

Marcin BUDZYŃSKI, Jacek SZMAGLIŃSKI, Kazimierz JAMROZ,
 Krystian BIRR, Sławomir GRULKOWSKI, Joanna WACHNICKA
Gdańsk University of Technology (Politechnika Gdańska)

ASSESSING TRAM INFRASTRUCTURE SAFETY USING THE EXAMPLE OF THE CITY OF GDAŃSK

Ocena bezpieczeństwa infrastruktury tramwajowej na przykładzie miasta Gdańska

Abstract: *Analysis of Gdańsk tram network statistics shows that incidents are quite frequent (about 650 within five years) and mostly involve collisions and crashes. As well as reducing the tram systems' efficiency and reliability, incidents have a negative effect on road safety. As Polish cities extend their tram networks, they must also ensure that their existing networks are safe. This is to be achieved by conducting safety assessments. The article presents different assessment methods, at different stages of tram infrastructure lifecycle, providing a basis for a comprehensive diagnosis and recommendations for improvement. The objective of the study was to conduct a comprehensive safety assessment and analysis of the existing and planned tram network across Gdańsk, using different study methods and tools.*

Keywords: tram infrastructure, safety, research methods

Streszczenie: *Analiza danych statystycznych dotyczących zdarzeń na sieci tramwajowej Gdańska wskazuje na dużą liczbę ich występowania (ok. 650 w ciągu 5 lat). Największy udział tych zdarzeń dotyczy kolizji i wypadków, wpływających nie tylko na sprawność i niezawodność funkcjonowania systemu tramwajowego, ale przede wszystkim na bezpieczeństwo ruchu. Rozwój sieci tramwajowej w wielu miastach w Polsce oraz konieczność zarządzania bezpieczeństwem na sieci istniejącej wymaga prowadzenia oceny bezpieczeństwa. W artykule przedstawiono metody tej oceny, na etapach cyklu życia infrastruktury tramwajowej, co pozwoliło na kompleksową diagnozę oraz sformułowanie rekomendacji i zaleceń co do działań naprawczych. Celem prowadzonych badań była kompleksowa ocena i analiza bezpieczeństwa istniejących i planowanych linii tramwajowych na terenie Gdańska, z wykorzystaniem różnych metod i narzędzi badawczych.*

Słowa kluczowe: infrastruktura tramwajowa, bezpieczeństwo, metody badawcze

1. Description of the problem

While there are much fewer tram accidents than there are accidents with other vehicles, their severity may be very high, especially when trams derail, and the likelihood of multiple casualties is strong [5]. Other road users will frequently ignore the hazards involved in tram traffic because trams are considered slower and less prevalent than general road traffic [4]. With an increasing share of trams in urban areas, new tram tracks (as exemplified by Gdańsk) increase the risk of dangerous incidents involving trams. The technical condition of tram infrastructure, including tram turnouts, is also of great importance. Historical data can be used to analyse some of the most tragic tram accidents such as the accident in Argentina in 1930, which killed 56 passengers when the tram plunged into a river. In 1996 in Ukraine, an accident involving a tram killed 34 people. Poland's most tragic tram accident happened in Szczecin in 1962 bringing the death toll to 15 of about 500 passengers and 150 injuries when the tram derailed and fell on its side. There was a similar accident in Croydon, the United Kingdom, in 2016, with 7 people killed and 34 injured [15]. Tram catastrophes usually happen when trams go too fast and derail [1, 15]. Another frequent cause of tram catastrophes is faulty brakes when trams go down steep gradients [11]. Some countries have set up special commissions to investigate tram accidents. Alternatively, rail accident commissions investigate tram accidents as well. Examples include Finland's AIB [1], the UK's RAIB [15], and KOMEDO in Sweden [11]. In the case of tram traffic, the most frequent dangerous incidents are as follows [2, 3, 13, 18]:

- involving a single tram: fires - explosions, tram derailments (with possibly the most severe consequences), involving a passenger, hitting an obstacle on the tracks or near the tracks,
- involving other trams: they occur when the tram driver enters the wrong route and hits another tram which is moving in the same or opposite direction, hitting the rear of another tram as it is coming to a stop or is standing at a stop or junction,
- involving other road users: hitting a pedestrian at a stop or pedestrian crossing, hitting a cyclist, hitting a motor vehicle at a junction when crossing the tracks,
- others: e.g. vehicles hitting a pedestrian when near tram stops (at tram stops located on pavements with pedestrians having to cross the street when the tram approaches the stop [12] or stops are located at exits of signalised junctions [7]).

In many cases trams go over the speed limit. The consequences include uncontrolled and quicker deterioration of tram infrastructure which may cause trams to derail [10, 16].

2. Methods for assessing tram infrastructure safety

2.1. Overall risk analysis

A transport system assessment for a specific area includes operational risk involved in the day-to-day operations of haulage and maintenance firms. The risk is present during the process of tram operations which are recurring, known and well understood and delivered cyclically. In general sense, operational risk means the consequences of having the wrong or unreliable processes (tram traffic), people (road users) and systems (infrastructure, trams and organisational systems) and external events (weather, vandalism, terrorism, etc.). The analysis and assessment were conducted for two types of risk: individual and societal [8, 9].

Individual risk refers to the behaviour of a single road user or a single vehicle on an element of transport infrastructure. It is the probability that a consequence of specific severity is experienced during one trip or within a selected time interval when a road user is exposed to risk from transport infrastructure and other road users. Individual behaviour in this sense may result in vehicle rollover or derailment and hitting another vehicle or running off the transport infrastructure. Once identified, the risk helps transport infrastructure authorities to maintain a specific risk level depending on the class of the line and traffic. The mathematical model of individual risk, in this case, has this form (1):

$$RI = P * SI \quad (1)$$

where: RI – individual risk, P - probability of a dangerous incident,
 SI – consequences for the individual resulting from a dangerous incident.

Societal risk is a consequence (victims and damage suffered as a result of road accidents) over a given period (usually per year), in a given area which may occur as a result of dangerous incidents caused by malfunctioning of the tram transport system. Societal risk provides transport and city authorities and bodies responsible for safety (police, rescue services, health service) with a basis for taking decisions to improve those elements of a tram safety system that are most at risk and ensure that the budget is spent effectively. The model of societal risk has this form (2):

$$RS = E \cdot P \cdot S \quad (2)$$

where: RS – societal risk, E – exposure – representing a quantitative measure of road user exposure to a potential hazard (such as miles travelled),
 S – consequence of dangerous incidents.

2.2. Inspecting the technical condition and safety of tram infrastructure

The typical diagnostic methodology is used to assess the safety of tram infrastructure. It combines observation with measurements. A description is made of any damage, defects and deviations observed on the tracks (rail, sleeper, fastenings, ballast). Structural stability and geometry are also assessed. Turnouts are assessed for stability, wear and tear on turnout elements, positioning of the elements and turnout drive control and operation. The assessment also looks at elements of related track infrastructure such as the technical condition of track crossings and the condition of overhead contact line poles.

Road inspection for road safety is part of road safety management based on risk management. It is a preventive activity and measure used by road infrastructure managers. The inspection is also designed to identify hazards and sources of hazards on tram networks which will help with implementing effective safety treatments and improve infrastructure standards. As regards the tram infrastructure, which is part of urban transport infrastructure, potential collisions with cars, bicycles and pedestrians are possible. The job of a road safety inspection will be to identify sources of hazards which may contribute to tram accidents or indirectly tram infrastructure may cause accidents without the involvement of trams (e.g. pedestrians crossing the road illegally to get to a tram stop – the risk of being hit by a car).

2.3. Surveys

In November 2017, the operator's drivers were surveyed (Gdańskie Autobusy i Tramwaje sp. z o.o.). The survey was anonymous and consisted of nine questions:

- Assess the risks of operating the particular elements of the tram network.
- Identify the three most dangerous locations on Gdańsk tram network and describe the sources of hazard.
- Identify the things a driver must do while working that are the biggest distraction and may cause drivers to lose concentration.
- Identify the most important problem of tram traffic safety that needs resolving as soon as possible.
- Your subjective assessment of particular elements of the tram infrastructure
- Your subjective assessment of drivers' driving technique.
- Explain the circumstances where you use emergency braking most often.
- Identify the times of day when delays are most frequent and how you try to minimise delays.

