

Metodyka oceny bezpieczeństwa transportu tramwajowego w Gdańsku¹

KAZIMIERZ JAMROZ

dr hab. inż., prof. PG, Politechnika Gdańska,
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska,
Katedra Inżynierii Drogowej i Transportowej,
e-mail: kjamroz@pg.edu.pl

JACEK SZMAGLIŃSKI

dr inż., Politechnika Gdańska,
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska,
Katedra Inżynierii Drogowej i Transportowej,
e-mail: jszmaglinski@pg.edu.pl

SŁAWOMIR GRULKOWSKI

dr inż., Politechnika Gdańska,
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska,
Katedra Inżynierii Drogowej i Transportowej,
e-mail: sgrulkowski@pg.edu.pl

KRYSTIAN BIRR

dr inż., Politechnika Gdańska,
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska,
Katedra Inżynierii Drogowej i Transportowej,
krystian@birr.pl

Streszczenie: Zarówno w Polsce, jak i w większości krajów Unii Europejskiej infrastruktura tramwajowa intensywnie się rozwija. Współczesne tramwaje niskopodłogowe zbudowane konstruowane są zgodnie z innymi rozwiązaniami technicznymi niż typowe pojazdy szynowe lub tramwaje wysokopodłogowe. W Polsce takie pojazdy jeżdżą często na liniach zaprojektowanych zgodnie ze standardami opracowanymi dla klasycznych pojazdów. Jednocześnie zwiększa się natężenie ruchu drogowego i liczba osób korzystających z rowerów w miastach, co powoduje większą liczbę niebezpiecznych sytuacji w punktach kontaktowych między różnymi środkami transportu. Przedmiotem niniejszego artykułu jest analiza zagrożeń bezpieczeństwa w transporcie tramwajowym oraz wskazanie metod ich redukcji. Jest to swoista analiza ryzyka występującego w transporcie tramwajowym. W artykule przedstawiono podział i opis czynników, które stanowią zagrożenie bezpieczeństwa dla ruchu tramwajowego. Zagrożenia zostały podzielone ze względu na przyczyny i skutki. Powody zostały podzielone na czynnik ludzki – pojazd – ruch drogowy – otoczenie. Na podstawie analizy przeprowadzonej na sieci tramwajowej w Gdańsku oraz na wykorzystywanym w Gdańsku taborze, zidentyfikowano główne zagrożenia bezpieczeństwa ruchu tramwajowego.

Słowa kluczowe: transport miejski, transport tramwajowy, bezpieczeństwo przewozów.

Wprowadzenie

Transport tramwajowy po dekadach stagnacji przeżywa obecnie okres rozkwitu. Intensywnie rozbudowuje się infrastrukturę tramwajową. Pasażerowie oczekują coraz wyższego komfortu jazdy, krótszego czasu przejazdu, coraz większego poczucia bezpieczeństwa i wzrostu niezawodności tego środka transportu. Zwiększające się oczekiwania pasażerów stanowią źródło powstawania coraz bardziej złożonych wyzwań, również w zakresie bezpieczeństwa ruchu. Współczesne tramwaje niskopodłogowe konstruowane są według odmiennych założeń technicznych niż te z końca XX wieku. W porównaniu do klasycznych tramwajów wysokopodłogowych są szybsze, cięższe oraz posiadają wyżej usytuowany środek ciężkości. Pojazdy takie poruszają się w Polsce najczęściej po liniach projektowanych według standardów opracowanych

w czasach eksploatacji pojazdów klasycznych (wysokopodłogowych wagonach wzorowanych na tramwajach PCC). Jednocześnie w miastach coraz bardziej wzrasta natężenie ruchu drogowego oraz liczba osób korzystających z transportu rowerowego, co przekłada się na większą liczbę niebezpiecznych sytuacji na styku różnych środków transportu.

Celem artykułu jest przedstawienie metody oceny bezpieczeństwa transportu tramwajowego oraz wskazanie zagrożeń ruchu tramwajowego na przykładzie analizy dla miasta Gdańska.

