny J.: Characteristics of wear, defects and damages of rails in tram tracks (in Polish). Zeszyty Naukowe Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, Kraków 2015.
13. Hedelin A., Bjornstig U., Brismar B.: Trams-A Risk Factor for Pedestrians. Accident Analysis and Prevention, Vol. 28, No. 6, 1996.
14. Jamroz K.: Method of risk management in highway engineering *(Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej)*. Gdańsk University of Technology 2011.
15. Marti Ch.M., Kupferschmid J., Schwertner M., Nash A., Weidmann U.: Tram Safety in Mixed Traffic. Best Practices from Switzerland. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2540, Transportation Research Board, Washington 2016.
16. Monigl J., Berki Z., Szekely A.: NICHES+ Guidelines for implementers of Passenger Friendly Interchanges, 2010. Access at the Internet: http://www.niches-transport.org
17. Olszewski P., Krukowska H., Krukowski P.: Metodyka oceny wskaźnikowej węzłów przesiadkowych transportu publicznego. Transport Miejski i Regionalny 6, 2014.
18. Transport for London, Intermodal Transport Interchange for London, Best Practice Guidelines, Iss. 1, 2001. Access at the Internet: http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/interchange.pdf
19. Tubis A., Rydlewski M., Budzyński M.: Safety assessment of tram stops. Journal of KONBiN, vol. 49, iss. 2, 2019, DOI 10.2478/jok-2019-0044.

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

OCENA WSKAŹNIKOWA BEZPIECZEŃSTWA I FUNKCJONALNOŚCI PĘTLI TRAMWAJOWYCH

1. Wprowadzenie

Rozwój szynowego transportu zbiorowego w ciągu ostatnich lat wpłynął na przekształcenie formy, jaką pełnią pętle transportu zbiorowego w obszarze miejskim. Porównując nowo projektowane pętle tramwajowe do tych, które powstały przed kilkoma laty, widać wyraźne różnice w ich parametrach i funkcjonalności. Obecne pętle stają się intermodalnymi węzłami transportowymi, których zadaniem jest łączenie różnych środków transportu zbiorowego i indywidualnego. Z tego też względu służą one nie tylko do obsługi technicznej transportu zbiorowego, ale są również punktem zmiany środka transportu indywidualnego na zbiorowy. Służyć temu ma przede wszystkim dostępność parkingów rowerowych i samochodowych typu Park&Ride, a także dostępność w bliskim sąsiedztwie połączeń autobusowych.

Nowe wymagania stawiane przed tworzonymi pętlami tramwajowymi sprawiają, że zmieniają się oczekiwania ich użytkowników względem infrastruktury, ale zwiększeniu ulega również liczba czynników zagrażających bezpieczeństwu osób oraz pojazdów poruszających się w obrębie pętli.

Bezpośredni obszar pętli tramwajowych obejmuje także takie cele podróży, szczególnie pieszych lub rowerowych, jak punkty handlowo-usługowe, co dodatkowo wymusza zwiększenie poziomu funkcjonalności oraz bezpieczeństwa.

Jednocześnie przeprowadzony przegląd literatury dowiódł, że brakuje opracowań dotyczących bezpieczeństwa i funkcjonalności pętli tramwajowych, jako istotnego elementu systemu transportu zbiorowego. W związku z tym, celem badań przedstawionych w artykule jest budowa wskaźników do oceny bezpieczeństwa i funkcjonalności pętli tramwajowych.

W pierwszej kolejności przedstawiono przegląd wyników badań z obszaru bezpieczeństwa transportu tramwajowego oraz węzłów przesiadkowych. Następnie opisano proponowaną ocenę wskaźnikową pętli tramwajowych (zwaną dalej oceną ISFTL – Indicators of Safety and Functionality of Tram Loops). Ocena ta koncentruje się przede wszystkim na zagadnieniach dotyczących bezpieczeństwa i funkcjonalności pętli tramwajowych, jako intermodalnych węzłów przesiadkowych, ale uwzględnia również wybrane aspekty techniczne.

W podsumowaniu wskazano dalsze prace badawcze.

