

Agnieszka TUBIS¹, Mateusz RYDLEWSKI¹, Marcin BUDZYŃSKI²

¹ Wrocław University of Science and Technology (Politechnika Wroclawska)

² Gdańsk University of Technology (Politechnika Gdańska)

SAFETY ASSESSMENT OF TRAM STOPS

Ocena bezpieczeństwa przystanków tramwajowych

Abstract: *The safety of public transport stops is the subject of numerous studies in large agglomerations around the world. This is due to the fact that it is a passenger exchange zone where collisions and accidents involving people getting on or off public transport vehicles most often occur. For this reason, the purpose of the article is to present the results of the safety assessment of the stop zones for two selected tram lines in Wrocław. The assessment of tram stops is based on an indicator that takes into account three parameters that affect the safety level of the tram stop zone - the location and infrastructure of the tram stop, its availability and traffic in the tram stop zone. The analysis of stops has been prepared on the basis of direct observation. As a result of the assessment process, these stops were indicated, whose safety index was the lowest. The improvement solutions for them should be prepared at first.*

Keywords: safety, tram stop, public transport

Streszczenie: *Bezpieczeństwo przystanków miejskiego transportu publicznego jest przedmiotem licznych badań w dużych aglomeracjach na całym świecie. Wynika to z faktu, iż jest to strefa wymiany pasażerów, w której najczęściej dochodzi do kolizji i wypadków z udziałem osób wsiadających lub wysiadających z pojazdów transportu publicznego, a jednocześnie są to cele i źródła intensywnego ruchu pieszego. Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań oceniających bezpieczeństwo stref przystankowych dla dwóch wybranych linii tramwajowych we Wrocławiu. Ocena przeprowadzona została w oparciu o wskaźnik uwzględniający trzy parametry: lokalizację i infrastrukturę przystanku, jego dostępność oraz natężenie ruchu w strefie przystanku. Analiza przystanków została przygotowana na podstawie badań terenowych w oparciu o obserwację bezpośrednią. W wyniku przeprowadzonego procesu oceny, wskazano te przystanki, których wskaźnik bezpieczeństwa był najniższy. Dla nich w pierwszej kolejności należy opracować i wdrożyć działania naprawcze.*

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, przystanek tramwajowy, miejski transport publiczny

1. Introduction

Research conducted in the world (e.g. [16]) indicate that tram stops in a mixed traffic environment are characterized by various levels of safety, availability and performance. At the same time, the research carried out in Wrocław in 2017 indicates that passengers assess safety of the tram travel much higher than travelling by buses [22]. The stop zone is an important element affecting the safety of the tram system. It is the place, where passenger streams are changed in the urban public transport vehicles. The stops are sources and goals of pedestrian traffic. For this reason, collisions and accidents of passengers with other road users occur most often in the stop zones.

The aim of the article is to present the results of research assessing the safety level of the stop zones for the selected tram lines in Wrocław. This assessment will allow to implement effective corrective actions. The safety assessment of the stop zones was based on an indicator that included three parameters: the location and infrastructure of the stop, its accessibility and the volume of traffic in the stop zone. These parameters had been identified as the most important from the point of view of the safety of stops. This is confirmed by literature studies, which were presented in the section 2. In section 3 of the article, the authors proposed a method of analysis and calculation of the safety index for the stop zone, according to which the research was carried out. The results of these studies were presented in the next section of the article. Based on them, research conclusions were formulated.

2. Research on safety of the tram systems

Safety of transport systems is the subject of numerous studies described in the literature [5, 11, 13, 19, 20, 23]. It is also an important aspect of the assessment of the tram system. Higher vehicle capacity, higher travel comfort and low emission of pollutants make tram systems an attractive form of public transport in comparison with other transport systems [1, 6]. For this reason, many countries are introducing new tram networks or extending existing ones to reduce congestion and improve the urban environment [16]. However, the existence of a tram network is connected with issues related to the safety of vehicle operation, nodal infrastructure and safety of its operation in the mixed traffic environment. All these components of the tram system are the subject of the research described, among others in [4, 8, 12].

The number of accidents involving trams is definitely lower than with the participation of other vehicles in road traffic (cars, buses, motorcycles, bicycles).

However, researchers (e.g. [12]) describe many hazards related to the safety of tram traffic, as they are large and heavy vehicles that work in a complex road environment with many road users in the city. It should be noted, therefore, that the effects of negative events involving trams can be very high. This situation applies in particular to accidents involving pedestrians, as well as accidents with a large number of victims in the event of a derailed tram. Moreover, other road users often do not take into account the risks associated with tram traffic. They are convinced about the low speed of the vehicle and the care of the driver [10].

In studies conducted by [14, 8, 18], the authors identified hazards that concern the safety of tram systems, especially at tram stops in mixed traffic. The impact on these events was due to the fact that trams, cars and pedestrians share road infrastructure in mixed traffic. For this reason, public transport stops become an important element of the nodal infrastructure of tram systems, which directly affects the safety of participants of urban traffic. The priority task of a tram stop is to ensure safe waiting, boarding and alighting from the tram for the users [3]. The authors carried out an analysis of accidents according to the places, where they occurred. The police database SEWiK was used for the research. The analysis showed that the accidents at public transport stops occur more often than e.g. on bridges, viaducts, flyovers, and tunnels. The effects of these accidents are primarily connected with wounded victims, but there are also fatalities. One should also take into account the safety of getting to the stops. Dangerous events often occur at pedestrian crossings, which are access to stops. These events are indirectly a consequence of, for example, incorrect location of a stop (visibility restrictions, excessive speed, etc.). A detailed list of the number of accidents and their effects at stops in 2009-2018 is presented in tab. 1.

Table 1

Number of accidents and their consequences at public transport stops in Poland

Accidents at stops	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Number of accidents	215	178	153	179	164	176	165	170	170	176
Number of injured	274	237	183	197	221	180	261	257	220	281
Number of dead	15	8	7	7	7	12	5	4	8	5

Source: SEWiK 15/03/2019

It should be noted that the safety of passenger exchanges largely depends on the type of tram stop. This is confirmed by the research described in [7]. In the case of old type tram stops (e.g. curbside stops, which is often a consequence of running a tram line in the road without separating it), passengers have to cross traffic lanes in order to get on or off the tram. As a result of the collision of pedestrian and car traffics, dangerous events often occur in such cases. For this reason, in many countries, old types of stops are replaced with platform solutions (so-called island stops) [9]. Noteworthy are the studies [17] that were carried out in this area. Their aim was to compare the impact of changing the type of stops on the safety of passengers getting on and off the tram.

An important aspect regarding the safety of trams is also the behaviour of passengers. Bernhoft and Carstensen [2] in their research said that pedestrian behaviour is a compromise between safety, legality and mobility. The desire to reach a public transport vehicle is one of the factors affecting the mobility of pedestrians, and at the same time it may lead them to take dangerous actions. This observation is confirmed by studies carried out by [15]. The authors showed the impact of the approaching tram to the stop on the observance of traffic rules by pedestrians. The aim of the research was to determine whether the need to arrive a specific vehicle approaching the stop had a visible effect on pedestrians' readiness to break road traffic regulations, despite the possibility of a traffic accident. Formulated conclusions confirmed that attempts to arrive the tram are an important factor when deciding on the violation of the red signal, but its impact may also depend on other factors - e.g. if the traffic signal program is predictable, the impact is less than in the case of signalling responsive to traffic. In addition, Yang and others [25] and Yagil [24] have observed that the example of other pedestrians may encourage other people to cross at a red signal. This means that a bad traffic control system at pedestrian crossings leading to tram stops may result in a violation of the law by people going to the tram. This system can significantly increase the number of other pedestrians crossing the road at a red light also.

3. Research methodology

The carried out research concerned the safety of stops for two tram lines. The inspiration for this research was a review of the literature on the safety of tram stops and initiatives undertaken to improve current solutions in Wroclaw city. The basis of the tram selection was the analysis of the layout of tram lines in the city. Two independent tram lines were selected for the analysis, which run through the city centre:

- Daily tram line No. 7 running from the south to the north of the city - end stops are POŚWIĘTNE and KLECINA.
- Daily tram line No. 4 running from the south-west to the north-east - end stops are OPORÓW and BISKUPIN.