- In the last year have you been involved in a road accident involving the tram you were driving and explain why the collision happened.

Fifty-two surveys were completed.

2.4. Conflict study

Conflicts between trams and wheeled vehicles occur at intersections between tram tracks and vehicles (where tracks are separated from the road). When there is a road incident involving these two groups of vehicles, those affected are usually the drivers and car occupants, and when the incident is serious, public transport passengers are also affected [14]. Conflicts between trams and pedestrians usually occur on designated pedestrian crossings or stop platforms. There are also conflicts when pedestrians cross illegally. Road incidents involving pedestrians are usually very serious, and the consequences are a result of the size, mass and speed of trams and the fact that pedestrians have no protection at all. To understand the details of safety of a particular location, video cameras are used. A detailed analysis of the footage helps to identify the hazards that have an effect on the number of conflict situations.

3. Characteristics of Gdańsk tram network

Together with the City Rail System, the tram network constitutes the backbone of Gdańsk public transport system. Trams are used by 290,000 passengers daily, which represents about 45% of all transport services delivered for Gdańsk Municipal Transport Authority. The biggest passenger streams are recorded on sections which link the districts of Wrzeszcz and Zaspa with Śródmieście and between Śródmieście and Chełm. The number of tram services on the network's particular sections is correlated to passenger streams. As a result, tram traffic is the busiest on sections which link the districts of Wrzeszcz and Zaspa with Śródmieście and Chełm (fig. 1).

Tracks managed by Gdańsk Municipal Transport Authority are 116,399 metres of single track. 100,154 m is the length of the main tracks with 16,254 metres of interchange tracks. The majority of tracks in Gdańsk are separated from the road and run in the central reservation of two-lane arteries (66.3% of the tracks) or asymmetrically along the road (23.7%). Some tram track sections are part of the road (8.5%). Finally, some sections run independently of the road (1.5%) [6].



Fig. 1. Cartogram of passenger streams on Gdańsk tram network daily in 2016 (source: *Gdański Model Podróży 2016*)

4. Results of tram infrastructure safety assessment

4.1. Analysis of dangerous incidents

Collisions are the most frequent incidents on Gdańsk tram network (fig. 2). Operated and developed by Gdańsk Buses and Trams (GAiT), the organisation's internal database helps to identify other incidents as well which have disrupted or halted tram traffic altogether. As we know from GAIiT's 2013–2017 database, the second most common cause of discontinuing tram traffic was the loss of power in the overhead contact network, a result of a variety of possible substation breakdowns. The next cause of stopping traffic is tram derailment, a result of improper tram reversing, switch fault and other damage to track infrastructure. Since 2015 derailments have been on a sharp increase, possibly as a result of deteriorating tram tracks technical condition and poor maintenance [6].

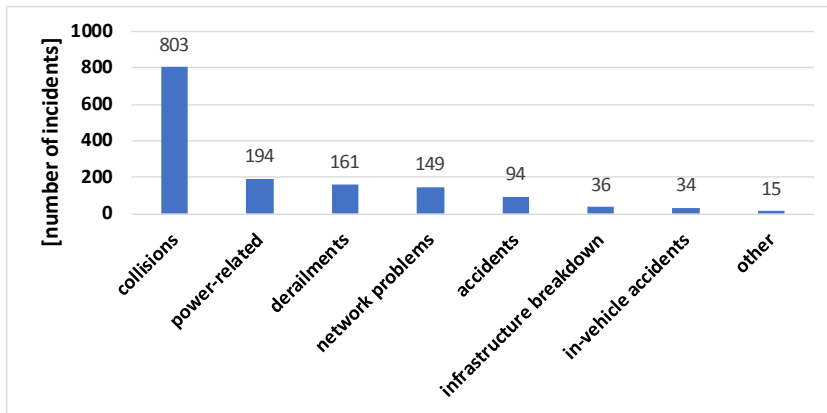


Fig. 2. Number of incidents on Gdańsk tram network 2013-2017 (source: GAtI)

Over the last five years, according to Gdańsk Buses and Trams internal data, there were on average, 900 incidents yearly. Since 2013 collisions involving trams have been increasing (from 141 collisions in 2013 to 187 in 2016). At the same time, the number of accidents stays at around 20 per year. The most common causes of accidents and collisions include in order of importance: failure to give way, speed inappropriate for the conditions of traffic, pedestrians crossing the tracks on a red light, vehicles crossing the tracks on a red light, wrong driving manoeuvres. As regards the types of incidents that constitute collisions and accidents, side crashes have been recorded to be the most common. These happen on junctions where trams and other vehicles intersect. The second most common type of collisions and accidents is hitting a pedestrian. Next, hitting a preceding vehicle, an incident which usually involves two trams but also happens on tram tracks that allow motor traffic. This is followed by head-on collisions usually involving two trams at a junction. Incidents are clearly most often caused by car drivers (77%), and other road users: pedestrians – 6%, tram drivers – 9%, other – 7%. One per cent of all collisions is caused by passengers [17]. Fig. 3 shows the locations of collisions and accidents. Gdańsk database of dangerous incidents on the tram network was analysed with a special focus on the number of tram collisions and accidents. It was established that:

- there are numerous critical points and sections on the tram network where the risk of an incident involving risk of death or injury to a road user is the highest,
- it is important to take immediate action to reduce accidents and collisions significantly in the city as a whole and in particular in the critical points and sections,

- since 2015, derailments have been on a sharp increase which may be a result of deteriorating technical condition of tram tracks and insufficient maintenance – steps must be taken to reverse the trend.

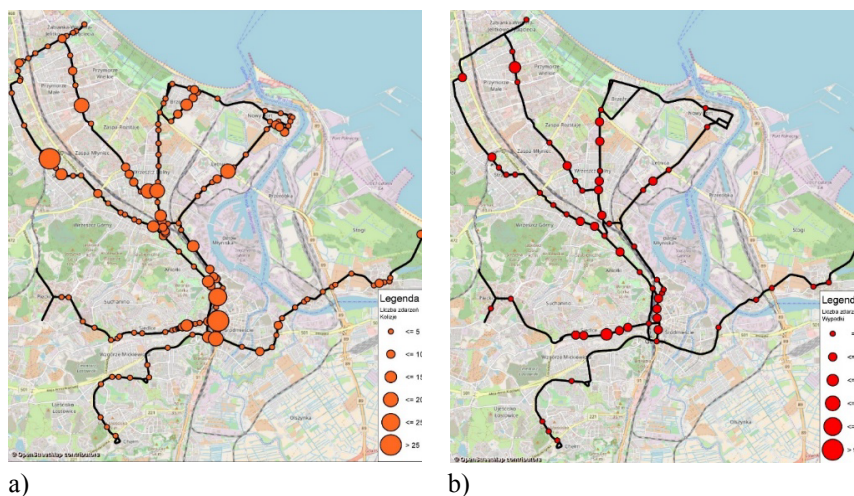


Fig. 3. Locations of collisions (a) and accidents (b) between 2013–2017 (source: GAI T)

4.2. Assessing the technical condition of tram infrastructure

Following a visual assessment of the technical condition of the tram infrastructure (tracks), the entire network in Gdańsk was classified. While a detailed parametrization of infrastructure elements was not conducted, the elements were identified and their main maintenance and operating problems were defined. To identify the most problematic places, electronic track gauge results were used. One of the main problems of Gdańsk tram network are tracks embedded in the road. To assess the technical condition of Gdańsk tram tracks, the following classification was applied (fig. 4):

- *Critical* means a condition where the track's geometric parameters are continually and significantly exceeded multiple times, and elements of the surface need urgent replacement. To continue using the tracks would put passengers' and tram drivers' life and health at risk. Trams are at risk of damage (app. 1 km of the track).
- *Very bad* means a condition where the track's geometric parameters are significantly exceeded, and elements of the surface need urgent replacement. Continued operation is dangerous for the health of passengers and tram drivers (app. 2 km of tracks).