Metody oceny i podziału zagrożeń bezpieczeństwa w transporcie

Wiele aspektów dotyczących definicji pojęć zagrożeń, wypadkowości i ryzyka w transporcie szynowym ujętych zostało w dokumentach unijnych [1,2,3]. Według zawartych tam nomenklatur zagrożenie oznacza stan, który może prowadzić do wypadku. Z kolei „wypadek” oznacza niechciane lub niezamierzone nagłe zdarzenie lub ciąg takich zdarzeń, które mają dotkliwe konsekwencje. Incydent oznacza każde zdarzenie, inne niż wypadek, związane z ruchem pociągów i mające wpływ na jego bezpieczeństwo. Konsekwencją powyższych stwierdzeń jest definicja ryzyka. „Ryzyko” oznacza częstość wypadków i incydentów prowadzących do szkody (spowodowanej zagrożeniem) oraz stopień powagi tej szkody, co, urealnijając pojęcie, prowadzi do stwierdzenia, że „ryzyko” to potencjalna możliwość urealnienia się zagrożenia [6]. Eksploatacja każdego systemu technicznego, w tym również systemu tramwajowego, odnosi się do systemu utrzymania oraz systemu użytkowania.

Priorytetowym celem istnienia systemu tramwajowego jest realizacja masowych przewozów osób. Zachodzą wtedy dwa procesy: użytkowania i obsługi. W procesach tych pojawia się ryzyko spełnienia się zagrożenia. Odmienny charakter tego ryzyka będzie występował w procesie użytkowania systemu tramwajowego, a inny w procesie jego obsługi. Zakłada się, że podczas użytkowania systemu ryzyku poddani będą pasażerowie, obsługa pojazdów i użytkownicy ruchu drogowego, w tym piesi, a podczas obsługi – pracownicy zaplecza technicznego. Minimalizacja

¹ ©Transport Miejski i Regionalny, 2019. Wkład autorów w publikację: K. Jamroz 40%, J. Szmagliński 20%, S. Grulkowski, 20%, K. Birr 20%.

ryzyka związana jest z funkcjonowaniem systemu – określa się wymogi bezpieczeństwa, jakie ten system powinien spełniać. Rozporządzenia UE [1] w istocie wymieniają dwie miary ryzyka: pierwsza to częstość wypadków i incydentów prowadzących do szkody, a druga – stopień powagi zdarzenia. W związku z tym w nomenklaturze unijnej pojawiają się wskaźniki bezpieczeństwa w transporcie szynowym, takie jak: liczba wypadków z podziałem na rodzaje, liczba osób poszkodowanych, liczba wypadków podczas przewozu towarów niebezpiecznych, liczba samobójstw, liczba zdarzeń poprzedzających wypadki związanych z niewłaściwym stanem technicznym infrastruktury i układu biegowego pojazdów, a także błędami operatora.

Do tej pory w Polsce nie podejmowano kompleksowych i szczegółowych badań związanych z zarządzaniem ryzykiem zagrożeń w transporcie tramwajowym. Badania w tym obszarze dotyczą tylko wybranych zagrożeń lub wybranych grup elementów systemów bezpieczeństwa. Głównym przedmiotem badań do tej pory było zagrożenie hałasem [11,8,12]. Innym problemem opisywanym szeroko są wykołajenia tramwajów, związane ze stanem torów [5].

Identyfikacja zagrożeń występujących w systemie tramwajowym jest o tyle trudniejsza, że istotą tego rodzaju transportu jest powiązanie pewnych cech transportu drogowego i szynowego. W tak skomplikowanym i rozbudowanym systemie warto rozpocząć klasyfikowanie zagrożeń od pierwotnego podziału na zagrożenia pochodzące od bieżącego użytkowania i eksploatacji systemu oraz zagrożenia wynikające z utrzymania sprawności systemu.