The aim of the study was to assess the safety of the zone of stops on the tested tram lines. Literature review and results of the authors own research have proved that among the many factors affecting the safety of the tram stop area, the following should be investigated:

- The location of the stop and the condition of the stop infrastructure - which affects, among others, the way of sharing the stop zone with other road users (research described by [7]),
- The behaviour of passengers getting in and out of the vehicle, which largely depend on the availability of the tram stop. Lack of the required availability increases the number of dangerous behaviour by passengers wishing to timely achieve the goal of his trip (study by [2], [15]),
- Traffic intensity of passengers and other participants of city traffic - because the probability of a traffic incident increases with increasing traffic level (results described by [21]).

For this reason, the safety index in the conducted research has been described as the product of three parameters – and is given by the formula (1):

$$WB = LI \cdot D \cdot NR \quad (1)$$

where:

WB – safety index,

LI – assessment measure of infrastructure condition and location of the stop zone,

D – measure of the availability of the tram stop,

NR – measure of traffic intensity.

For individual stops on the tested tram lines, the safety index was determined in accordance with the formula (2):

$$WB_{i,j,k} = LI_{i,j,k} \cdot D_{i,j,k} \cdot NR_{i,j,k}, \quad (2)$$

where $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$; $k = P, L$

where:

i – tram line number; j – tram stop number; k – course direction.

During the evaluation of the location and condition of the stop infrastructure, the following elements were analysed:

- the method of securing the stop and the place in the road lane in which the passenger exchange takes place,
- permissible and actual speed of individual vehicles moving in the vicinity of the tram stop,
- state of the surface of the stop (platform),
- presence, condition and location of basic elements of the tram stop infrastructure (the analysis takes into account the width of the space along the edge of the stop free of the elements of the tram and road infrastructure).

While assessing the accessibility of the stop, the authors considered the following factors that may affect the behaviour of passengers:

- height of usable part of the tram stop (elevation in relation to the rail head),
- synchronization of traffic lights in the immediate vicinity of the tram stop,
- the way and length of the route to reach the stop from the points that generate passenger traffic,
- presence of elements supporting people with disabilities, ramps, warning pavement slabs, signs for blind people,
- type of stop (single / double - combined).

Preparation of the characteristics of the stops, which were the basis for the assessment, had been carried out using the method of field studies through direct observation. The assessment of both parameters was carried out on a 5-point scale, which was presented in tab. 2. The assessment was made by the authors based on the described above elements that affect safety.

Table 2

Classification for the parameter evaluating the infrastructure and the location of the stop (LI) and the parameter assessing the availability of the stop (D)

Rating	LI	D
1	Very bad	Very bad
2	Bad	Bad
3	Middling	Middling
4	Good	Good
5	Very good	Very good

The third parameter of the assessment was determined based on the analysis of the movement of passengers and other road users in the test space. Zone 1 covers all tram stops located in the area of the city centre, the borders of which have been assigned to the Old Town area on the basis of the administrative division of Wrocław. Zone 3 covers the range of 4 initial and final stops located on the route of the tested line (in both directions). Observations have shown that passenger traffic is the least diverse in this area. Zone 2 includes stops that have not been qualified for either of the previous groups. The division into individual zones has been visualized on the map being shown in figure 1. The rating awarded to individual stops in each zone is presented in table 3.

Table 3

Scale estimating traffic intensity (NR) in the studied stop zones

Rating	NR
1	Zone 1
2	Zone 2
3	Zone 3

4. Research results

Field measurements became the basis for preparing the assessment in accordance with the adopted assumptions. The results of the assessment for each analysed stop for both lines are presented in tables 4 and 5. Each tram stop has defined its type (Wy-island, Ch-pavement, Wi-viennese, J-roadway, Ś-blind), because it significantly affects the level of safety as stated in the research [17].

Table 4

Rating of stops on the tram line 7

Name of the stop	Typ	LI	D	NR	WB	Name of the stop	Typ	LI	D	NR	WB
POŚWIĘTNE	Ś	5	5	3	75	KLECINA	Ś	5	5	3	75
Wołowska	Wy	4	4	3	48	Sąsiedzka	Wi	3	4	3	36
Kępińska	Wy	5	4	3	60	Braterska	Wi	3	4	3	36
Kamińskiego	Wy	4	3	3	36	Przyjaźni	Ch	4	4	3	48
Broniewskiego	Ch	4	4	2	32	Radio i Telewizja	Wy	3	3	2	18
Trzebnicka	Wi	2	3	2	12	KRZYKI	Wy	4	3	2	24
Dworzec Nadodrze	Ch	5	3	2	30	Orla	Ch	5	4	2	40
Paulińska	J	1	3	2	6	Jastrzębia	Ch	4	5	2	40
Dubois	Wy	1	1	2	2	Hallera	Wy	4	3	2	24
Uniwersytet	J	1	2	1	2	Sztabowa	Wy	4	4	2	32
Rynek	Wy	4	3	1	12	Rondo	Ch	5	4	2	40
Narodowe Forum Muzyki	Wi	2	3	1	6	Wielka	Wy	4	3	2	24
Renoma	Ch	3	3	1	9	Zaolziańska	Wy	4	4	2	32
Arkady (Capitol)	J	1	1	1	1	Arkady (Capitol)	Wy	4	3	1	12
Zaolziańska	Wy	4	4	2	32	Renoma	J	1	1	1	1
Wielka	Wy	4	3	2	24	Opera	Ch	4	2	1	8
Rondo	Wy	3	4	2	24	Świdnicka	Wy	4	4	1	16
Sztabowa	Wy	4	4	2	32	Oławska	Ch	3	2	1	6
Hallera	Wy	4	3	2	24	Wita Stwosza	Ch	3	2	1	6
Jastrzębia	Wy	4	5	2	40	Uniwersytecka	Ch	3	2	1	6
Orla	Wy	3	4	2	24	Dubois	Wy	1	1	2	2
KRZYKI	Wy	5	5	2	50	Paulińska	J	2	3	2	12
Radio i Telewizja	Ch	2	3	2	12	Dworzec Nadodrze	Ch	5	3	2	30
Przyjaźni	Ch	3	4	3	36	Trzebnicka	Wi	3	3	2	18
Braterska	Ś	4	5	3	60	Broniewskiego	Wy	3	4	2	24
Sąsiedzka	Ś	4	5	3	60	Kamińskiego	Wy	4	3	3	36
KLECINA	Ś	5	5	3	75	Kępińska	Wy	5	4	3	60
						Wołowska	Wy	4	4	3	48
						POŚWIĘTNE	Ś	5	5	3	75