- *Bad* means a condition where the track's geometric parameters are exceeded on a substantial section and elements of the surface need replacement (app. 4 km of tracks).
- *Average* means a condition where the track's geometric parameters are exceeded on a substantial section.
- *Good* means a condition where the track's geometric parameters are exceeded only in some points, the tracks are stable but unclean (e.g. rail grooves not cleaned, minor vegetation overgrowth).
- *Very good* means a condition where the track's geometric parameters are exceeded only in some points, the tracks are stable and clean [6].



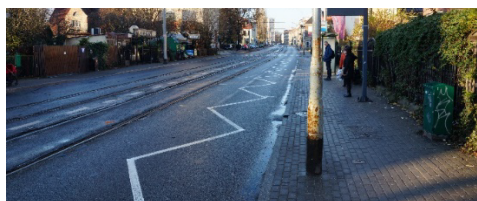
Fig. 4. Examples of critical and very bad technical condition of tram tracks

4.3. Assessing the state of safety based on the inspection

For the purposes of this work a tram traffic safety inspection was conducted in the field along selected tram lines in Gdańsk. The inspection looked at tram and road traffic safety. The work helped to identify recurring problems or ones that occur on longer line sections causing sources of road user hazards. The most frequent errors and deficiencies of the tram infrastructure include:

- tram lines run as part of the road with no separation causing pedestrians to walk on the road when getting on or off trams (fig. 5A),
- tram stops are not protected against the consequences of vehicles mounting the platforms (fig. 5B),
- tram tracks and roads are not protected making it possible for pedestrians to cross them illegally (fig. 5C),
- tram track crossings are not equipped with traffic lights for pedestrians, especially on roads with a 2x2 cross-section with the tracks in the central reservation (fig. 5D),
- tram infrastructure signs are in poor technical condition (fig. 5E),
- pedestrian crossings are not equipped with facilities for the blind and visually impaired people (fig. 5F),

- there are obstacles at junctions such as overhead contact line and lighting poles (fig. 5G),
- steep sections are hazardous should a tram derail (fig. 5H).



A



B



C



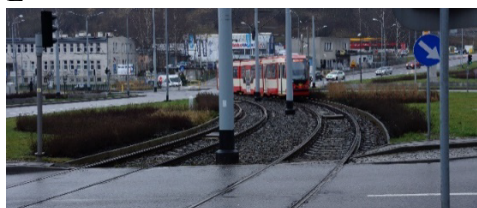
D



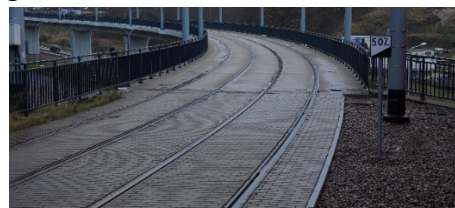
E



F



G



H

Fig. 5. Examples of hazards on tram network in Gdańsk

4.4. Questionnaire

One of the questions in the survey asked respondents to name the three most dangerous locations on tram network in Gdańsk and describe the source of the hazard. The location of dangerous places was largely consistent with the results of the technical condition and road safety inspection. The sources of hazard which

dominated included: the possibility of a collision with a vehicle, possibility of skidding and possibility of a pedestrian collision (fig. 6).

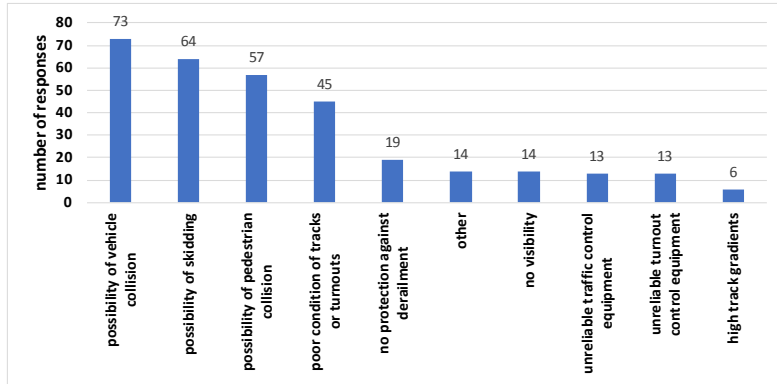


Fig. 6. Sources of hazard in high-risk places in Gdańsk as identified by the tram drivers surveyed [6]

4.5. Studying conflicts

The study of tram traffic conflicts included an analysis of CCTV footage of an entire day in October 2018 at the Kartuska – Ciasna junction in Gdańsk (fig. 7). The following were the most frequent conflicts:

- lack of visibility;
- lack of accommodation area – right-turning vehicles hamper traffic on the main road;
- wrong location of pedestrian crossings – vehicles giving way to pedestrians wait on the tracks;
- lack of designated cycle crossings – cycle traffic is not organised;
- no barriers near crossings – pedestrians cross where it is illegal.



Fig. 7. Location of conflict study – Kartuska street, Gdańsk

4.6. Assessing risk on interchanges of the existing tram network

Fig. 8 shows a classification of societal and individual risk at Gdańsk tram interchanges. The risk was assessed using the reactive method using road accident data. The analysis shows that the most dangerous interchanges for tram infrastructure managers (Gdańsk Roads and Greenery Authority) and tram traffic authorities (societal risk measured with the number of incidents per 1 million trams) are: Unii Europejskiej, Hucisko, Nowe Ogrody, Stogi Plaża, Hallera – Mickiewicza, Oliwska – Rybołowców. The interchanges which are the most dangerous for tram passengers (individual risk measured with thousands of PLN per a million passengers) are Stogi Plaża, Pasamil, Hallera – Uczniowska, Pomorska – Chłopska, Władysława IV – Zajezdnia, Myśliwska. The level of risk at these interchanges is unacceptable, which means that immediate treatments are required there.

Interchange number	Interchange name	Risk	
		societal LZDT	individual KZDP
		[incidents/1 mln trams.]	[thous. PLN/1 mln pas.]
1	Unii Europejskiej	very high	very high
2	Hucisko	very high	very high
3	3 Maja - Nowe Ogrody	very high	very high
4	Pętla Siedlce	medium	medium
5	Pętla Przeróbka	medium	medium
6	Pętla Pasanil	medium	very high
7	Stogi Plaża	very high	very high
8	Piastowska	high	high
9	Brama Oliwska	high	medium
10	Opera	medium	medium
11	Krzyżanowskiego	medium	medium
12	Pętla Strzyża	medium	medium
13	Pętla Oliwa	medium	high
14	Pomorska - Chłopska	high	very high
15	Pętla Jelitkowo	medium	high
16	Pętla Zaspą	medium	medium
17	Hallera- Mickiewicza	very high	medium
18	Hallera - Kliniczna	medium	medium
19	Węzeł Kliniczna	medium	medium
20	Hallera - Uczniowska	medium	very high
21	Brzeźno Plaża	medium	medium
22	Węzeł Brzeźno	medium	medium
23	Oliwska - Rybołowców	very high	very high
24	Władysława IV - Zajezdnia Nowy Port	high	high
25	Plac Wolności	high	high
26	Groddecka	high	medium
27	Witosa - Sikorskiego	medium	medium
28	Rakoczego - Bulońska	medium	medium
29	PKM Brętowo	medium	medium
30	Myśliwska	medium	very high

Risk	
very low	very low
low	low
medium	medium
high	high
very high	very high

Fig. 8. Classification of risk at tram interchanges in Gdańsk [6]

5. Conclusions and recommendations

Thanks to the inspections of tram tracks for their technical condition and safety, risk assessment of the tram network, survey and conflict analysis, a number of hazards were identified related to the tram infrastructure. As a result, actions are recommended to improve the safety of tram transport users. The measures include:

- a detailed analysis of road safety at collision points between trams, other vehicles and pedestrians to assess how well the measures meet the requirements (visibility, markings, traffic layout, etc.) and identify the risk level of an incident (accident, collision),
- implementing ad hoc measures where collisions and accidents are most frequent to improve road safety such as additional horizontal and vertical marking, including warning signals,
- train tram drivers on road safety,
- launch educational campaigns for drivers and pedestrians to raise the awareness of trams and their parameters,
- verification of the effectiveness of maintaining the right level of tracks reliability, turnout control, signalization, overhead contact network and its power supply and additional markings of sites that are at a particular risk of damage to the network by heavy goods vehicles,
- take steps to improve infrastructure standards to: improve visibility for trams and other road users (drivers, pedestrians and cyclists), improve the perception of the system and better inform other road users (to enhance tram traffic zone recognition, vertical and horizontal marking, light signalization) and provide safeguards (through fencing off, barriers, removing obstacles) and improve the technical condition of tracks,
- a detail risk assessment on sections with higher grades (app. 5%).