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

2. Badania w obszarze bezpieczeństwo systemów tramwajowych i funkcjonalności węzłów przesiadkowych

System tramwajowy jest uznawany za jeden z bardziej złożonych systemów transportu miejskiego. Identyfikacja zagrożeń w tym systemie jest wyjątkowo trudna, ponieważ transport ten łączy w sobie wybrane cechy transportu drogowego i kolejowego [4]. Wynika to przede wszystkim z funkcjonowania wspólnych elementów infrastruktury technicznej. W obszarze bezpieczeństwa w transporcie tramwajowym obowiązuje nomenklatura Unii Europejskiej, dotycząca transportu kolejowego. Z tego względu najczęściej stosowane wskaźniki bezpieczeństwa odnoszą się do [7]: liczby wypadków z podziałem na rodzaje, liczby ofiar rannych i śmiertelnych, liczby samobójstw, liczby zdarzeń poprzedzających wypadki związane z niewłaściwym stanem technicznym infrastruktury oraz pojazdu, a także błędy operatora. Analiza zagrożeń występujących w systemie tramwajowym przeprowadzana jest zazwyczaj zgodnie z systemem [14]:

CZŁOWIEK - POJAZD - RUCH DROGOWY - OTOCZENIE

Z tego względu czynniki stanowiące zagrożenie w ruchu tramwajowym dzielone są często na następujące kategorie [4]: (1) dym, ogień, wybuch; (2) atak paniki; (3) porażenie prądem; (4) wykolejenie; (5) wypadki z udziałem pasażera; (6) zderzenie między tramwajami; (7) zderzenie z innym pojazdem lub pieszym; (8) wpadnięcie na przeszkodę na torach; (9) inne. Dzisiaj coraz częściej do czynników tych dodawany jest również terroryzm.

Wykolejenia tramwajów, spowodowane złym stanem torowisk, są przedmiotem licznych badań w obszarze bezpieczeństwa transportu tramwajowego (patrz np. [12]). Jednak najwięcej uwagi badacze poświęcają analizie wypadków z udziałem tramwajów i innych uczestników ruchu drogowego. Badania te koncentrują się przede wszystkim na funkcjonowaniu transportu tramwajowego w mieszanym ruchu drogowym, który występuje na terenie aglomeracji miejskich. Przykładem mogą być badania opisane w [11], w których Farrun stwierdził, że najbardziej typową przyczyną wypadków z udziałem tramwajów w Stanach Zjednoczonych jest przejazd samochodu przez trasę tramwaju (przejechanie torowiska bez zachowania należytej ostrożności). Inni badacze, jak np. [6], w swoich badaniach oceniali ryzyko wypadków tramwajowych nie tylko z udziałem samochodów, ale również z pieszymi i rowerzystami. Hedelin i inni w swoich badaniach analizowali obrażenia, które były wynikiem wypadków tramwajowych, które miały miejsce w Szwecji [13]. Zespół ten stwierdził, że najbardziej pokrzywdzoną kategorią uczestników tych wypadków byli piesi.

Z tego też względu coraz większa uwaga w badaniach nad bezpieczeństwem transportu tramwajowego koncentruje się na pieszych [15]. Szczególnego znaczenia nabierają przede wszystkim strefy wymiany pasażerów. W związku z tym duża liczba publikacji dotyczy bezpieczeństwa pieszych na przystankach tramwajowych. Aspekty te zostały przeanalizowane m.in. w Australii [8, 9, 10], Niemczech [2] i Szwajcarii [3, 15]. Wyniki prac przedstawione poniżej są kontynuacją badań dotyczących bezpieczeństwa i funkcjonowania przystanków w Polsce przez autorów [19]. Jednocześnie przeprowadzony

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

przegląd literatury wykazał, że brakuje opracowań poświęconych wyłącznie bezpieczeństwu na pętlach tramwajowych, które stanowią również miejsce wymiany pasażerów.