Na różnych poziomach struktur organizacyjnych transportu istnieje wiele podmiotów związanych z zarządzaniem ryzykiem w transporcie tramwajowym:

- motorniczowie i pasażerowie tramwajów oraz współużytkownicy tych samych przestrzeni miast wyznaczanych przez układy sieci tramwajowych;
- podmioty gospodarcze świadczące usługi w zakresie transportu tramwajowego;

- producenci i zakłady naprawcze tramwajów oraz urządzeń infrastruktury tramwajowej;
- regionalne i lokalne zarządy transportu oraz infrastruktury transportowej;
- uczelnie, instytuty badawcze i obserwatoria bezpieczeństwa transportu;
- samorządy regionalne i lokalne;
- władze, urzędy i instytucje centralne;
- organizacje międzynarodowe.

Metodyka oceny bezpieczeństwa ruchu tramwajowego

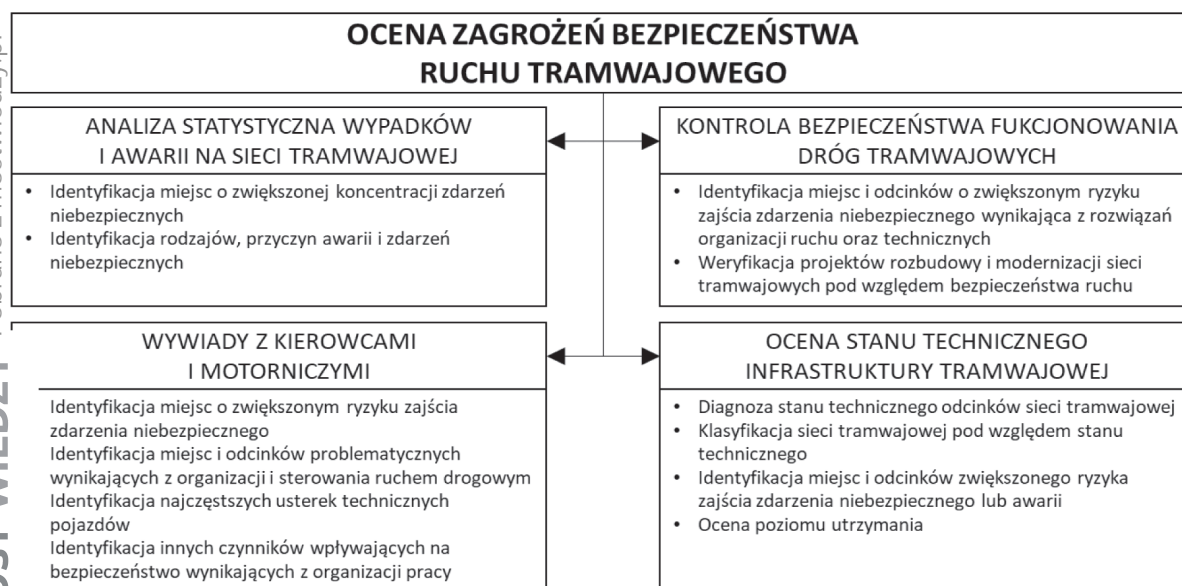
Opracowana metodyka oceny bezpieczeństwa ruchu tramwajowego oparta została na czterech elementach (rys. 1):

- ocena ryzyka ruchu tramwajowego na podstawie analizy zdarzeń niebezpiecznych na sieci tramwajowej,
- ocena stanu infrastruktury tramwajowej,
- kontrola bezpieczeństwa funkcjonowania dróg amwajowych,
- postrzeganie poziomu bezpieczeństwa przez uczestników ruchu tramwajowego.

Szczególnym elementem procesu oceny ryzyka jest wykrywanie zagrożeń. Jest to etap najbardziej pracochłonny i zdecydowanie angażujący potencjał inżynierski zespołu oceniającego. Wymagana jest przy tym nie tylko wiedza techniczna, ale też duży aspekt wyobraźni i przewidywania konsekwencji zaobserwowanych sytuacji.