6. References

1. Accident Investigation Board: Collision of Trams on Mäkelänkatu in Helsinki, Finland, on 13 June. Raport B2/2008R.
2. Accidentology of Tramways: Analysis of reported events – year 2012 – evolution 2004 – 2012. Ministry of Ecology, Sustainable Development and Energy MEDDE – DGITM Technical Office for Mechanical Lifts and Guided Transport Systems (STRMTG) Tram Division. REPORTS February 2014.

3. Candappa N., Corben B., Yuen J.: Addressing the Conflict Potential between Motor Vehicles and Trams at Cut-through Locations. Monash University, Report No. 317, 2013.
4. Fontaine L., Novales M., Bertrand D., Teixeira M.: Safety and operation of tramways in interaction with public space. 6th Transport Research Arena April 18-21 2016, Transportation Research Procedia, vol. 14, 2016.
5. Guerrieri M.: Tramways in Urban Areas: An Overview on Safety at Road Intersections. Urban Rail Transit, vol. 4, iss. 4, 2018.
6. Jamroz K. (kier. projektu): FRIL, TRAFIK, Transprojekt Gdański: Audyt bezpieczeństwa ruchu tramwajowego w Gdańsku w ramach zadania "Dokumentacja dla przyszłych projektów", Gdańsk 2017.
7. Jamroz K. (red.): Ochrona pieszych. Podręcznik organizatora ruchu pieszego. SKRBRD, Gdańsk, Kraków, Warszawa 2014.
8. Jamroz K.: Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii Drogowej. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011.
9. Jamroz K.: Strategic risk modelling in highway engineering, Journal of KONBiN, vol. 4(20), 2011, doi.org/10.2478/v10040-012-0040-6.
10. Kahlouche A., Chaib R.: An overview of Constantine's tram safety. Transport and Telecommunication, vol. 18, no. 4, 2017.
11. KOMEDO: The tram accident in Gothenburg March 12, 1992 – Report 62.
12. Korycki T.: Propozycje zmian zwiększających bezpieczeństwo pasażerów na przystankach tramwajowych we Wrocławiu. TTS Technika Transportu Szynowego, r. 15, nr 1-2, 2009.
13. Liu X., Barkan Ch., Saat R.: Analysis of Derailments by Accident Cause Evaluating Railroad Track Upgrades to Reduce Transportation Risk. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2261, 2011, DOI: 10.3141/2261-21.
14. Ostrowski K.: Bezpieczeństwo ruchu na przejazdach tramwajowych. Logistyka, 3/2014, 2014.
15. RAIB: Rail Accident Report: Overturning of a tram at Sandilands junction, Croydon 9 December 2016. Report 18/2017, December 2017.
16. Restel F., Wolniewicz L.: Tramway Reliability and Safety Influencing Factors. 10th Inter. Scientific Conference Transbaltica 2017, Transportation Science and Technology, Procedia Engineering 187, 2017.
17. Szmagliński J., Grulkowski S., Birr K.: Identification of safety hazards and their sources in tram transport. MATEC Web of Conferences 231: 05008, 2018.
18. Tram accidents' analysis – France. Menetrix Laetitia STRMTG, French Guided Transport Technical Service - Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, 2012.

OCENA BEZPIECZEŃSTWA INFRASTRUKTURY TRAMWAJOWEJ NA PRZYKŁADZIE MIASTA GDAŃSKA

1. Opis zagadnienia

Liczba wypadków z udziałem tramwajów jest zdecydowanie mniejsza niż z udziałem innych pojazdów. Jednak ich waga może być bardzo wysoka, głównie w przypadku wykolejenia się tramwaju, kiedy występuje prawdopodobieństwo dużej liczby ofiar [5]. Inni użytkownicy dróg często nie biorą pod uwagę zagrożeń związanych z ruchem tramwajowym, ze względu na przeświadczeniu o ich niskiej prędkości i niewielkiej częstotliwości w porównaniu z ruchem drogowym [4]. Coraz większy udział transportu tramwajowego w miastach, rozbudowa torowisk (przykładem jest Gdańsk) zwiększa ryzyko wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych z tym środkiem. Zwrócić trzeba też szczególną uwagę na stan techniczny infrastruktury tramwajowej, w tym rozjazdów tramwajowych. Na podstawie danych historycznych można analizować wyjątkowo tragiczne wypadki z udziałem tramwajów. W Argentynie w 1930 r., gdy tramwaj wpadł do rzeki zginęło 56 pasażerów. Innym przykładem może być wypadek, który wydarzył się na Ukrainie w 1996 r., wówczas zginęły 34 osoby. W Polsce najtragiczniejszy wypadek wydarzył się w Szczecinie w 1962 r., w wyniku wykolejenia i przewrócenia się tramwaju 15 osób zginęło, a 150 było rannych. Analogiczny mechanizm wypadku miał miejsce w Croydon w Wielkiej Brytanii w 2016 r., wówczas zginęło 7 osób, a 34 doznały obrażeń [15]. Najczęstszą przyczyną katastrof tramwajowych była zbyt duża prędkość i wykolejenie się pojazdu [1, 15]. Często powodem wypadku była awaria systemu hamulcowego przy zjeździe tramwaju ze wzniesienia o znacznym pochyleniu podłużnym [11]. W różnych krajach istnieją komisje badające wypadki tramwajowe, a alternatywą do nich są komisje do badania wypadków kolejowych. Przykładem takich komisji są: AIB w Finlandii [1], RAIB w Wielkiej Brytanii [15] oraz KOMEDO w Szwecji [11]. W przypadku ruchu tramwajowego najczęściej występują następujące niebezpieczne zdarzenia [2, 3, 13, 18]:

- z udziałem pojedynczego tramwaju: fires - pożary - wybuchy, wykolejenia tramwajów (które mogą być najcięższe w skutkach), wypadek z pasażerem, najechanie na przeszkodę na torze lub uderzenie w przeszkodę przy torze,
- z udziałem innych tramwajów: wynikają z wjazdu przez motorniczego na niewłaściwą trasę i uderzenia w inny tramwaj, który również porusza się w tym samym lub w przeciwnym kierunku, albo uderzenia w tył zatrzymującego się lub stojącego na przystanku lub przed skrzyżowaniem innego tramwaju,
- z udziałem innych uczestników: najechania na pieszego na przystanku lub na przejściu dla pieszych, zderzenie z rowerzystą, zderzenie z pojazdem samochodowym na skrzyżowaniu na przejeździe przez tory,
- inne: np. najechanie na pieszego przez pojazdy w obszarze przystanków (przy przystankach zlokalizowanych na chodniku z koniecznością przekraczania jezdnii przez pieszych, gdy tramwaj dojeżdża do przystanku [12] lub lokalizacja przystanku na wylocie skrzyżowania z sygnalizacją świetlną [7]).

W wielu przypadkach tramwaje poruszają się z prędkością większą niż jest dozwolona. Powoduje to niekontrolowaną oraz szybszą degradację infrastruktury tramwajowej, a także może powodować wykolejenie tramwaju [10, 16].