Należy także zauważyć, iż węzły przesiadkowe uznawane są za kluczowe lokalizacje w trakcie korzystania z transportu publicznego. Z jednej strony pozwalają one pasażerom na realizację podróży różnymi środkami transportu i dotarcie do miejsc docelowych, do których nie ma bezpośrednich połączeń. Z drugiej jednak strony wymagają dodatkowego wysiłku ze strony pasażerów, występuje również niepewność względem kontynuowania podróży, strata czasu na poruszanie się w obrębie węzła przesiadkowego lub z powodu oczekiwania na inny pojazd [4]. Dlatego w planowaniu oraz organizacji transportu publicznego węzły te powinny być traktowane priorytetowo [17]. Wzrost znaczenia właściwej organizacji i zapewnienia wymaganej funkcjonalności i bezpieczeństwa miejsc przesiadkowych znalazł odbicie w projektach finansowanych przez Unię Europejską, takich jak np. [4]:

- NODES (*New tools for design and operation of urban transport interchanges*) – w ramach projektu opracowano metody i narzędzia wspierające planowanie i obsługę nowych oraz zmodernizowanych węzłów przesiadkowych, które uwzględniają ich różnorodną skalę w rozwoju węzłów transportowych, stacji lub przestrzeni publicznych,
- City-HUB Project – celem projektu było wdrażanie, a także eksploatacja inteligentnych, czystych i bezpiecznych intermodalnych systemów transportu publicznego.

W literaturze pojawiają się również opracowania, w których odnaleźć można opisy dobrych praktyk i listy kontrolne do oceny węzłów przesiadkowych. Przykładem takich opracowań jest [1, 18]. W publikacjach tych autorzy formułują wskazówki i zasady dotyczące planowania węzła przesiadkowego, tak aby uczynić z obszaru wymiany nie tylko bezpieczną oraz wygodną część infrastruktury transportowej, ale także miniaturowe centrum życia publicznego.

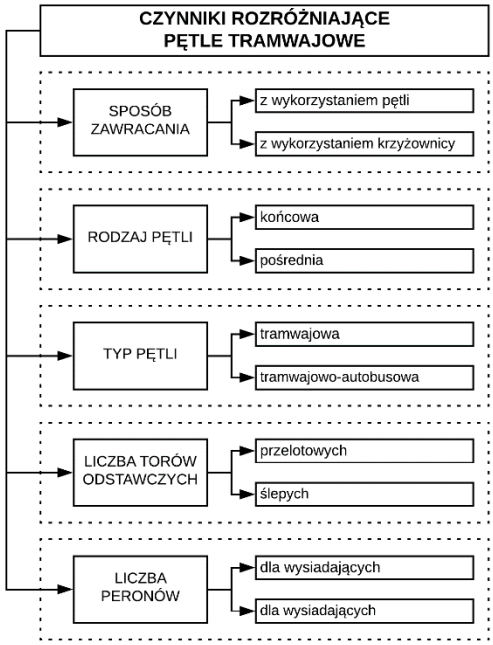
Organizacja obszaru wymiany pasażerów wymaga wielu dostosowań, w szczególności w przypadku pętli. W obszarze pętli, oprócz infrastruktury transportu publicznego, występuje również infrastruktura punktowa dla transportu indywidualnego, np. miejsca parkingowe. To powoduje większą złożoność tego węzła transportowego oraz bardziej intensywną wymianę pasażerów pomiędzy różnymi środkami transportu zbiorowego i indywidualnego (np. między samochodem osobowym a tramwajem). W związku z powyższym należy uznać, że tematyka poruszana w niniejszym artykule jest obecnie bardzo istotna dla wszystkich interesariuszy systemu transportowego, czyli pasażerów, organizatora transportu zbiorowego, przedsiębiorstw świadczących obsługę transportową, a także innych jednostek zaangażowanych w utrzymanie infrastruktury transportowej miasta.

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

3. Charakterystyka wskaźników oceny pętli tramwajowej

Celem artykułu jest prezentacja wskaźników do oceny bezpieczeństwa i funkcjonalności pętli tramwajowych w oparciu o szereg czynników będących składowymi dla wskaźnika bezpieczeństwa pętli (ISTL) i wskaźnika funkcjonalności pętli tramwajowych (IFTL). Proponowana ocena wskaźnikowa przystosowana jest do dwóch rodzajów zakończeń linii tramwajowych: standardowych pętli oraz tzw. krańcówek.