Table 5

Rating of stops on the tram line 4

Name of the stop	Typ	LI	D	NR	WB	Name of the stop	Typ	LI	D	NR	WB
OPORÓW	Ś	5	4	3	60	BISKUPIN	Ś	5	4	3	60
Cmentarz II	Ch	5	4	3	60	Spółdzielcza	Ch	4	4	3	48
GRABISZYŃSKA (Cmentarz)		4	4	3	48	Piramowicza	Ch	4	4	3	48
Fiołkowa	Wy	2	3	3	18	Chełmońskiego	Ch	4	3	3	36
FAT	Wy	4	3	2	24	Tramwajowa	Wy	3	3	2	18
Hutmen	J	3	3	2	18	ZOO	Wy	3	4	2	24
Bzowa	J	2	3	2	12	Hala Stulecia	Ch	4	4	2	32
pl. Srebrny	Wy	4	3	2	24	Kliniki	Wy	4	3	2	24
Stalowa	Wy	3	2	2	12	PL. Grunwaldzki	Wy	5	1	2	10
Pereca	Wy	3	2	2	12	Most Grunwaldzki	Wy	4	3	2	24
Grabiszyńska	Wy	4	4	2	32	Urząd Wojewódzki	Wy	3	2	2	12
Kolejowa	Wy	4	4	2	32	Galeria Dominikańska	Wy	4	2	1	8
pl. Legionów	Wy	4	4	2	32	Świdnicka	Wy	4	2	1	8
Narodowe Forum Muzyki	Wi	2	3	1	6	Zamkowa	Wy	4	2	1	8
Zamkowa	Wy	4	2	1	8	Narodowe Forum Muzyki	Wi	2	3	1	6
Świdnicka	Wy	4	2	1	8	pl. Legionów	Wy	4	3	2	24
Galeria Dominikańska	Wy	4	2	1	8	Kolejowa	Wy	4	4	2	32
Urząd Wojewódzki	Wy	3	2	2	12	Grabiszyńska	Wy	4	3	2	24
Most Grunwaldzki	Wy	4	3	2	24	Pereca	Wy	3	2	2	12
PL. Grunwaldzki	Wy	5	1	2	10	Stalowa	Wy	3	2	2	12
Kliniki	Wy	4	3	2	24	pl. Srebrny	Wy	4	3	2	24
Hala Stulecia	Wy	3	4	2	24	Bzowa	J	1	3	2	6
ZOO	Wy	3	3	2	18	Hutmen	J	3	3	2	18
Tramwajowa	Wy	4	3	2	24	FAT	J	4	3	2	24
Chełmońskiego	Wy	1	3	3	9	Fiołkowa	Ś	5	4	3	60
Piramowicza	Wy	3	3	3	27	GRABISZYŃSK A (Cmentarz)	Ch	4	4	3	48
Spółdzielcza	Wy	1	3	3	9	Cmentarz II	Ch	5	4	3	60
BISKUPIN	Ch	1	2	3	6	OPORÓW	Ś	4	5	3	60

As part of the prepared assessment, it was assumed that the minimal level of the safety indicator is 20 points. Therefore, stops, whose safety index was 20 points or less were considered dangerous. Immediate improvement actions are required for these stops. These stops have been highlighted on the map (red spots) in fig. 1.

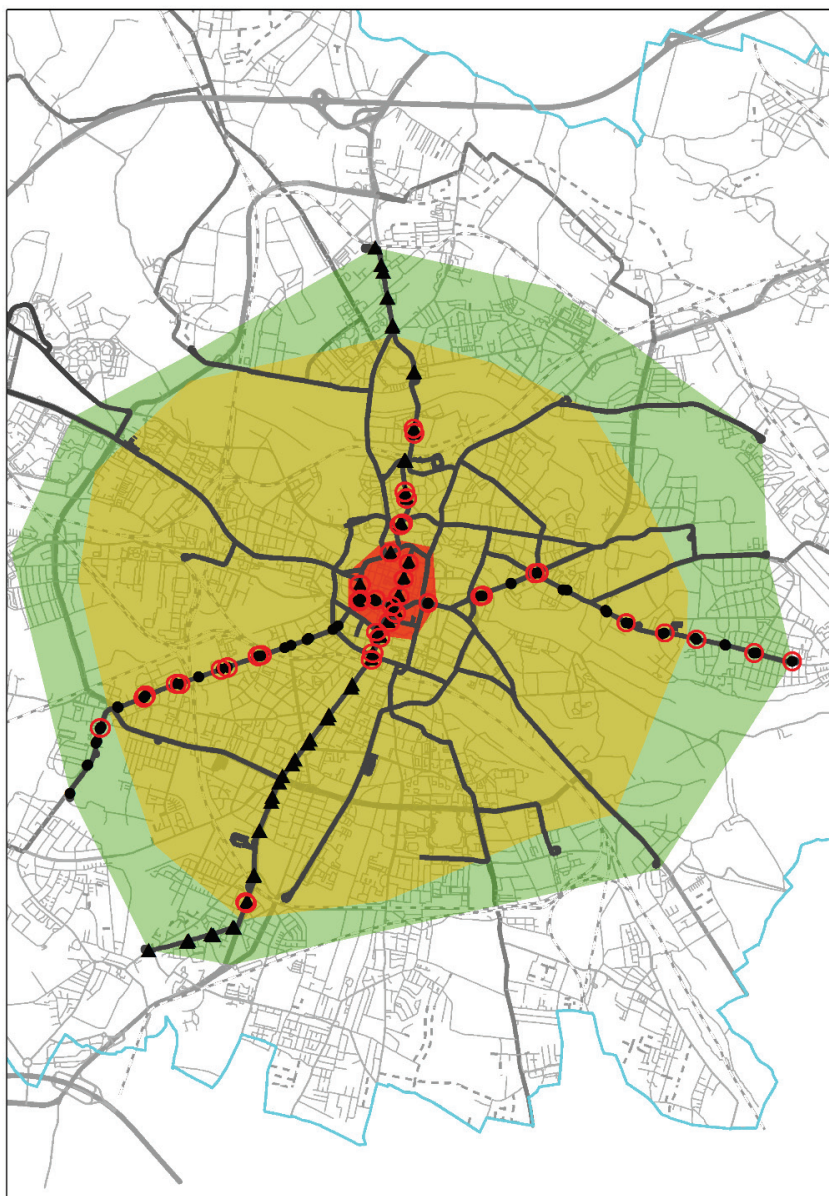


Fig. 1. Test results safety assessment of stops for tram lines 4 and 7

5. Conclusions from research

On the basis of the assessment, the authors distinguished those stops which, according to the accepted criteria, were considered dangerous. On line 4 in the direction of Biskupin, 15 stops are considered dangerous, while in the direction Oporów - 11 stops. For line number 7 towards Kleciny, 9 stops received a safety indicator below 20 points, while in the direction of Poświętne - 11 stops. Next, the authors prepared an analysis aimed at identifying factors affecting the low level of safety at these stops. The cause-and-effect analysis took into account the results of research [7, 17] and focused on the type of stop.

All tram stops where passenger service is carried out on the road have been classified as dangerous. The average safety factor of this type of stops was 8.4. Sharing lanes intended for individual vehicles with pedestrians is not only dangerous, but also troublesome for travellers who use these stops. This situation also affects the length of passenger replacement time in vehicles.

Exchange of passengers at vienna stops also takes place in the area of the lane intended for individual vehicles. However, these stops are characterized by a much higher safety factor. The average for this type of stop is 19. This difference is due to the fact that this type of stop is characterized by a much smaller nuisance for the passenger. It is also more accessible to people with disabilities. In addition, raising the zone in the area of the stop causes the effect of the releasing threshold and the separation of space in which passenger exchange can take place. The raised space complements the P-17 sign, which informs about the presence of a stop in the road lane.

Island stops are more secure for passengers. However, in the conducted assessment they obtained a low safety index. This is due to their specificity. For example, the island double stops, which are located in the street of Kazimierza Wielkiego (line 4), are separated by a pedestrian crossing between the stop zone of both vehicles (Świdnicka and Zamkowa). They are characterized by a very low level of safety at level 8. This is largely due to the limited functionality of this stop and the large distance that pedestrians have to pass from one part of the platform to the other. The island stops, characterized by a low safety index, also include the stops located on Grabiszyńska Street - Pereca and Stalowa (safety factor 12). These are double - tram and bus stops, to which access is only from one side. It is worth noting that just in the immediate vicinity of these stops there are numerous accidents, including fatalities. The reason for these accidents is the pedestrian's failure to comply with the current traffic organization.

Among the dangerous stops there are also stops constituting important interchange points, such as Grunwaldzki or Galeria Dominikańska. These stops

have a very low assessment of accessibility and comfort, which results from the non-adaptation of the parameters of stops to the volume of passenger traffic. The type of stop also affects this assessment, as in both cases it is a double stop.

6. Summary

The purpose of the conducted research was to assess the safety level of the stops of selected tram lines in Wrocław. The priority task of the stop is to provide passengers with safe and comfortable getting on and off, as well as waiting for a public transport vehicle. The results of the conducted research proved that not all stops fulfil these tasks.

The safety assessment of the stops revealed a very worrying fact. The vast majority of tram stops in the city centre are characterized by a very low safety factor. High volume of passenger traffic generates the need for their efficient replacement, which in this case has no impact on the parameters and availability of stops. A large part of the tram stops located in the first zone of the city (centre) provides the ability to handle passengers only from the level of the road or pavement. This has a negative impact on their safety level, but also on the comfort and time of passenger exchange performance.