2. Metody oceny bezpieczeństwa infrastruktury tramwajowej

2.1. Ogólna ocena ryzyka

W ocenie systemu transportowego dla danego obszaru występuje ryzyko operacyjne, związane z codzienną działalnością firm przewozowych i utrzymaniowych. Ryzyko to występuje podczas realizacji procesu ruchu tramwajowego, czyli w sytuacjach powtarzalnych, znanych i dobrze rozumianych, realizowanych cyklicznie. W ujęciu ogólnym ryzyko operacyjne to straty wynikające z niewłaściwych lub zawodnych: procesów (ruchu tramwajowego), ludzi (uczestników ruchu) i systemów (infrastruktura, pojazd tramwajowy i system organizacyjny) oraz zdarzeń zewnętrznych (warunki atmosferyczne, wandalizm, terroryzm itp.). Analizę i ocenę przeprowadzono dla trzech rodzajów ryzyka: indywidualnego, grupowego i społecznego [8, 9].

Ryzyko indywidualne odnosi się do zachowań pojedynczego uczestnika ruchu lub pojedynczego pojazdu na analizowanym obiekcie transportowym. Zatem jest to prawdopodobieństwo poniesienia strat o określonej ciężkości w ciągu jednej podróży lub w ciągu wybranego przedziału czasu, kiedy dany uczestnik ruchu jest narażony na niebezpieczeństwo ze strony infrastruktury transportowej i innych uczestników ruchu drogowego. Skutkiem zachowania indywidualnego w tym ujęciu będzie wywrócenie się lub wypadnięcie pojazdu z torów i uderzenie w inny pojazd lub wypadnięcie poza obiekt. Ryzyko to daje podstawę zarządom infrastruktury transportowej, do utrzymania założonego poziomu ryzyka w zależności od klasy linii i wielkości ruchu. Ryzyko indywidualne może być kontrolowane, a jego poziom może być efektywnie obniżany. Model matematyczny ryzyka indywidualnego, w tym przypadku ma postać (1):

$$RI = P * SI(1) \quad (1)$$

gdzie: RI – ryzyko indywidualne, P – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego, SI – straty indywidualne w zdarzeniu niebezpiecznym

Ryzyko społeczne jest to strata (liczba ofiar, a także straty materialne poniesionych w wypadkach drogowych) w przyjętym okresie (najczęściej w przeliczeniu na rok) na wybranym obszarze, która może wystąpić w wyniku zdarzeń niebezpiecznych wywołanych przez nieprawidłowe funkcjonowanie systemu transportu tramwajowego. Ryzyko społeczne daje podstawy dla zarządu transportu i władz miasta oraz instytucji zarządzających bezpieczeństwem (policja, służby ratownicze, służba zdrowia) do podejmowania decyzji, jak usprawnić najbardziej zagrożone elementy systemu bezpieczeństwa ruchu tramwajowego, a także najefektywniej wydać przewidywany budżet na bezpieczeństwo. Model ryzyka społecznego ma postać (2):

$$RS = E \cdot P \cdot S \quad (2)$$

gdzie: RS – ryzyko społeczne, E – narażenie – reprezentuje ilościową miarę wystawienia uczestników ruchu na potencjalne zagrożenie (np. praca przewozowa), S – straty w zdarzeniach niebezpiecznych.

2.2. Inspekcja stanu technicznego i bezpieczeństwa infrastruktury tramwajowej

Ocena bezpieczeństwa infrastruktury tramwajowej wynika z typowej metodyki diagnostycznej, polegającej na kojarzeniu obserwacji z pomiarami. Opisuje

się zauważone uszkodzenia, wady i uchyby w nawierzchni torowej (szyna, podkład, przytwierdzenia, podsypka), ocenia się stabilność konstrukcyjną oraz prawidłowość geometryczną. W zakresie rozjazdów ocenia się stabilność rozjazdu, zużycie elementów rozjazdów, prawidłowość usytuowania elementów, prawidłowość sterowania i działania napędów rozjazdów. Kolejnymi ocenianymi elementami są elementy otoczenia infrastruktury torowej, czyli stan techniczny przejść i przejazdów przez tory, stan słupów trakcyjnych.

Inspekcja drogi pod kątem bezpieczeństwem ruchu drogowego jest elementem systemu zarządzania brd w oparciu o zarządzanie ryzykiem i należy do grupy działań oraz środków prewencyjnych stosowanych przez zarządzających infrastrukturą drogową. Inspekcja ta ma na celu identyfikację zagrożeń i źródeł zagrożeń na sieci dróg tramwajowych, co pozwoli na wdrożenie efektywnych środków poprawy bezpieczeństwa użytkowników, a także podniesienie standardów infrastruktury. W odniesieniu do infrastruktury tramwajowej, będącej elementem składowym infrastruktury transportowej miasta, występują potencjalne kolizje z ruchem samochodowym, rowerowym i pieszym. Zadaniem inspekcji brd w tym przypadku będzie identyfikacja źródeł zagrożeń, które mogą przyczynić się do wystąpienia wypadków z udziałem tramwajów lub pośrednio infrastruktura tramwajowa może wpłynąć na wypadki bez udziału tramwajów (np. przekraczanie jezdni w miejscach niedozwolonych przez pieszych w celu dotarcia na peron przystanku tramwajowego – zagrożenie najechania przez pojazd samochodowy na pieszego).

2.3. Badania ankietowe

W listopadzie 2017 r. przeprowadzono akcję ankietową wśród motorniczych operatora Gdańskie Autobusy i Tramwaje sp. z o.o. Anonimowa ankieta składała się z dziewięciu pytań:

- ocena zagrożenia, jakie niesie za sobą eksploatacja poszczególnych elementów sieci tramwajowej,
- wskazanie 3 najbardziej niebezpiecznych lokalizacji na sieci tramwajowej w Gdańsku i opisanie źródła zagrożenia,
- wskazanie czynności, wykonywanych podczas pracy motorniczego, które najbardziej go rozpraszają i mogą powodować dekoncentrację,
- wskazanie najważniejszego problemu, dotyczącego bezpieczeństwa ruchu tramwajowego, który powinien być jak najszybciej rozwiązany,
- subiektywna ocena poszczególnych elementów infrastruktury tramwajowej,
- subiektywna ocena techniki jazdy motorniczych,

- określenie, w jakich okolicznościach ankietowany najczęściej wykorzystuje hamowanie awaryjne,
- wskazanie, w jakich porach dnia najczęściej występują opóźnienia i w jaki sposób ankietowany stara się je minimalizować,
- określenie, czy ankietowana osoba uczestniczyła w ostatnim roku w zdarzeniu drogowym z udziałem prowadzonego przez siebie tramwaju oraz wskazania jakie przyczyny doprowadziły do zaistnienia kolizji.

W akcji ankietowej uzyskano 52 wypełnione ankiety.

2.4. Badanie konfliktów

Konflikty między taborem tramwajowym a pojazdem kołowym występują w obrębie krzyżowania się torowiska z torem ruchu pojazdu (przy torowisku wydzielonym z jezdni). W wyniku zdarzenia drogowego z udziałem tych dwóch grup pojazdów, poszkodowanymi są zazwyczaj kierujący oraz pasażerowie samochodów, w przypadku poważniejszego incydentu również pasażerowie transportu publicznego [14]. Konflikty między taborem tramwajowym a pieszymi najczęściej mają miejsce na wyznaczonych przejściach dla pieszych lub na peronach przystankowych. Dodatkowo występują konflikty, gdy piesi przechodzą w miejscach niewyznaczonych. Zdarzenia drogowe, których uczestnikami są piesi, zazwyczaj niosą ze sobą bardzo groźne skutki, wynika to z gabarytów, masy oraz prędkości pojazdu szynowego, a także braku jakiegokolwiek ochrony pieszego. Środkami pozwalającymi na dokładne badania warunków bezpieczeństwa w danej lokalizacji jest rejestracja za pomocą kamer wideo. Poprzez szczegółową analizę uzyskanych materiałów, można zidentyfikować zagrożenia, wpływające na liczbę sytuacji konfliktowych.