Oprócz głównego podziału pętli na dwa rodzaje, wyróżnić można również dodatkowych 5 czynników, które determinują sposób organizacji ruchu w obszarze pętli. Czynniki te zostały zebrane i przedstawione na rys. 1.



Rys. 1. Rodzaje pętli tramwajowych

Przegląd literatury oraz wyniki badań własnych dowiodły, że kluczowymi czynnikami w ocenie ISFTL są te związane m.in. z:

- rodzajem infrastruktury,
- stanem infrastruktury,
- sposobem organizacji ruchu w obszarze pętli,
- wzajemną widocznością użytkowników pętli,
- dostępnością przesiadkową,
- liczbą torów i peronów,
- kolizyjnością z innymi rodzajami użytkowników transportu.

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

Ocena ISFTL przewiduje badanie pętli tramwajowej w obszarze 8 kryteriów, które odpowiadają czynnikom wskazanym powyżej. Proponowane czynniki oceny są pogrupowane na dwie grupy rodzajowe tj. bezpieczeństwo i funkcjonalność. Każdy z czynników oceniany jest w skali pięciostopniowej przedstawionej na rys. 2.

1	2	3	4	5
całkowity brak spełnienia warunków	bardzo niski poziom spełnienia warunków	częściowe spełnienie warunków	wysokie spełnienie warunków	całkowite spełnienie warunków

Rys. 2. Skala oceny pętli tramwajowych

W kolejnych podrozdziałach zostaną przedstawione dwie grupy rodzajowe czynników branych pod uwagę przy wyznaczeniu wskaźników ISTL oraz IFTL. Każdy ze wskaźników jest opisany jako iloczyn czterech składowych. Składowe oraz wzory do obliczenia wskaźników zostaną podane w dalszej części artykułu. Wartość wskaźnika bezpieczeństwa (ISTL), a także wskaźnika funkcjonalności (IFTL) pętli tramwajowych może przyjąć wartość minimalną na poziomie 1, zaś maksymalną równą 625 (iloczyn 4 czynników ocenionych na maksymalnym poziomie 5). Dla ujednolicenia i łatwiejszej interpretacji uzyskanego wyniku przewidziano możliwość przedstawienia wartości wskaźników ISTL i IFTL w formie procentowej, którą oblicza się na podstawie wzoru 1.

$$ISTL_{\%i} = \frac{ISTL_i}{625} * 100\ [\%]$$

$$IFTL_{\%i} = \frac{IFTL_i}{625} * 100\ [\%] \quad (1)$$

gdzie:
$ISTL_i$ – wskaźnik bezpieczeństwa pętli tramwajowej,
$ISTL_{\%i}$ – procentowy wskaźnik bezpieczeństwa pętli tramwajowej,
$IFTL_i$ – wskaźnik funkcjonalności pętli tramwajowej,
$IFTL_{\%i}$ – procentowy wskaźnik funkcjonalności pętli tramwajowej,
i – oznaczenie pętli tramwajowej.

3.1. Wskaźnik bezpieczeństwa pętli tramwajowej (ISTL)

Pętla tramwajowa obejmuje wiele działań, które mogą być realizowane w jej obszarze przez różnych użytkowników, w przypadku operatora oprócz samego procesu zawracania możliwa jest również realizacja postoju czy wzajemnego wyprzedzania się tramwajów. Użytkownicy transportu zbiorowego w obszarze pętli mogą oczekiwać na pojazd, wysiadać, wsiadać lub przesiadać się między różnymi pojazdami. Do tego w przypadku niektórych pętli w ich obszarze może odbywać się ruch pieszy i rowerowy niezwiązany

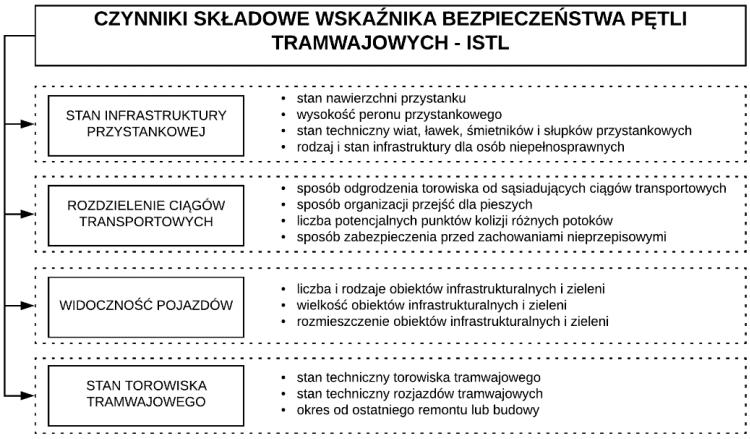
MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