Analizę bezpieczeństwa ruchu w gdańskiej sieci tramwajowej przeprowadzono w oparciu o następujące działania:

1. *Analiza statystyczna wypadków i awarii związanych z ruchem tramwajowym.* Takie analizy wykonywane powinny być cykliczne [7] w celu wykrycia miejsc o szczególnie wysokiej koncentracji sytuacji niebezpiecznych i oceny zastosowanych rozwiązań technicznych oraz organizacyjnych [4]. Badania oparto na danych udostępnionych przez operatora tramwajowego w Gdańsku oraz przez policję. Najpoważniejszym problemem, jaki występuje



1. Elementy działań w zakresie oceny zagrożeń bezpieczeństwa ruchu tramwajowego

o: opracowanie własne

podczas analiz takich zbiorów danych, jest ich niewielka dokładność. Służby sporządzające raport bardzo często opisują zdarzenie z dużym uogólnieniem, nierzadko nawet nie podając dokładnego miejsca wystąpienia zdarzenia. Ocena przyczyn wystąpienia zdarzenia najczęściej określana jest na podstawie stwierdzonej winy (wina motorniczego, wina obca), rzadko znajduje się pogłębiony opis związków przyczynowo-skutkowych.

2. *Ocena stanu torów tramwajowych według zasad opisanych w instrukcji Id-7 {9} oraz Id-8 {10}*. Według tych instrukcji ocenę stanu technicznego wykonuje się najczęściej poprzez oględziny wykonywane w czasie obchodów torów. W czasie obchodu, który na typowych liniach kolejowych powinien odbywać się przynajmniej raz w tygodniu, sprawdzany jest stan toru, rozjazdów, sieci trakcyjnej oraz elementów otoczenia. Ten rodzaj badania pozwolił na wykrycie zagrożeń związanych ze złym stanem torów lub elementów otoczenia sieci tramwajowej w Gdańsku.
3. *Badania ankietowe motorniczych, których celem było zidentyfikowanie przyczyn powstawania sytuacji niebezpiecznych*. Badania przeprowadzono z uwagi na trudność identyfikacji tych sytuacji na podstawie analiz stan toru oraz uogólnionych danych statystycznych. Formularze ankietowe wypełniło 50 motorniczych. Analizę rozpoczęto od skonfrontowania wskazanych przez motorniczych miejsc niebezpiecznych z wynikami analiz statystycznych wypadków. Następnie przeprowadzono wywiady z motorniczymi, które pozwoliły na określenie, jakie elementy infrastruktury, taboru lub systemu sterowania ruchem powodują zwiększenie u nich poczucia zagrożenia. Wskazane czynniki mogą być źródłem problemów związanych z bezpieczeństwem ruchu tramwajowego.
4. *Ocena projektów i weryfikacji założeń projektowych celem zidentyfikowania rozwiązań stwarzających zagrożenie zajścia zdarzenia niebezpiecznego*. Oceny dokonano poprzez szczegółową analizę projektowanych rozwiązań w szczególności na punktach węzłowych (azyle, widoczność itp.), odcinkach o dużym pochyleniu (długość odcinka, zabezpieczenia, punkty kolizyjne na początku/końcu odcinka itp.). Ponadto przeanalizowano powiązanie projektowanych tras i przystanków z uwagi na powiązanie funkcjonalno-przestrzenne z otoczeniem.