The proposed method of assessing the safety of tram stops takes into account a wide range of analysis, which includes not only infrastructure elements, but also factors that affect the behaviour of passengers and the level of traffic. It can be used to assess stops in terms of the possibility of adapting them to the nature of travellers' movements and directions of planned investments to improve the existing urban transport network.

7. References

1. American Public Transportation Association: APTA Streetcar and Heritage Trolley Site, dostęp: <<http://www.heritagetrolley.org/PlannedSystems.htm>>
2. Bernhoft I.M., Carstensen G.: Preferences and behaviour of pedestrians and cyclists by age and gender. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior* 11, 2008.
3. Bujak N., Grulkowski S., Zariczny J.: *Aspekty bezpieczeństwa w projektowaniu i budowie infrastruktury tramwajowej*. *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej* 25, 2017.

4. Cheung C., Shalaby A.S., Persaud B.N., Hadayeghi A.: Models for safety analysis of road surface transit. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2063, 2008.
5. Chrzan T., Smal T.: The impact of weather conditions on road safety. *Proceedings of 19th International Scientific Conference. Transport Means*. 2015. October 22–23, 2015.
6. Cliche D., Reid S.: Growing Patronage-Think Tram? *International Conference Series on Competition and Ownership in Land Passenger Transport – 2007 – Hamilton Island. Australia: Queensland*, 2007 <<http://hdl.handle.net/2123/6034>>
7. Currie G., Reynolds J.: Vehicle and pedestrian safety at light rail stops inmixed traffic. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2146, 2010.
8. Currie G., Shalaby A.: Success and challenges in modernizing street car systems: experiences in Melbourne, Australia, and Toronto, Canada. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2006, 2007.
9. Currie G., Smith P.: Innovative design for safe and accessible light rail or tram stops suitable for street car-style conditions. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2006, pp. 37-46.
10. Fontaine L., Novales M., Bertrand D., Teixeira M.: Safety and operation of tramways in interaction with public space, *Transportation Research Procedia* 14, 6th Transport Research Arena, 2016.
11. Friedrich J., Restel F.J.: A fuzzy approach for evaluation of reconfiguration actions after unwanted events in the railway system. [In:] *Engineering in dependability of computer system and networks: proceedings of Fourteenth International Conferencje on Dependability of Computer Systems DepCos-RELCOMEX*. W. Zamojski i in. (eds.).
12. Grzebieta R., Rechnitzer G., Daly D., Little P., Enever D.: *Crash Compatibility of Trams. Road Safety Research, Policing, Education Conference*. Canberra, Act, Australia 1999.
13. Kierzkowski A., Kisiel T.: Modelling the passenger flow at an airport terminal to increase the safety level. Paper presented at the ICMT 2015 - International Conference on Military Technologies 2015, 2015, DOI 10.1109/MILTECHS.2015.7153693.
14. Korve H.W., Siques J.: Light rail service: pedestrian and vehicular safety. In: *Light Rail: Investment for the Future*. 8th Joint Conference on Light Rail Transit, 2000.
15. Kruszyna M., Rychlewski J.: Influence of approaching tram on behaviour of pedestrians in signalised crosswalks in Poland. *Accident Analysis and Prevention* 55, 2013.
16. 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* 49, 2017.
17. Naznin F., Currie G., Logan D., Sarvi M.: Safety impacts of platform tram stops on pedestrians in mixed traffic operation: A comparison group before–after crash study. *Accident Analysis and Prevention* 86, 2016.

18. Naznin F., Currie G., Sarvi M., Logan D.: An empirical Bayes safety evaluation of tram/streetcar signal and lane priority measures in Melbourne. *Traffic Injury Prevention*. 2015, DOI 10.1080/15389588.2015.1035369.
19. Ryczyński J., Krawczyszyn P.: The use of AHP method to select optimum means of transport for strategic goods, 13th International Conference on Industrial Logistics, ICIL 2016 - Conference Proceedings, 2016.
20. Smalko Z., Werbińska-Wojciechowska S.: Modelling transport safety risks: a sociotechnical system perspective. *Problemy Eksploatacji = Journal of Machine Construction and Maintenance*, 2017.
21. Szczuraszek T.: *Bezpieczeństwo ruchu miejskiego*. WKŁ, Bydgoszcz 2005.
22. Tubis A.A., Poskart A., Rydlewski M.: Ocena ryzyka podróżowania wrocławską komunikacją publiczną z uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa i logistyki. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, vol. 120, 2018.
23. Tubis A., Werbińska-Wojciechowska S.: Influence of transportation services performance on supply chains safety. [In:] *Carpathian Logistics Congress, CLC 2018*, Ostrava, Tanger, 2018.
24. Yagil D.: Beliefs, motives and situational factors related to pedestrians' selfreported behavior at signal-controlled crossings. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior* 3, 2000.
25. Yang J., Deng W., Wang J., Li Q., Wang Z.: Modelling pedestrians' road crossing behaviour in traffic system micro-simulation in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 40, 2006.

OCENA BEZPIECZEŃSTWA PRZYSTANKÓW TRAMWAJOWYCH

1. Wprowadzenie

Badania prowadzone na świecie (np. [16]) wskazują, przystanki tramwajowe w środowisku o mieszanym ruchu drogowym charakteryzują się różnorodnym poziomem bezpieczeństwa, dostępności i wydajności. Jednocześnie badania zrealizowane na terenie Wrocławia w 2017 r. wskazują, iż pasażerowie znacznie wyżej oceniają bezpieczeństwo podróżowania tramwajami niż autobusami [22]. Istotnym elementem wpływającym na bezpieczeństwo systemu tramwajowego jest strefa przystanków. Jest to bowiem miejsce wymiany potoków pasażerów w pojazdach miejskiego transportu publicznego. Jednocześnie przystanki są źródłami i celami ruchu pieszego. Z tego też względu, to właśnie w strefie przystanku najczęściej dochodzi do kolizji i wypadków pasażerów z innymi uczestnikami ruchu drogowego.

Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań szacujących poziom bezpieczeństwa stref przystankowych dla wybranych linii tramwajowych we Wrocławiu, co pozwoli na wdrażanie efektywnych działań naprawczych. Ocena bezpieczeństwa stref przystankowych przeprowadzona została w oparciu o wskaźnik uwzględniający trzy parametry: lokalizację i infrastrukturę przystanku, jego dostępność oraz natężenie ruchu w strefie przystanku. Parametry te zostały zidentyfikowane jako najbardziej istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa przystanków na podstawie studiów literatury przedstawionej w punkcie 2. W części 3 artykułu zaproponowano metodę analizy i obliczania wskaźnika bezpieczeństwa dla strefy przystanków, zgodnie z którą przeprowadzono badania. Wyniki tych badań zostały przedstawione w kolejnym punkcie artykułu. Na ich podstawie sformułowano wnioski badawcze.

2. Badania dotyczące bezpieczeństwa systemów tramwajowych

Bezpieczeństwo systemów transportowych jest przedmiotem licznych badań opisanych w literaturze [5, 11, 13, 19, 20, 23]. Jest to również istotny aspekt oceny funkcjonowania systemu tramwajów. Większa pojemność pojazdów, wyższy komfort podróżowania oraz niska emisja zanieczyszczeń sprawiają, że systemy tramwajowe są atrakcyjniejszą formą transportu zbiorowego w porównaniu z innymi [1, 6]. Z tego względu wiele krajów wprowadza nowe sieci tramwajowe lub rozbudowuje istniejące w celu zmniejszenia zatorów komunikacyjnych oraz poprawy środowiska miejskiego [16]. Jednak istnienie sieci tramwajowej wiąże się z kwestiami związanymi z bezpieczeństwem eksploatacji pojazdów, infrastruktury punktowej oraz bezpieczeństwem jego funkcjonowania w ruchu mieszanym. Wszystkie te składowe systemu tramwajowego są przedmiotem badań opisanych m.in. w [4, 8, 12].