z potrzebą korzystania z transportu zbiorowego. Mnogość możliwości powoduje, że występuje wiele czynników wpływających na bezpieczeństwo w rejonie pętli.

Wskaźnik ISTL w obszarze pętli składa się z czterech kryteriów, z których każdy oceniany jest zgodnie ze skalą przedstawioną na rys. 2. Kryteriami tymi są:

- Ocena stanu infrastruktury przystankowej pętli przeznaczonej dla pasażerów – CI – czynnik określający, w jakim stanie technicznym znajdują się takie elementy pętli, jak chodniki czy nawierzchnie peronów przystankowych.
- Ocena rozdzielenia ciągów transportowych w obszarze pętli – ST – czynnik określający trwałość i jednoznaczność w rozdzieleniu korytarzy dla użytkowników pętli.
- Ocena widoczności pojazdów w obszarze pętli – VV – czynnik określający poziom widoczności pojazdów tramwajowych przez pasażera przebywającego na pętli.
- Ocena stanu technicznego torowiska tramwajowego – CT – czynnik determinowany przez zużycie torowiska tramwajowego.

Czynniki brane pod uwagę przy określaniu wartości składowych wskaźnika ISTL zostały przedstawione na rys. 3.



Rys. 3. Składowe czynników uwzględnianych przy wyznaczaniu wskaźnika bezpieczeństwa pętli tramwajowej (ISTL)

Wskaźnik bezpieczeństwa pętli tramwajowej ISTLi oblicza się zgodnie ze wzorem 2.

$$ISTL_i = CI_i * ST_i * VV_i * CT_i \tag{2}$$

gdzie:

$ISTL_i$ – wskaźnik bezpieczeństwa pętli tramwajowej,

CI_i – ocena stanu infrastruktury przystankowej pętli,

ST_i – ocena rozdzielenia ciągów transportowych w obszarze pętli,

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

VV_i – ocena widoczności pojazdów w obszarze pętli,
CT_i – ocena stanu technicznego torowiska tramwajowego w obszarze pętli,
i – oznaczenie pętli tramwajowej.

3.2. Wskaźnik funkcjonalności pętli tramwajowej (IFTL)

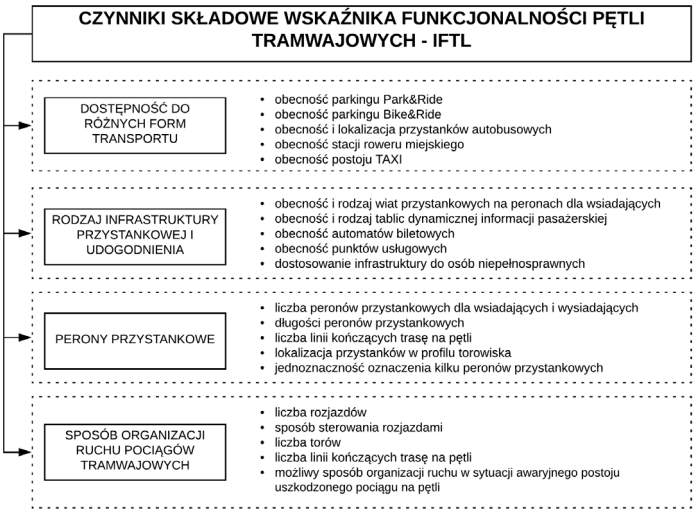
Bardzo ważne jest, aby pętla tramwajowa spełniała stawiane jej wymagania funkcjonalne. Jak opisano wcześniej, pętle tramwajowe nie spełniają obecnie wyłącznie funkcji zmiany kierunku jazdy pojazdu tramwajowego. W ostatnich latach dodano do nich inne funkcje, takie jak możliwość przesiadki czy realizacji drobnych usług. Najważniejsze są w tym przypadku usługi związane z funkcjonowaniem transportu zbiorowego np. umieszczenie w obszarze pętli biletomatów czy punktów sprzedaży biletów. W ramach obliczania wskaźnika IFTL ocenie podlegają elementy znajdujące się w obszarze pętli związane z jakością obsługi jej użytkowników. Kluczową rolę odgrywa w tym przypadku jednoznaczność w organizacji ruchu, a także kompletność komunikatów przekazywanych dla pasażerów.