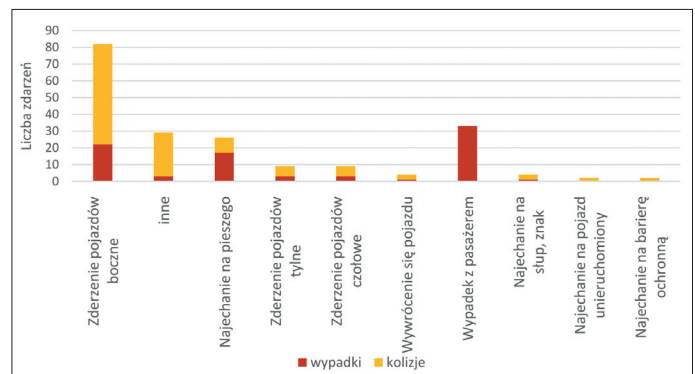
Uzyskane w ten sposób wyniki analiz umożliwiają utworzenie obrazu zagrożeń bezpieczeństwa ruchu tramwajowego na całej sieci. Na jego podstawie możliwe jest określenie niezbędnych do wykonania działań poprawiających bezpieczeństwo z uwzględnieniem klasyfikacji stopni ryzyka zajścia zdarzenia. Ponadto możliwe jest sformułowanie wytycznych dotyczących bieżących kontroli, utrzymania, projektowania zarządzania bezpieczeństwem ruchu.

Wyniki analiz i ocena

Do najczęstszych przyczyn wypadków i kolizji zaliczają się kolejno: nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu, niedostawanie prędkości do warunków ruchu, wejście pieszego na

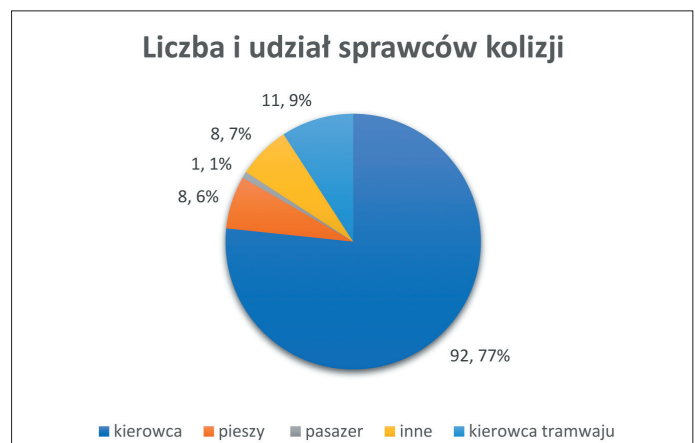
tor ruchu przy czerwonym świetle, wjazd pojazdu na tor ruchu przy czerwonym świetle, niepoprawne wykonywanie manewru podczas jazdy. Należy zaznaczyć, że pierwsza z wymienionych przyczyn występuje ponad dwukrotnie częściej niż druga najczęstsza przyczyna analizowanych zdarzeń.

Pośród rodzajów zdarzeń zaliczanych do kolizji i wypadków odnotowano, iż najczęściej dochodzi do zderzeń bocznych pojazdów (rys. 2), które ma miejsce na skrzyżowaniach podczas przecinania się torów ruchu pojazdu tramwajowego z innymi pojazdami. Drugim najczęściej występującym rodzajem zdarzeń spośród kolizji i wypadków jest najechanie na pieszego. Do kolejnych zaliczane są najechania na pojazd poprzedzający, które zachodzą najczęściej pomiędzy dwoma pojazdami tramwajowymi, ale również na niewydzielonych torowiskach tramwajowych, na których dopuszczony jest ruch samochodowy, oraz zderzenia czołowe, występujące najczęściej pomiędzy dwoma pojazdami tramwajowymi na skrzyżowaniach.



Rys. 2. Liczba zdarzeń pod względem rodzaju zdarzeń zaliczanych do kolizji i wypadków
Źródło: opracowanie własne

Zdecydowanie najczęstszymi sprawcami kolizji są kierowcy samochodów, którzy aż w 77% odpowiadają za wystąpienie zdarzenia (rys. 3). Rozkład sprawstwa pomiędzy pozostałych uczestników ruchu rozkłada się na równomierne poziome: pieszy – 6%, motorniczy – 9%, inne – 7%. Jeden procent wszystkich kolizji spowodowanych jest z winy pasażera.