Liczba wypadków z udziałem tramwajów jest zdecydowanie mniejsza niż z udziałem innych pojazdów w ruchu drogowym (samochody, autobusy, motocykle, rowery). Jak jednak wskazują badania (np. [12]) identyfikuje się wiele zagrożeń związanych z bezpieczeństwem ruchu tramwajowego, gdyż są to duże i ciężkie pojazdy, które pracują w złożonym środowisku drogowym. Należy w związku z tym zauważyć, że skutki zdarzeń negatywnych z udziałem tramwajów mogą być bardzo poważne, szczególnie ze względu na wypadki z udziałem pieszych, jak również wypadki z dużą liczbą ofiar w przypadku wykolejenia się tramwaju. Bardzo często także inni użytkownicy dróg nie biorą pod uwagę zagrożeń związanych z ruchem tramwajowym, ze względu na przeświadczenie o niskiej prędkości oraz ostrożności motorniczych [10].

W badaniach [14, 8, 18] autorzy zidentyfikowali zagrożenia dotyczące bezpieczeństwa systemów tramwajowych, zwłaszcza na przystankach tramwajowych w ruchu mieszanym. Wpływ na te zdarzenia miał fakt, iż tramwaje, samochody i piesi w ruchu mieszanym współdzielą infrastrukturę drogową. Z tego też względu przystanki komunikacji miejskiej stają się istotnym elementem infrastruktury punktowej systemów tramwajowych, który w sposób bezpośredni wpływa na bezpieczeństwo uczestników ruchu miejskiego. Priorytetowym zadaniem przystanku tramwajowego jest bowiem zapewnienie użytkownikom bezpiecznego oczekiwania, wsiadania i wysiadania z tramwaju [3]. Tymczasem analiza wypadków według miejsc ich zajścia, przeprowadzona na podstawie policyjnej bazy danych SEWiK, wskazuje, że na przystankach miejskiego transportu publicznego dochodzi do wypadków częściej niż np. na mostach, wiaduktach, estakadach i tunelach. Skutki tych wypadków to przede wszystkim

osoby ranne, ale występują również ofiary śmiertelne. Należy również wziąć pod uwagę bezpieczeństwo na dojściu do przystanków. Zdarzenia niebezpieczne na przejściach dla pieszych, które stanowią dojście do przystanków są pośrednio konsekwencją np. nieprawidłowej lokalizacji tego przystanku (ograniczenia widoczności, nadmiernej prędkości itp.) Szczegółowy wykaz liczby wypadków i ich skutków na przystankach w latach 2009–2018 przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Liczba wypadków i ich skutków na przystankach miejskiego transportu publicznego w Polsce

Wypadki na przystankach	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Liczba wypadków	215	178	153	179	164	176	165	170	170	176
Liczba rannych	274	237	183	197	221	180	261	257	220	281
Liczba zabitych	15	8	7	7	7	12	5	4	8	5

Należy zauważyć, iż bezpieczeństwo wymiany pasażerów w dużym stopniu zależy od typu przystanku tramwajowego. Potwierdzają to badania opisane w [7]. W przypadku przystanków tramwajowych starego typu (np. przystanki przy krawężnikach, co jest często konsekwencją prowadzenia linii tramwajowej w jezdni, bez jej wydzielenia), pasażerowie muszą pokonywać pasy ruchu drogowego, aby wsiąść lub wysiąść z tramwaju. W wyniku kolizyjności ruchu pieszego i samochodowego, często w takich przypadkach występują zdarzenia niebezpieczne. Z tego też względu w wielu krajach zastępuje się stare typy przystanków rozwiązaniami o charakterze platform (tzw. przystanki wyspowe) [9]. W tym obszarze na uwagę zasługują badania [17]. Ich celem było porównanie wpływu zmiany typu przystanków na bezpieczeństwo pasażerów wsiadających i wysiadających z tramwaju.

Istotnym aspektem dotyczącym bezpieczeństwa funkcjonowania tramwajów są również zachowania pasażerów. Bernhoft i Carstensen [2] w swoich badaniach stwierdzili, że zachowania pieszych są kompromisem między bezpieczeństwem, legalnością i mobilnością. Chęć dotarcia do pojazdu transportu publicznego jest jednym z czynników wpływających na mobilność pieszych, a jednocześnie może ich skłaniać do podejmowania działań niebezpiecznych. Potwierdzają to badania przeprowadzone m.in. przez [15]. Autorzy wykazali wpływ zbliżającego się tramwaju do przystanku na przestrzeganie przez pieszych zasad ruchu drogowego. Celem badań było określenie, czy potrzeba wejścia do określonego pojazdu zbliżającego się do przystanku miała widoczny wpływ na gotowość pieszych do

łamania przepisów ruchu drogowego, mimo możliwości wystąpienia wypadku drogowego. Sformułowane wnioski potwierdziły, iż próba dotarcia do tramwaju stanowi ważny czynnik w analizie naruszeń czerwonego sygnału, ale jego wpływ może zależeć również od innych czynników – np. jeśli program sygnalizacji drogowej jest przewidywalny, wpływ jest mniejszy niż w przypadku sygnalizacji reagującej na ruch. Dodatkowo Yang i inni [25] oraz Yagil [24] zaobserwowali, że przykład innych pieszych może zachęcić pozostałe osoby oczekujące do przejścia na czerwonym sygnale. Oznacza to, że zły system sterujący ruchem na przejściach dla pieszych prowadzących do przystanków tramwajowych, może spowodować naruszenie prawa przez osoby zmierzające do tramwaju, jak również może znacznie zwiększyć liczbę innych pieszych przekraczających jezdnię na czerwonym świetle.

3. Metoda badawcza

Przegląd literatury nt. bezpieczeństwa strefy przystanków tramwajowych oraz podejmowane inicjatywy dotyczące doskonalenia obecnych rozwiązań we Wrocławiu stały się inspiracją do przeprowadzenia badań dotyczących bezpieczeństwa przystanków dla dwóch linii tramwajowych. Analizując układ linii tramwajowych w mieście, wybrano trasę dwóch niezależnych od siebie linii przebiegających przez ścisłe centrum miasta:

- linię tramwajową dzienną nr 7, przebiegającą z południa na północ miasta – przystanki krańcowe to POŚWIĘTNE i KLECINA,
- linię tramwajową dzienną nr 4, przebiegającą z południowego zachodu na północny wschód – przystanki krańcowe to OPORÓW i BISKUPIN.

Celem badania była ocena bezpieczeństwa strefy przystanków występujących na badanych liniach tramwajowych. Przegląd literatury oraz wyniki badań własnych dowiodły, że wśród licznych czynników wpływających na bezpieczeństwo strefy przystanku tramwajowego na wyróżnienie zasługuje:

- lokalizacja przystanku i stan infrastruktury przystanku – która wpływa m.in. na sposób współdzielenia strefy przystanku z innymi uczestnikami ruchu drogowego (badania opisane w [7]),
- zachowania pasażerów wsiadających i opuszczających pojazd, które w dużym stopniu zależą od dostępności przystanku. Brak wymaganej dostępności zwiększa liczbę zachowań niebezpiecznych przez pasażerów, chcących terminowo osiągnąć cel swojej [2, 15],
- natężenie ruchu pasażerów i innych uczestników ruchu miejskiego – gdyż prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia drogowego rośnie wraz ze wzrostem natężenia ruchu (wyniki opisane w [21]).

Z tego też względu wskaźnik bezpieczeństwa w prowadzonych badaniach został opisany jako iloczyn trzech parametrów:

$$WB = LI \cdot D \cdot NR \quad (1)$$

gdzie:

WB – wskaźnik bezpieczeństwa,

LI – miara oceny stanu infrastruktury i lokalizacji strefy przystanku,

D – miara oceny dostępności przystanku,

NR – miara oceny natężenia ruchu.

Dla poszczególnych przystanków obsługujących badane linie tramwajowe wskaźnik bezpieczeństwa został wyznaczony zgodnie ze wzorem:

$$WB_{i,j,k} = LI_{i,j,k} \cdot D_{i,j,k} \cdot NR_{i,j,k}, \quad (2)$$

gdzie $i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$; $k = P, L$

gdzie:

i – oznacza numer linii tramwajowej;

j – oznacza numer przystanku; k – oznacza kierunek kursu.