3. Charakterystyka sieci tramwajowej w Gdańsku

Sieć tramwajowa wraz z linią Szybkiej Kolei Miejskiej stanowi szkielet sieci transportu zbiorowego Gdańska. Dziennie z transportu tramwajowego korzysta około 290 tysięcy pasażerów, co stanowi około 45% udział przewozów realizowanych na zlecenie Zarządu Transportu Miejskiego w Gdańsku. Największe potoki pasażerskie występują na odcinkach łączących dzielnice Wrzeszcz i Zaspę ze Śródmieściem oraz pomiędzy Śródmieściem a Chełmem. Liczba przejazdów składów tramwajowych na poszczególnych odcinkach sieci jest skorelowana z potokiem pasażerskim, a zatem największe natężenie ruchu tramwajowego występuje na wspomnianych odcinkach (rys. 1).



Rys. 1. Kartogram potoków pasażerskich na sieci tramwajowej w Gdańsku w ciągu doby dla 2016 r. (źródło: *Gdański Model Podróży 2016*)

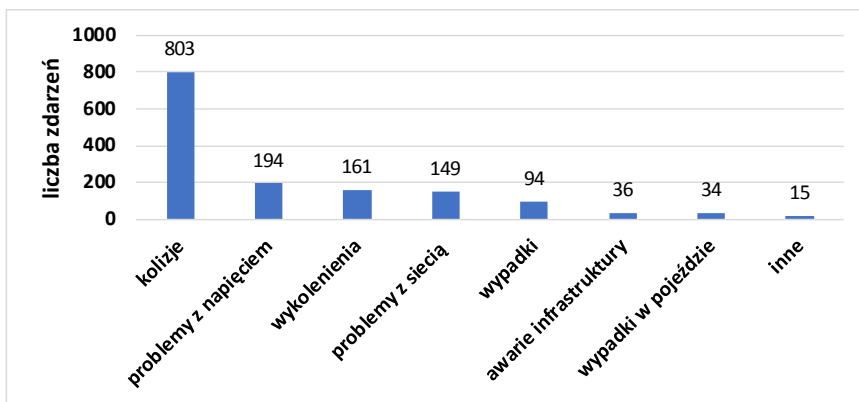
Długość torów zarządzanych przez Zarząd Transportu Miejskiego w Gdańsku wynosi 116 399 m toru pojedynczego (100 154 m stanowią tory szlakowe, 16 254 tory węzłowe). W większości torowiska w Gdańsku są wydzielone z jezdni i prowadzone w pasie rozdziału pomiędzy jezdniami dwupasmowych arterii (66,3% torowisk) lub asymetrycznie obok jezdni (23,7%). Występują również odcinki, na których tory tramwajowe zlokalizowano w jezdni (8,5%), a ostatnią grupę stanowią odcinki poprowadzone niezależnie w stosunku do drogi (1,5%) [6].

4. Wyniki oceny bezpieczeństwa infrastruktury tramwajowej

4.1. Analiza zdarzeń niebezpiecznych

Spośród wszystkich zdarzeń zachodzących na sieci tramwajowej Gdańska, najczęstszymi są kolizje (rys. 2). Wewnętrzna baza danych, opracowywana przez Gdańskie Autobusy i Tramwaje pozwala jednak wyróżnić również inne zdarzenia,

które spowodowały zakłócenia lub zatrzymanie ruchu tramwajowego. Według bazy GAI T z lat 2013–2017 drugą najczęstszą przyczyną wstrzymania ruchu tramwajowego był zanik napięcia w sieci trakcyjnej, wynikający z różnego rodzaju awarii pracy podstacji. Kolejnym powodem wstrzymania ruchu są wykolejenia pojazdów, które występują w wyniku nieprawidłowego cofania, awarii zwrotnicy lub też innych uszkodzeń infrastruktury torowej. Od 2015 r. występuje silnie rosnąca tendencja liczby wykolejeń, wynikająca być może z pogarszającego się stanu technicznego torowisk tramwajowych oraz niewystarczającego jego utrzymania [6].

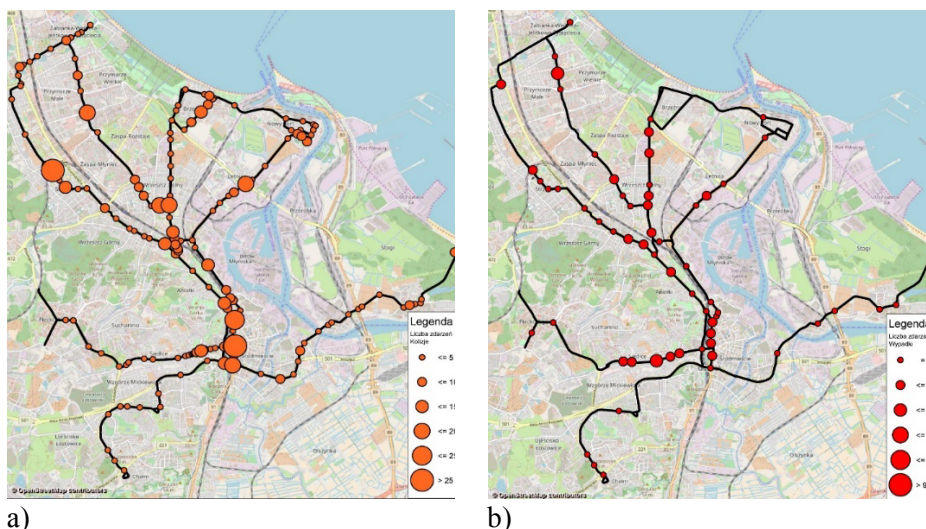


Rys. 2. Liczba zdarzeń na sieci tramwajowej Gdańska z lat 2013–2017 (źródło: GAI T)

Na przestrzeni ostatnich 5 lat, według danych wewnętrznych GAI T, odnotowano w ciągu roku średnio około 900 zdarzeń. Od 2013 r. utrzymuje się wzrostowy trend liczby kolizji z udziałem tramwajów (od 141 kolizji w 2013 r. do 187 w 2016 r.). Jednocześnie liczba wypadków utrzymuje się w okolicach 20 na rok. Do najczęstszych przyczyn wypadków i kolizji zaliczają się kolejno: nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu, niedostosowanie prędkości do warunków ruchu, wejście pieszego na tor ruchu przy czerwonym świetle, wjazd pojazdu na tor ruchu przy czerwonym świetle, niepoprawne wykonywanie manewru podczas jazdy. Spośród rodzajów zdarzeń zaliczanych do kolizji i wypadków, odnotowano, że najczęściej dochodzi do zderzeń bocznych pojazdów, które ma miejsce na skrzyżowaniach podczas przecinania się torów ruchu pojazdu tramwajowego z innymi pojazdami. Drugim rodzajem zdarzeń spośród kolizji i wypadków jest najechanie na pieszego. Do kolejnych zaliczane są najechania na pojazd poprzedzający, występujące najczęściej pomiędzy dwoma pojazdami tramwajowymi, ale również na niewydzielonych torowiskach tramwajowych, na których

dopuszczony jest ruch samochodowy, oraz zderzenia czołowe najczęściej pomiędzy dwoma pojazdami tramwajowymi na skrzyżowaniach. Zdecydowanie najczęstszymi sprawcami zdarzeń są kierowcy samochodów (77%), pozostali uczestnicy ruchu, jako sprawcy: piesi – 6%, motorniczy – 9%, inne – 7%. Jeden procent wszystkich kolizji spowodowanych jest z winy pasażera [17]. Lokalizacje kolizji i wypadków przedstawiono na rys. 3. Na podstawie analizy baz danych dotyczących zdarzeń niebezpiecznych na sieci tramwajowej w Gdańsku, ze szczególnym uwzględnieniem liczby kolizji i wypadków z udziałem tramwajów stwierdzono, że:

- na sieci tramwajowej występują liczne punkty i odcinki krytyczne, w których zachodzi zwiększone ryzyko zdarzenia zagrażającemu życiu uczestników ruchu drogowego,
- konieczne jest podjęcie natychmiastowych działań, których efektem będzie istotne zmniejszenie liczby wypadków i kolizji w skali całego miasta, a w szczególności we wskazanych punktach i odcinkach krytycznych,
- od 2015 r. występuje silnie rosnąca tendencja liczby wykojeń, która wynikać może z pogarszającego się stanu technicznego torowisk tramwajowych oraz niewystarczającego jego utrzymania – należy podjąć działania zmierzające do zmiany tej tendencji.