Rys. 3. Liczba i udział sprawców kolizji z lat 2012–2016
Źródło: opracowanie własne na podstawie bazy SEWiK

Analizując powyższe dane, stwierdzasz, że punktami o najwyższym stopniu ryzyka zajścia zdarzenia zagrażającego bezpieczeństwu użytkowników ruchu są przejazdy tramwajowe, skrzyżowania i przejścia dla pieszych. Powyższe potwierdzają wyniki przeprowadzonych z motorniczymi badań ankietowych dotyczących identyfikacji zagrożeń na sieci tramwajowej Gdańska. Wywiady przeprowadzono z 52 motorniczymi, którzy zostali zapytani o indywidualne opinie dotyczące:

- zagrożeń, jakie niesie za sobą eksploatacja poszczególnych elementów sieci tramwajowej;
- lokalizacji miejsc uznanych za niebezpieczne;
- opisu zagrożeń oraz ich źródeł;
- dodatkowych obowiązków w czasie prowadzenia pojazdu oraz ich wpływu na skupienie uwagi;
- techniki prowadzenia tramwaju.

Na podstawie wywiadów określono, że dla motorniczych najważniejszymi czynnikami wpływającymi na zagrożenie bezpieczeństwa ruchu są:

- zły stan infrastruktury oraz systemów sterowania rozjazdami;
- zachowanie innych użytkowników drogi;
- brak widoczności (nieprzycinanie roślinności, niesprawne oświetlenie szlaków);
- błędy projektowe (brak wygrodzeń, niedostateczne pole widoczności, brak systemów sterowania ruchem),
- konieczność sprzedaży biletów powodująca rozpraszanie uwagi;
- regularne opóźnienia powodujące konieczność jazdy na granicy bezpieczeństwa;
- awarie techniczne w pojazdach.

Jako że jednymi z najczęściej wskazywanych odpowiedzi były te powiązane ze stanem technicznym infrastruktury, niezbędnym było wykonanie badań jej stanu. Zdecydowano się na wykonanie całościowych oględzin infrastruktury tramwajowej, co umożliwiło odnalezienie usterek nawierzchni torowej oraz urządzeń technicznych i następnie ocenę ich wpływu na bezpieczeństwo ruchu tramwajowego. Oceniane były następujące elementy opisujące stan nawierzchni:

- geometria toru – czy występują widoczne gołym okiem zaburzenia równości nawierzchni;
- stan szyn – czy występują nadmierne zużycia powierzchni tocznej lub bocznej toków szynowych, pęknięcia i złamania, uszkodzenia kontaktowo-zmęczeniowe, korozja, stan złączy spawanych;
- stan przytwierdzeń – kompletność złączy, dokręcenie połączeń śrubowych, czy występują ślady pełzania szyn;
- stan podkładów – czy występują pęknięcia, złamania, ślady murszu lub wgniatania przytwierdzeń w podkłady drewniane, czy podkłady nie są przesunięte lub przekoszone;
- stan torowiska – czy podsypka jest zanieczyszczona, ślady zachwaszczenia, braki podsypki, uszkodzenia konstrukcji betonowej lub asfaltowej w torowisku zabudowanym.

Dodatkowo ocenie podlegały elementy takie, jak stan przejść dla pieszych i przejazdów przez torowisko, rozjazdów, urządzeń sterowania ruchem. Na podstawie tak przeprowadzonej inspekcji sporządzono raport szczegółowy oraz raport uogólniony. W raporcie szczegółowym wskazano miejsca występowania pojedynczych elementów infrastruktury zagrażającej bezpieczeństwu ruchu tramwajowego, na przykład złamanie szyny, uszkodzenie podkładu (fot. 1 i 2)), niedoleganie iglic rozjazdu lub uszkodzenia nawierzchni przejazdu (fot. 3 i 4).