Oceniając lokalizację i stan infrastruktury przystanku, analizie poddano następujące elementy:

- sposób zabezpieczenia przystanku i miejsce w pasie drogowym, w którym odbywa się wymiana pasażerów,
- dopuszczalną i rzeczywistą prędkość pojazdów indywidualnych poruszających się w sąsiedztwie przystanku,
- stan nawierzchni przystanku (peronu),
- obecność, stan i rozmieszczenie podstawowych elementów infrastruktury przystankowej (w analizie uwzględniano szerokość przestrzeni wzdłuż krawędzi przystankowej wolnej od elementów infrastruktury przystankowej i drogowej).

Oceniając dostępność przystanku, która może wpłynąć na zachowania pasażerów, autorzy brali pod uwagę następujące czynniki:

- wysokość części użytkowej przystanku (wyniesienie względem główki szyny),
- synchronizację sygnalizacji świetlnej w bezpośrednim sąsiedztwie przystanku,
- sposób i długość dojścia na przystanek z punktów generujących ruch pasażerów,

- obecność elementów wspomagających osoby z niepełnosprawnościami, rampy podjazdowe, ostrzegawcze płyty chodnikowe, oznaczenia dla osób niewidomych,
- rodzaj przystanku (pojedynczy / podwójny - łączony).

Charakterystyki przystanków, stanowiące podstawę wystawianej oceny, zostały opracowane metodą badań terenowych poprzez obserwację bezpośrednią. Ocena obu powyższych parametrów została przeprowadzona w skali 5-stopniowej, a szczegółowe oceny zostały przedstawione w tabeli 2. Ocena dokonywana była przez autorów w oparciu o wskazane powyżej elementy wpływające na bezpieczeństwo.

Tabela 2

Klasyfikacja dla parametru oceniającego infrastrukturę i lokalizację przystanku (LI) oraz parametru oceniającego dostępność przystanku (D)

Ocena	LI	D
1	bardzo zła	bardzo zła
2	zła	zła
3	umiarkowana	umiarkowana
4	dobra	dobra
5	bardzo dobra	bardzo dobra

Trzeci parametr oceny, składający się na wyznaczany wskaźnik bezpieczeństwa, został określony na podstawie analizy ruchu pasażerów oraz innych uczestników ruchu drogowego na badanych trasach. Strefa 1 obejmuje wszystkie przystanki tramwajowe znajdujące się w obszarze ścisłego centrum miasta, którego granice zostały przypisane do obszaru Starego Miasta na podstawie podziału administracyjnego Wrocławia. Strefa 3 obejmuje cztery przystanki początkowe i końcowe znajdujące się na trasie danej linii (w obu kierunkach), gdyż zgodnie z przeprowadzonymi obserwacjami w tej strefie ruch pasażerów jest najmniej zróżnicowany. Strefa 2 to przystanki, które nie zostały zakwalifikowane do żadnej z obu poprzednich grup. Podział na poszczególne strefy został zwizualizowany w formie mapy przedstawionej na rys. 1. Ocena przyznawana poszczególnym przystankom w każdej z badanych stref została przedstawiona w tabeli 3.

Tabela 3

Skala oceniająca natężenie ruchu (NR) w badanych strefach przystankowych

Ocena	NR
1	strefa 1
2	strefa 2
3	strefa 3

4. Wyniki badań

Pomiary przeprowadzone w terenie stały się podstawą do przygotowania oceny zgodnie z przyjętymi założeniami. Wyniki oceny dla każdego analizowanego przystanku obu linii przedstawiono w tablicach 4 i 5. Przy każdym przystanku określono jego typ (Wy – wyspowy, Ch – chodnik, Wi – wiedeński, J – jezdnia, Ś – ślepy), gdyż na podstawie badań [17] znacząco wpływa on na poziom bezpieczeństwa.

Tabela 4

Ocena przystanków na linii numer 7

Nazwa przystanku	Typ	LI	D	NR	WB	Nazwa przystanku	Typ	LI	D	NR	WB
POŚWIĘTNE	Ś	5	5	3	75	KLECINA	Ś	5	5	3	75
Wołowska	Wy	4	4	3	48	Sąsiedzka	Wi	3	4	3	36
Kępińska	Wy	5	4	3	60	Braterska	Wi	3	4	3	36
Kamińskiego	Wy	4	3	3	36	Przyjaźni	Ch	4	4	3	48
Broniewskiego	Ch	4	4	2	32	Radio i Telewizja	Wy	3	3	2	18
Trzebnicka	Wi	2	3	2	12	KRZYKI	Wy	4	3	2	24
Dworzec Nadodrze	Ch	5	3	2	30	Orla	Ch	5	4	2	40
Paulińska	J	1	3	2	6	Jastrzębia	Ch	4	5	2	40
Dubois	Wy	1	1	2	2	Hallera	Wy	4	3	2	24
Uniwersytet	J	1	2	1	2	Sztabowa	Wy	4	4	2	32
Rynek	Wy	4	3	1	12	Rondo	Ch	5	4	2	40
Narodowe Forum Muzyki	Wi	2	3	1	6	Wielka	Wy	4	3	2	24
Renoma	Ch	3	3	1	9	Zaolziańska	Wy	4	4	2	32

Nazwa przystanku	Typ	LI	D	NR	WB	Nazwa przystanku	Typ	LI	D	NR	WB
Arkady (Capitol)	J	1	1	1	1	Arkady (Capitol)	Wy	4	3	1	12
Zaolziańska	Wy	4	4	2	32	Renoma	J	1	1	1	1
Wielka	Wy	4	3	2	24	Opera	Ch	4	2	1	8
Rondo	Wy	3	4	2	24	Świdnicka	Wy	4	4	1	16
Sztabowa	Wy	4	4	2	32	Oławska	Ch	3	2	1	6
Hallera	Wy	4	3	2	24	Wita Stwosza	Ch	3	2	1	6
Jastrzębia	Wy	4	5	2	40	Uniwersytecka	Ch	3	2	1	6
Orla	Wy	3	4	2	24	Dubois	Wy	1	1	2	2
KRZYKI	Wy	5	5	2	50	Paulińska	J	2	3	2	12
Radio i Telewizja	Ch	2	3	2	12	Dworzec Nadodrze	Ch	5	3	2	30
Przyjaźni	Ch	3	4	3	36	Trzebnicka	Wi	3	3	2	18
Braterska	Ś	4	5	3	60	Broniewskiego	Wy	3	4	2	24
Sąsiedzka	Ś	4	5	3	60	Kamieńskiego	Wy	4	3	3	36
KLECINA	Ś	5	5	3	75	Kępińska	Wy	5	4	3	60
						Wołowska	Wy	4	4	3	48
						POŚWIĘTNE	Ś	5	5	3	75