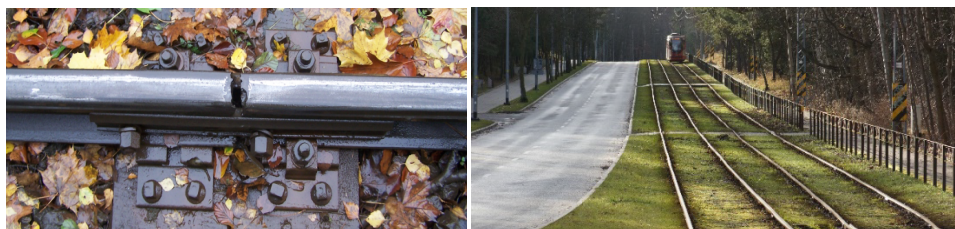


Rys. 3. Lokalizacje kolizji (a) i wypadków (b) w latach 2013–2017 (źródło: GAIT)

4.2. Ocena stanu technicznego infrastruktury tramwajowej

Na podstawie wizualnej oceny stanu technicznego infrastruktury tramwajowej (tory) wykonano klasyfikację całej sieci w Gdańsku. Nie wykonano szczegółowej parametryzacji poszczególnych elementów infrastruktury, ale je zidentyfikowano oraz wskazano podstawowe problemy utrzymaniowo-eksploatacyjne. Do identyfikacji najbardziej problematycznych miejsc wykorzystano wyniki pomiarów torowiskiem elektronicznym. Jednym z głównych problemów gdańskiej sieci tramwajowej są torowiska zabudowane w jezdni. Do oceny stanu technicznego torów tramwajowych w Gdańsku przyjęto następującą klasyfikację (rys. 4):

- *Stan krytyczny* oznacza stan, w którym parametry geometryczne toru zostają wielokrotnie oraz w sposób ciągły i znaczny przekroczone, a elementy nawierzchni wymagają natychmiastowej wymiany. Dalsza eksploatacja jest niebezpieczna dla zdrowia i życia pasażerów, a także motorniczych oraz grozi uszkodzeniem taboru (zidentyfikowano ok. 1 km długości torów).
- *Stan bardzo zły* oznacza stan, w którym parametry geometryczne toru są znacznie przekroczone a elementy nawierzchni wymagają natychmiastowej wymiany. Dalsza eksploatacja jest niebezpieczna dla zdrowia pasażerów i motorniczych (ok. 2 km długości torów).
- *Stan zły* oznacza stan, w którym parametry geometryczne toru są przekroczone na znacznej długości a elementy nawierzchni wymagają wymiany (ok. 4 km długości torów).
- *Stan przeciętny* oznacza stan, w którym parametry geometryczne toru są przekroczone na znacznej długości.
- *Stan dobry* oznacza stan, w którym parametry geometryczne są co najwyżej punktowo przekroczone, torowisko jest stabilne, ale zabrudzone (np. nieoczyszczone rowki szyn, niewielkie zachwaszczenie).
- *Stan bardzo dobry* oznacza stan, w którym parametry geometryczne są co najwyżej punktowo przekroczone, torowisko jest stabilne i czyste [6].



Rys. 4. Przykłady krytycznego i bardzo złego stanu technicznego torów tramwajowych

4.3. Ocena stanu bezpieczeństwa na podstawie inspekcji

Dla potrzeb niniejszej pracy, została przeprowadzona inspekcja bezpieczeństwa ruchu tramwajowego (brt) w terenie, wzdłuż wybranych linii tramwajowych w Gdańsku, w zakresie bezpieczeństwa ruchu tramwajowego i drogowego. Na podstawie przeprowadzonych badań zidentyfikowano powtarzające się problemy lub takie, które występują na dłuższych odcinkach linii, będące źródłami zagrożeń i zagrożeniami dla uczestników ruchu drogowego. Najczęstsze błędy i mankamenty infrastruktury tramwajowej:

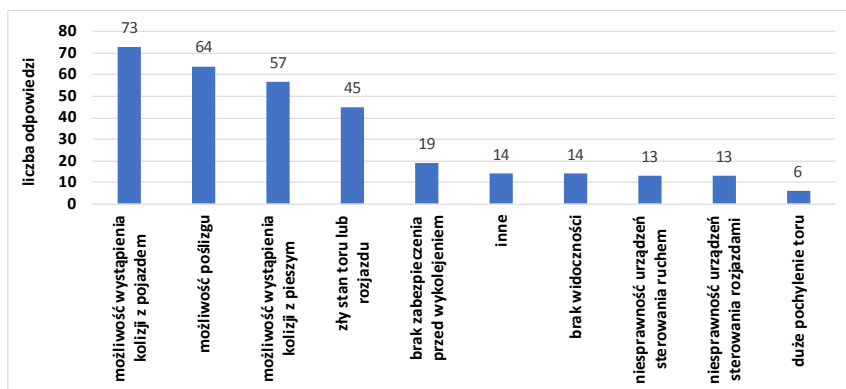
- prowadzenie linii tramwajowej w jezdni, bez jej wydzielenia, co skutkuje pojawianiem się pieszych na jezdni, którzy wsiadają lub wysiadają z tramwajów (rys. 5A),
- brak zabezpieczenia przystanków tramwajowych przed skutkami najechania na peron pojazdów samochodowych (rys. 5B),
- brak zabezpieczeń przed przekraczaniem w dowolnych, nie wyznaczonych miejscach, torów tramwajowych i jezdni przez pieszych (rys. 5C),
- brak sygnalizacji świetlnej dla pieszych na przejściach przez tory tramwajowe, szczególnie przy występowaniu przekrojów drogowych typu 2x2 z torowiskiem w pasie dzielącym (rys. 5 D),
- zły stan techniczny oznakowania dedykowanego infrastrukturze tramwajowej (rys. 5E),
- brak wyposażenia przejść dla pieszych w urządzenia dla osób niewidomych i niedowidzących (rys. 5F),
- przeszkody w obrębie skrzyżowań – np. słupy trakcyjne, oświetleniowe (rys. 5G),
- zagrożenia w przypadku wykolejenia się tramwaju na pochyleniach podłużnych (rys. 5H).



Rys. 5. Przykłady zagrożeń na sieci tramwajowej w Gdańsku

4.4. Ankieta

Jednym z pytań umieszczonych w ankiecie było wskazanie według ankietowanego trzech najbardziej niebezpiecznych lokalizacji na sieci tramwajowej w Gdańsku i opisanie źródła zagrożenia. Lokalizacja punktów niebezpiecznych w znacznej części pokrywała się ze wskazaniami z inspekcji stanu technicznego i bezpieczeństwa ruchu. Wśród źródeł zagrożeń dominowały możliwości: wystąpienia kolizji z pojazdem, poślizgu oraz wystąpienia kolizji z pieszym (rys. 6).



Rys. 6. Zestawienie wskazań źródeł zagrożenia w miejscach szczególnie niebezpiecznych w Gdańsku, według ankietowanych motorniczych [6]

4.5. Badanie konfliktów

W ramach badania konfliktów dotyczących ruchu tramwajowego, przeprowadzono w październiku 2018 r. analizę całodobowego monitoringu na skrzyżowaniu ulic Kartuska – Ciasna w Gdańsku (rys. 7). Najczęściej rejestrowano następujące sytuacje konfliktowe:

- brak widoczności,
- brak powierzchni akumulacji – pojazdy skręcające w prawo utrudniają ruch na drodze głównej,
- nieodpowiednia lokalizacja przejścia dla pieszych – pojazdy ustępujące pierwszeństwa pieszym zatrzymują się na obszarze torowiska,
- brak wyznaczonego przyjazdu rowerowego – nieuporządkowany ruch rowerowy,
- brak wygrodzeń przy przejściu – przechodzenie pieszych w miejscach niedozwolonych.