Wskaźnik funkcjonalności pętli tramwajowej (IFTL) składa się z czterech składowych, z których każda oceniana jest zgodnie ze skalą przedstawioną na rys. 2. Składowymi tymi są:

- Ocena dostępności do różnych form transport – AD – czynnik oceniający pętle tramwajowe w aspekcie dostępności do wielu form transportu w idei transportu łączonego.
- Ocena rodzaju infrastruktury przystankowej i udogodnienia – TI – czynnik, w którym kluczową role odgrywa wygoda i komfort korzystania z pętli w trakcie oczekiwania na pojazd i przygotowania podróżnych do jazdy.
- Ocena liczby i rodzajów peronów przystankowych – SP – czynnik w którym brana pod uwagę jest organizacja ruchu różnych linii tramwajowych w obszarze pętli, która powinna być jednoznaczna dla podróżnych.
- Ocena sposobu organizacji ruchu pociągów tramwajowych – WO – czynnik na wartość którego wpływa sposób organizacji ruchu tramwajów w obszarze pętli. Wysoka wartość zapewnia sprawne funkcjonowanie nawet w awaryjnych sytuacjach.

Czynniki brane pod uwagę przy określaniu wartości składowych wskaźnika IFTL zostały przedstawione na rys. 4.

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl



Rys. 4. Składowe czynników uwzględnianych przy wyznaczaniu wskaźnika funkcjonalności pętli tramwajowej (IFTL)

Wskaźnik funkcjonalności pętli tramwajowej $IFTL_i$ oblicza się zgodnie ze wzorem 3.

$$IFTL_i = AD_i * TI_i * SP_i * WO_i \tag{3}$$

gdzie:
$IFTL_i$ – wskaźnik funkcjonalności pętli tramwajowej,
AD_i – ocena dostępności dla różnych form transportu,
TI_i – ocena rodzaju infrastruktury przystankowej i udogodnień w obszarze pętli,
SP_i – ocena liczby i rodzajów peronów przystankowych,
WO_i – ocena sposobu organizacji ruchu pociągów tramwajowych w obszarze pętli,
i – oznaczenie pętli tramwajowej.

4. Podsumowanie

Węzły przesiadkowe w transporcie miejskim odgrywają coraz większą rolę w organizacji ruchu mieszkańców dużych miast. Umożliwiają realizację podróży różnymi środkami transportu oraz dotarcie do miejsc docelowych, do których nie ma bezpośrednich połączeń. Wzrasta również ich złożoność, w szczególności, gdy łączą różne gałęzie transportu. Z tego też względu pojawia się coraz więcej badań dla tego obszaru oraz realizowane są liczne projekty, których celem jest określenie wytycznych dotyczących oceny tych punktów, a także zasad ich projektowania i organizacji. Większość publikowanych badań koncentruje się jednak na węzłach przesiadkowych zlokalizowanych w centrum miasta. Przeprowadzony przegląd literatury wskazuje, że brakuje obecnie

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

opracowań dotyczących oceny funkcjonowania pętli tramwajowych jako zintegrowanych węzłów przesiadkowych.

Z tego względu w artykule przedstawiono propozycję oceny pętli tramwajowych jako zintegrowanych węzłów przesiadkowych. Proponowane podejście obejmuje ocenę wskaźnikową dotyczącą bezpieczeństwa i funkcjonalności pętli tramwajowych, na podstawie oceny przeprowadzanej przez ekspertów w 5-stopniowej skali. Oddzielnie oceniane jest bezpieczeństwo pętli na podstawie parametrów składających się na wskaźnik ISTL, a osobno funkcjonalność – zgodnie ze wskaźnikiem IFTL.