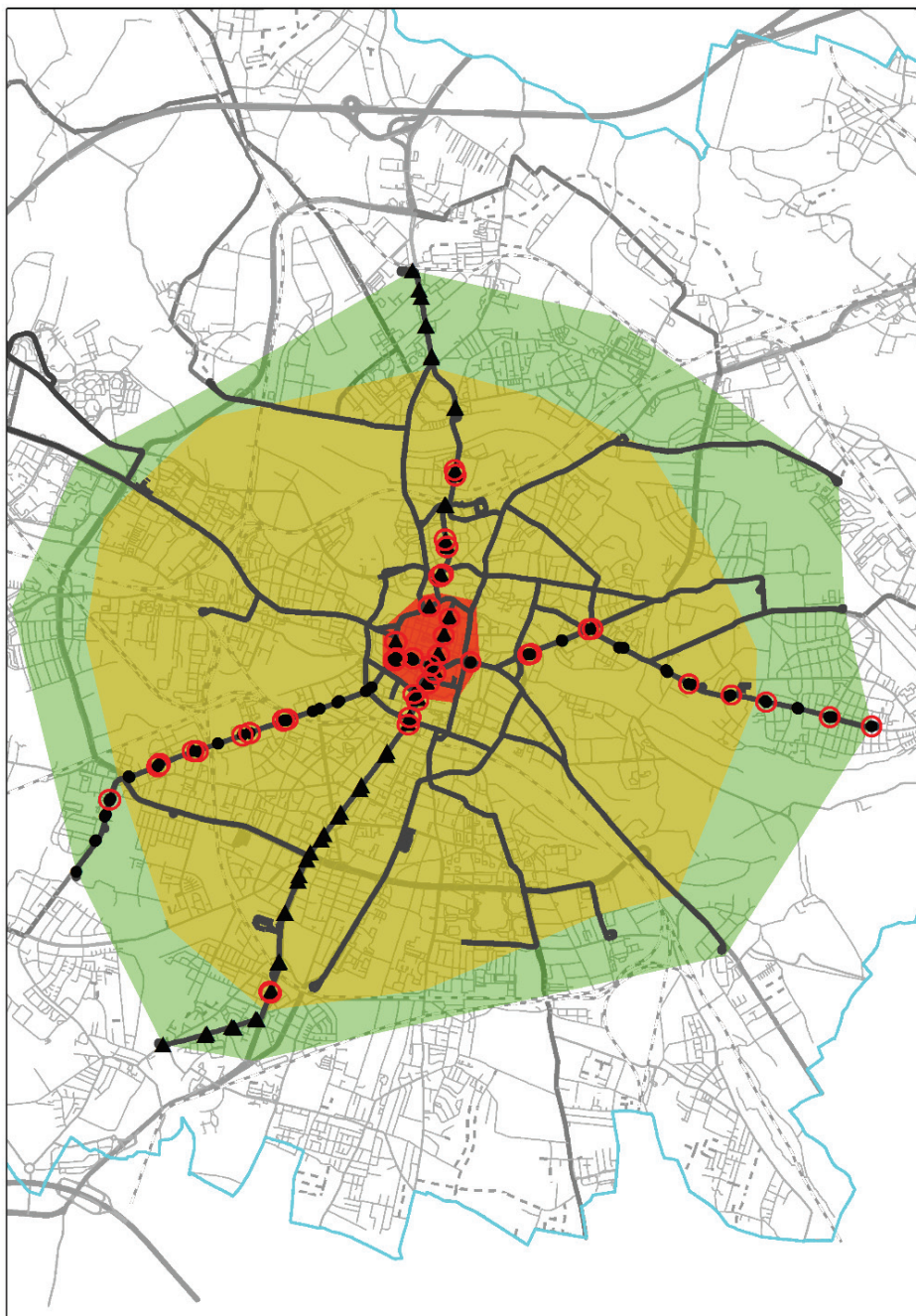
Tabela 5

Ocena przystanków na linii numer 4

Nazwa przystanku	Typ	LI	D	NR	WB	Nazwa przystanku	Typ	LI	D	NR	WB
OPORÓW	Ś	5	4	3	60	BISKUPIN	Ś	5	4	3	60
Cmentarz II	Ch	5	4	3	60	Spółdzielcza	Ch	4	4	3	48
GRABISZYŃSKA (Cmentarz)		4	4	3	48	Piramowicza	Ch	4	4	3	48
Fiołkowa	Wy	2	3	3	18	Chełmońskiego	Ch	4	3	3	36
FAT	Wy	4	3	2	24	Tramwajowa	Wy	3	3	2	18
Hutmen	J	3	3	2	18	ZOO	Wy	3	4	2	24
Bzowa	J	2	3	2	12	Hala Stulecia	Ch	4	4	2	32
pl. Srebrny	Wy	4	3	2	24	Kliniki	Wy	4	3	2	24
Stalowa	Wy	3	2	2	12	PL. Grunwaldzki	Wy	5	1	2	10
Pereca	Wy	3	2	2	12	Most Grunwaldzki	Wy	4	3	2	24
Grabiszewska	Wy	4	4	2	32	Urząd Wojewódzki	Wy	3	2	2	12

Nazwa przystanku	Typ	LI	D	NR	WB	Nazwa przystanku	Typ	LI	D	NR	WB
Kolejowa	Wy	4	4	2	32	Galeria Dominikańska	Wy	4	2	1	8
pl. Legionów	Wy	4	4	2	32	Świdnicka	Wy	4	2	1	8
Narodowe Forum Muzyki	Wi	2	3	1	6	Zamkowa	Wy	4	2	1	8
Zamkowa	Wy	4	2	1	8	Narodowe Forum Muzyki	Wi	2	3	1	6
Świdnicka	Wy	4	2	1	8	pl. Legionów	Wy	4	3	2	24
Galeria Dominikańska	Wy	4	2	1	8	Kolejowa	Wy	4	4	2	32
Urząd Wojewódzki	Wy	3	2	2	12	Grabiszewska	Wy	4	3	2	24
Most Grunwaldzki	Wy	4	3	2	24	Pereca	Wy	3	2	2	12
PL. Grunwaldzki	Wy	5	1	2	10	Stalowa	Wy	3	2	2	12
Kliniki	Wy	4	3	2	24	pl. Srebrny	Wy	4	3	2	24
Hala Stulecia	Wy	3	4	2	24	Bzowa	J	1	3	2	6
ZOO	Wy	3	3	2	18	Hutmen	J	3	3	2	18
Tramwajowa	Wy	4	3	2	24	FAT	J	4	3	2	24
Chelmońskiego	Wy	1	3	3	9	Fiołkowa	Ś	5	4	3	60
Piramowicza	Wy	3	3	3	27	GRABISZYŃSKA (Cmentarz)	Ch	4	4	3	48
Spółdzielcza	Wy	1	3	3	9	Cmentarz II	Ch	5	4	3	60
BISKUPIN	Ch	1	2	3	6	OPORÓW	Ś	4	5	3	60

W ramach przygotowanej oceny przyjęto, iż graniczny poziom wskaźnika bezpieczeństwa wynosi 20 punktów. W związku z tym przystanki, których wskaźnik bezpieczeństwa wyniósł 20 punktów lub mniej, zostały uznane za niebezpieczne i wymagające natychmiastowych działań doskonalących. Przystanki te zostały wyróżnione na mapie kolorem czerwonym (rys. 1).



Rys. 1. Wyniki badań przystanków dla linii numer 4 i 7

5. Wnioski z badań

Na podstawie przeprowadzonej oceny wyróżniono te przystanki, które zgodnie z przyjętymi kryteriami zostały uznane za niebezpieczne. Na linii 4 w kierunku Biskupina za niebezpieczne uznano 15 przystanków, natomiast w kierunku Oporowa – 11. Dla linii numer 7 w kierunku Kleciny 9 przystanków otrzymało wskaźnik bezpieczeństwa poniżej 20 punktów, natomiast w kierunku Poświętne – 11 przystanków. Dokonując analizy przyczynowo-skutkowej, której celem było zidentyfikowanie czynników wpływających na niski poziom bezpieczeństwa na tych przystankach, uwzględniono wyniki badań [7, 17] i w związku z tym uwagę skoncentrowano na rodzaju przystanku.

Wszystkie przystanki tramwajowe, na których obsługa pasażerów odbywa się na jezdni, zostały sklasyfikowane jako niebezpieczne. Średni wskaźnik bezpieczeństwa tego rodzaju przystanków wyniósł 8,4. Współdzielenie pasa ruchu przeznaczonego dla pojazdów indywidualnych z pieszymi jest nie tylko niebezpieczne, ale również uciążliwe dla podróżnych, którzy korzystają z tych przystanków. Sytuacja ta wpływa także na wydłużenie czasu wymiany pasażerów w pojazdach.

Przystanki wiedeńskie, na których wymiana pasażerów również odbywa się w obszarze pasa ruchu przeznaczonego dla pojazdów indywidualnych, charakteryzują się o wiele wyższym wskaźnikiem bezpieczeństwa. Średnia dla tego typu przystanku wynosi 19. Różnica jest spowodowana faktem, iż ten typ przystanku charakteryzuje się zdecydowanie mniejszą uciążliwością dla pasażera, jak również większą dostępnością dla osób niepełnosprawnych. Ponadto wyniesienie przestrzeni przystankowej pełni również rolę progu zwalniającego, jak i fizycznego odseparowania przestrzeni, w której może odbywać się wymiana pasażerów. Wyniesiona przestrzeń jest uzupełnieniem znaku P-17 informującego o obecności przystanku w pasie jezdni.