Rys. 7. Lokalizacja badania konfliktów – ul. Kartuska w Gdańsku

4.6. Ocena ryzyka na węzłach istniejącej sieci tramwajowej

Na rys. 8 przedstawiono klasyfikację ryzyka społecznego i indywidualnego na węzłach tramwajowych w Gdańsku. Ryzyko oszacowano metodą reaktywną w oparciu o dane ze zdarzeń drogowych. Przeprowadzona analiza wskazuje, że najbardziej niebezpiecznymi węzłami z punktu widzenia zarządców infrastruktury tramwajowej (GDZiZ) oraz zarządzających ruchem tramwajowym (ryzyko społeczne mierzone liczbą zdarzeń na 1 mln tramwajów) są węzły: Unii Europejskiej, Hucisko, Nowe Ogrody, Stogi Plaża, Hallera – Mickiewicza, Oliwska – Rybołowców. Natomiast najbardziej niebezpiecznymi węzłami z punktu widzenia pasażerów tramwajów (ryzyko indywidualne mierzone w tys. zł. na mln pasażerów) są węzły: Stogi Plaża, Pasamil, Hallera – Uczniowska, Pomorska – Chłopska, Władysława IV – Zajezdnia, Myśliwska. Na tych węzłach występuje nieakceptowany poziom ryzyka, tzn. że powinny tam zostać podjęte natychmiastowe działania zaradcze.

Nr węzła	Nazwa węzła	Ryzyko	
		społeczne LZDT	indywidualne KZDP
		[zdarzeń/1 mln tramw.]	[tys. zł/1 mln pasaż.]
1	Unii Europejskiej		
2	Hucisko		
3	3 Maja - Nowe Ogrody		
4	Pętla Siedlce		
5	Pętla Przeróbka		
6	Pętla Pasamil		
7	Stogi Plaża		
8	Piastowska		
9	Brama Oliwska		
10	Opera		
11	Krzyżanowskiego		
12	Pętla Strzyża		
13	Pętla Oliwa		
14	Pomorska - Chłopska		
15	Pętla Jelitkowo		
16	Pętla Zaspą		
17	Hallera- Mickiewicza		
18	Hallera - Kliniczna		
19	Węzeł Kliniczna		
20	Hallera - Uczniowska		
21	Brzeźno Plaża		
22	Węzeł Brzeźno		
23	Oliwska - Rybołowców		
24	Władysława IV - Zajezdnia Nowy Port		
25	Plac Wolności		
26	Groddecka		
27	Witosa - Sikorskiego		
28	Rakoczego - Bulońska		
29	PKM Brętowo		
30	Myśliwska		

Ryzyko	
bardzo małe	
małe	
średnie	
duże	
bardzo duże	

Rys. 8. Zestawienie klasyfikacji ryzyka na węzłach tramwajowych w Gdańsku [6]

5. Wnioski i rekomendacje

Inspekcja torowisk tramwajowych pod względem stanu technicznego i stanu bezpieczeństwa, ocena ryzyka na sieci tramwajowej, badania ankietowe, a także analizy konfliktów pozwoliły na zidentyfikowanie licznych zagrożeń dotyczących infrastruktury tramwajowej. W związku z powyższym zalecane jest podjęcie działań, których celem jest poprawa bezpieczeństwa użytkowników transportu tramwajowego. Do takich działań należą:

- szczegółowa analiza bezpieczeństwa ruchu w punktach kolizyjnych ruchu tramwajowego z ruchem innych pojazdów, a także pieszych, oceniająca poprawność zastosowanych rozwiązań (widoczność, oznakowanie, organizacja ruchu itd.) oraz określająca stopień ryzyka wystąpienia zdarzenia (wypadku, kolizji),
- wdrożenie działań doraźnych w miejscach występowania największej liczby kolizji i wypadków, poprawiających bezpieczeństwo ruchu w postaci np. dodatkowego oznakowania poziomego i pionowego, w tym sygnalizatorów ostrzegawczych,
- prowadzenie szkoleń motorniczych, dotyczących bezpieczeństwa ruchu,
- uruchomienie kampanii edukacyjnych kierowców i pieszych, uświadamiających o parametrach ruchu pojazdów szynowych,
- weryfikacja efektywności utrzymania odpowiedniego poziomu sprawności nawierzchni torowej, sterowanie rozjazdami, sygnalizacji świetlnej, sieci trakcyjnej oraz jej zasilania, a także dodatkowe oznakowanie miejsc szczególnie narażonych na uszkodzenie sieci przez pojazdy ciężarowe,
- podjęcie działań zmierzających do poprawy standardów infrastruktury w zakresie: zwiększenia widoczności pomiędzy tramwajem i innymi użytkownikami ruchu drogowego (kierowcy, piesi i rowerzyści), polepszenia percepcji systemu i informacja dla innych uczestników ruchu (lepsze rozpoznanie strefy ruchu tramwajowego, oznakowanie pionowe i poziome, sygnalizacja świetlna) oraz ochrony (zabezpieczenie poprzez wygrozdzenia, bariery, usuwanie przeszkód), również poprawa stanu technicznego torowisk,
- szczegółowa ocena ryzyka na odcinkach o większych pochyleniach podłużnych (ok. 5%).

6. Literatura

1. Accident Investigation Board: Collision of Trams on Mäkeläkatu in Helsinki, Finland, on 13 June. Raport B2/2008R.
2. Accidentology of Tramways: Analysis of reported events – year 2012 – evolution 2004 – 2012. Ministry of Ecology, Sustainable Development and Energy MEDDE – DGITM Technical Office for Mechanical Lifts and Guided Transport Systems (STRMTG) Tram Division. REPORTS February 2014.
3. Candappa N., Corben B., Yuen J.: Addressing the Conflict Potential between Motor Vehicles and Trams at Cut-through Locations. Monash University, Report No. 317, 2013.
4. Fontaine L., Novales M., Bertrand D., Teixeira M.: Safety and operation of tramways in interaction with public space. 6th Transport Research Arena April 18-21 2016, Transportation Research Procedia, vol. 14, 2016.
5. Guerrieri M.: Tramways in Urban Areas: An Overview on Safety at Road Intersections. Urban Rail Transit, vol. 4, iss. 4, 2018.
6. Jamroz K. (kier. projektu): FRIL, TRAFIK, Transprojekt Gdański: Audyt bezpieczeństwa ruchu tramwajowego w Gdańsku w ramach zadania "Dokumentacja dla przyszłych projektów", Gdańsk 2017.
7. Jamroz K. (red.): Ochrona pieszych. Podręcznik organizatora ruchu pieszego. SKRBRD, Gdańsk, Kraków, Warszawa 2014.
8. Jamroz K.: Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii Drogowej. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011.
9. Jamroz K.: Strategic risk modelling in highway engineering, Journal of KONBiN, vol. 4(20), 2011, doi.org/10.2478/v10040-012-0040-6.
10. Kahlouche A., Chaib R.: An overview of Constantine's tram safety. Transport and Telecommunication, vol. 18, no. 4, 2017.
11. KOMEDO: The tram accident in Gothenburg March 12, 1992 – Report 62.
12. Korycki T.: Propozycje zmian zwiększających bezpieczeństwo pasażerów na przystankach tramwajowych we Wrocławiu. TTS Technika Transportu Szybowego, r. 15, nr 1-2, 2009.
13. Liu X., Barkan Ch., Saat R.: Analysis of Derailments by Accident Cause Evaluating Railroad Track Upgrades to Reduce Transportation Risk. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2261, 2011, DOI: 10.3141/2261-21.
14. Ostrowski K.: Bezpieczeństwo ruchu na przejazdach tramwajowych. Logistyka, 3/2014, 2014.
15. RAIB: Rail Accident Report: Overturning of a tram at Sandilands junction, Croydon 9 December 2016. Report 18/2017, December 2017.
16. Restel F., Wolniewicz L.: Tramway Reliability and Safety Influencing Factors. 10th Inter. Scientific Conference Transbaltica 2017, Transportation Science and Technology, Procedia Engineering 187, 2017.

17. Szmagliński J., Grulkowski S., Birr K.: Identification of safety hazards and their sources in tram transport. MATEC Web of Conferences 231: 05008, 2018.
18. Tram accidents' analysis – France. Menetrix Laetitia STRMTG, French Guided Transport Technical Service - Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, 2012.