W artykule zaprezentowano teoretyczne podstawy metodologii przeprowadzanej oceny. Dalsze badania dotyczyć będą implementacji proponowanych wskaźników w ocenie pętli tramwajowych w największych miastach w Polsce. Przeprowadzone oceny w miastach pozwolą nie tylko określić obecny stan pętli tramwajowych, ale również wskazać możliwości ich doskonalenia z punktu widzenia podnoszenia jakości obsługi ich użytkowników.

5. Literatura

1. Alexander C. et al.: Język wzorców – miasta, budynki, konstrukcja. GWP, Gdańsk 2008.
2. Baier R., Benthaus D., Klemps A., Schäfer K.H., Meier R., Enke M., Schüller H.: Potenziale zur Verringerung des Unfallgeschehens an Haltestellen des ÖPNV/ÖPSV. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven 2007.
3. Brändli H., Kobi R.: Sicherheit an Bus- und Tramhaltestellen. ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, Zurich 1989.
4. Bryniarska Z., Zakowska L.: Multi-criteria evaluation of public transport interchanges. Transportation Research Procedia, 24, 2017.
5. Budzyński M., Szmagliński J., Jamroz K., Birr K., Grulkowski S., Wachnicka J.: Assessing tram infrastructure safety using the example of the city of Gdańsk. Journal of KONBiN, vol. 49, iss. 3, Warsaw 2019, DOI 10.2478/jok-2019-0060.
6. Castanier C., Paran F., Delhomme P.: Risk of Crashing With a Tram: Perceptions of Pedestrians, Cyclists, and Motorists. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol. 15, No. 4, 2012.
7. Commission Implementing Regulation (EU) No 402/2013 of 30 April 2013 on the common safety method for risk evaluation and assessment and repealing Regulation (EC), No. 352/2009, 2013.
8. Currie G., Reynolds J.: Vehicle and Pedestrian Safety at Light Rail Stops in Mixed Traffic. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2146, Transportation Research Board of the National Academies, Washington 2010.
9. Currie G., Smith P.: Innovative Design for Safe and Accessible Light Rail or Tram Stops Suitable for Streetcar-Style Conditions. Transportation Research Record:

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

Journal of the Transportation Research Board, No. 1955, Transportation Research Board of the National Academies, Washington 2006.
10. Currie G., Tivendale K., Scott R.: Analysis and Mitigation of Safety Issues at Curbside Tram Stops. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2219, Transportation Research Board of the National Academies, Washington 2011.
11. Farrán J. I.: No Turns Allowed: Controlling Vehicles Turning in Front of Light Rail Vehicles. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1704, TRB, National Research Council, Washington 2000.
12. Grulkowski S., Zariczny J.: Characteristics of wear, defects and damages of rails in tram tracks (in Polish). Zeszyty Naukowe Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie, Kraków 2015.
13. Hedelin A., Bjornstig U., Brismar B.: Trams-A Risk Factor for Pedestrians. Accident Analysis and Prevention, Vol. 28, No. 6, 1996.
14. Jamroz K.: Method of risk management in highway engineering (Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej), Gdańsk University of Technology 2011.
15. Marti Ch.M., Kupferschmid J., Schwertner M., Nash A., Weidmann U.: Tram Safety in Mixed Traffic. Best Practices from Switzerland. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2540, Transportation Research Board, Washington 2016.
16. Monigl J., Berki Z., Szekely A.: NICHES+ Guidelines for implementers of Passenger Friendly Interchanges, 2010. Access at the Internet: http://www.niches-transport.org
17. Olszewski P., Krukowska H., Krukowski P.: Metodyka oceny wskaźnikowej węzłów przesiadkowych transportu publicznego. Transport Miejski i Regionalny 6, 2014.
18. Transport for London, Intermodal Transport Interchange for London, Best Practice Guidelines, Issue 1, 2001. Access at the Internet: http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/interchange.pdf
19. Tubis A., Rydlewski M., Budzyński M.: Safety assessment of tram stops. Journal of KONBiN, vol. 49, iss. 2, 2019, DOI 10.2478/jok-2019-0044.

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY Downloaded from mostwiedzy.pl