Część przystanków wyspowych, pomimo teoretycznie większego zabezpieczenia pasażerów, uzyskała w ocenie niski poziom bezpieczeństwa. Jest to spowodowane ich specyfiką. Na przykład wyspowe przystanki podwójne przedzielone przejściem dla pieszych pomiędzy strefą zatrzymania jednego i drugiego składu – Świdnicka i Zamkowa – znajdujące się w ciągu ulicy Kazimierza Wielkiego (linia 4), charakteryzują się bardzo niskim wskaźnikiem bezpieczeństwa, na poziomie 8. Jest to w dużej mierze spowodowane ograniczoną funkcjonalnością tego przystanku oraz dużą odległością konieczną do przejścia przez pieszego z jednej części peronu przystankowego na drugą. Do przystanków wyspowych, charakteryzujących się niskim wskaźnikiem bezpieczeństwa, zaliczono również przystanki zlokalizowane na ulicy Grabiszyńskiej – Pereca

i Stalowa (wskaźnik bezpieczeństwa 12). Są to przystanki podwójne, tramwajowo-autobusowe, do których poprowadzone jest dojście wyłącznie z jednej strony. Warto zwrócić uwagę, iż to właśnie w bezpośrednim sąsiedztwie tych przystanków zdarzają się liczne wypadki, w tym również z ofiarami śmiertelnymi, których przyczyną jest niedostosowanie się pieszych do obowiązującego sposobu organizacji ruchu.

Wśród przystanków niebezpiecznych znajdują się również przystanki stanowiące ważne punkty przesiadkowe, takie jak np. Pl. Grunwaldzki czy Galeria Dominikańska. Przystanki te mają bardzo niską ocenę dostępności i komfortu wynikającą z niedostosowania parametrów przystanków do natężenia ruchu pasażerskiego. Wpływ na tę ocenę ma również rodzaj przystanku, który w obu przypadkach jest przystankiem podwójnym

6. Podsumowanie

Celem przeprowadzonych badań była ocena poziomu bezpieczeństwa przystanków obsługujących wybrane linie tramwajowe we Wrocławiu. Priorytetowym zadaniem przystanku jest bowiem zapewnienie pasażerom bezpiecznego i komfortowego wsiadania, wysiadania i oczekiwania na pojazd transportu zbiorowego. Wyniki badań dowiodły, że nie wszystkie przystanki to zadanie realizują.

Przeprowadzona ocena bezpieczeństwa przystanków ujawniła bardzo niepokojący fakt, a mianowicie, iż zdecydowana większość przystanków w ścisłym centrum miasta charakteryzuje się bardzo niskim wskaźnikiem bezpieczeństwa. Duże natężenie ruchu pasażerów generuje potrzebę ich sprawnej wymiany, która w tym przypadku nie ma odzwierciedlenia w parametrach i dostępności przystanków. Duża część przystanków znajdujących się w pierwszej strefie miasta (centrum) zapewnia możliwość obsługi podróżnych wyłącznie z poziomu jezdni lub chodnika. Wpływa to negatywnie na poziom ich bezpieczeństwa, ale również na komfort i czas wymiany pasażerów.

Zaproponowana w artykule metoda oceny bezpieczeństwa przystanków komunikacji zbiorowej obejmuje szeroki zakres analizy, uwzględniający nie tylko elementy infrastruktury, ale również czynniki wpływające na zachowania pasażerów oraz poziom natężenia ruchu. Może być ona wykorzystana do oceny przystanków pod kątem możliwości ich dostosowania do charakteru ruchu podróżnych i kierunków planowanych inwestycji doskonalących obecną sieć transportu zbiorowego.

7. Literatura

1. American Public Transportation Association: APTA Streetcar and Heritage Trolley Site, dostęp: <<http://www.heritagetrolley.org/PlannedSystems.htm>>
2. Bernhoft I.M., Carstensen G.: Preferences and behaviour of pedestrians and cyclists by age and gender. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior* 11, 2008.
3. Bujak N., Grulkowski S., Zariczny J.: Aspekty bezpieczeństwa w projektowaniu i budowie infrastruktury tramwajowej. *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej* 25, 2017.
4. Cheung C., Shalaby A.S., Persaud B.N., Hadayeghi A.: Models for safety analysis of road surface transit. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2063, 2008.
5. Chrzan T., Smal T.: The impact of weather conditions on road safety. *Proceedings of 19th International Scientific Conference. Transport Means*. 2015. October 22–23, 2015.
6. Cliche D., Reid S.: Growing Patronage-Think Tram? *International Conference Series on Competition and Ownership in Land Passenger Transport – 2007 – Hamilton Island. Australia: Queensland, 2007* <<http://hdl.handle.net/2123/6034>>
7. Currie G., Reynolds J.: Vehicle and pedestrian safety at light rail stops in mixed traffic. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2146, 2010.
8. Currie G., Shalaby A.: Success and challenges in modernizing street car systems: experiences in Melbourne, Australia, and Toronto, Canada. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2006, 2007.
9. Currie G., Smith P.: Innovative design for safe and accessible light rail or tram stops suitable for street car-style conditions. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2006, pp. 37-46.
10. Fontaine L., Novales M., Bertrand D., Teixeira M.: Safety and operation of tramways in interaction with public space, *Transportation Research Procedia* 14, 6th Transport Research Arena, 2016.
11. Friedrich J., Restel F.J.: A fuzzy approach for evaluation of reconfiguration actions after unwanted events in the railway system. [In:] *Engineering in dependability of computer system and networks: proceedings of Fourteenth International Conference on Dependability of Computer Systems DepCos-RELCOMEX*. W. Zamojski i in. (eds.).
12. Grzebieta R., Reznitzer G., Daly D., Little P., Enever D.: *Crash Compatibility of Trams. Road Safety Research, Policing, Education Conference*. Canberra, Act, Australia 1999.
13. Kierzkowski A., Kisiel T.: Modelling the passenger flow at an airport terminal to increase the safety level. Paper presented at the ICMT 2015 - International Conference on Military Technologies 2015, 2015, DOI 10.1109/MILTECHS.2015.7153693.

14. Korve H.W., Siques J.: Light rail service: pedestrian and vehicular safety. In: Light Rail: Investment for the Future. 8th Joint Conference on Light Rail Transit, 2000.
15. Kruszyna M., Rychlewski J.: Influence of approaching tram on behaviour of pedestrians in signalised crosswalks in Poland. *Accident Analysis and Prevention* 55, 2013.
16. 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* 49, 2017.
17. Naznin F., Currie G., Logan D., Sarvi M.: Safety impacts of platform tram stops on pedestrians in mixed traffic operation: A comparison group before–after crash study. *Accident Analysis and Prevention* 86, 2016.
18. Naznin F., Currie G., Sarvi M., Logan D.: An empirical Bayes safety evaluation of tram/streetcar signal and lane priority measures in Melbourne. *Traffic Injury Prevention*. 2015, DOI 10.1080/15389588.2015.1035369.
19. Ryczyński J., Krawczyzsyn P.: The use of AHP method to select optimum means of transport for strategic goods, 13th International Conference on Industrial Logistics, ICIL 2016 - Conference Proceedings, 2016.
20. Smalko Z., Werbińska-Wojciechowska S.: Modelling transport safety risks: a sociotechnical system perspective. *Problemy Eksploatacji = Journal of Machine Construction and Maintenance*, 2017.
21. Szczuraszek T.: *Bezpieczeństwo ruchu miejskiego*. WKŁ, Bydgoszcz 2005.
22. Tubis A.A., Poskart A., Rydlewski M.: Ocena ryzyka podróżowania wrocławską komunikacją publiczną z uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa i logistyki. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, vol. 120, 2018.
23. Tubis A., Werbińska-Wojciechowska S.: Influence of transportation services performance on supply chains safety. [In:] *Carpathian Logistics Congress, CLC 2018*, Ostrava, Tanager, 2018.
24. Yagil D.: Beliefs, motives and situational factors related to pedestrians' selfreported behavior at signal-controlled crossings. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior* 3, 2000.
25. Yang J., Deng W., Wang J., Li Q., Wang Z.: Modelling pedestrians' road crossing behaviour in traffic system micro-simulation in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 40, 2006.