Fot. 1. Złamanie szyny w miejscu styku przejściowego pomiędzy szyną S49 oraz 60RiN
Źródło: materiały własne



Fot. 2. Zmurszały podkład drewniany
Źródło: materiały własne



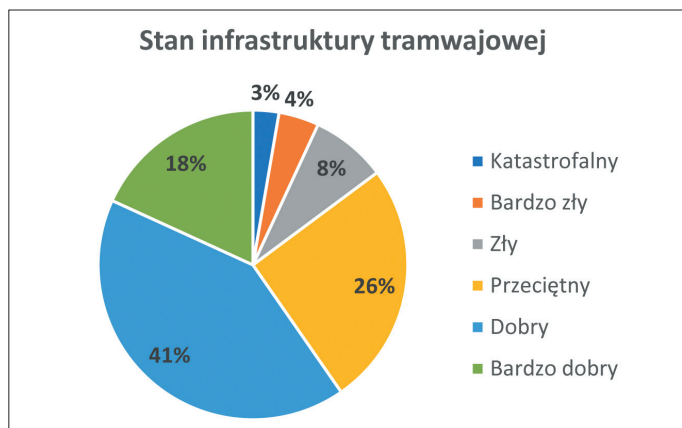
Fot. 3. Niedoleganie iglicy rozjazdu
Źródło: materiały własne



Fot. 4. Uszkodzenie sprężenia przejazdu z płyt gumowych
Źródło: materiały własne

Raport uogólniony zawierał w sobie syntetyczną ocenę stanu infrastruktury oraz elementów towarzyszących na poszczególnych odcinkach dróg tramwajowych. Analiza posłużyła do stworzenia mapy stanu infrastruktury torowej na szlakach i węzłach tramwajowych w Gdańsku. Na potrzeby opracowania 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. Dalejsza eksploatacja jest niebezpieczna dla zdrowia i życia pasażerów i motorniczych oraz grozi uszkodzeniem taboru.



Rys. 4. Stan infrastruktury tramwajowej w Gdańsku

Źródło: opracowanie własne

- **Stan bardzo zły** – oznacza stan, w którym parametry geometryczne toru są znacznie przekroczone, elementy nawierzchni wymagają natychmiastowej wymiany. Dalsza eksploatacja jest niebezpieczna dla zdrowia pasażerów i motorniczych.
- **Stan zły** – oznacza stan, w którym parametry geometryczne toru są przekroczone na znacznej długości, elementy nawierzchni wymagają wymiany.
- **Stan przeciętny** – oznacza stan, w którym parametry geometryczne toru są przekroczone na znacznej długości.
- **Stan dobry** – oznacza stan, w którym parametry geometryczne są najwyżej punktowo przekroczone, torowisko jest stabilne, ale zabrudzone (np. nieoczyszczone rowki szyn, niewielkie zachwaszczenie).
- **Stan bardzo dobry** – oznacza stan, w którym parametry geometryczne są najwyżej punktowo przekroczone, torowisko jest stabilne i czyste.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych analiz, wywiadów ankietowych oraz inspekcji wskazano, że niezbędna jest zmiana obecnego podejścia do projektowania oraz eksploatacji dróg tramwajowych w Polsce. Funkcjonujące przepisy dotyczące projektowania torów tramwajowych są przestarzałe, nie istnieje obowiązek przeprowadzania cyklicznych audytów bezpieczeństwa ruchu tramwajowego, jak również nie prowadzi się analizy ryzyka związanego z wprowadzaniem coraz nowocześniejszych rozwiązań w transporcie tramwajowym.

Działania w zakresie bezpieczeństwa powinny mieć charakter systemowy. Od pomysłu poprzez koncepcje, projektowanie, budowę i eksploatację trzeba ewaluować projekt pod kątem bezpieczeństwa infrastruktury, bezpieczeństwa organizacyjnego, bezpieczeństwa w inżynierii ruchu. Przedstawiona niniejszym artykule metoda oceny bezpieczeństwa ruchu tramwajowego, zastosowana w Gdańsku, stanowi przykład kompleksowego, wieloaspektowego podejścia do analizowanego zagadnienia. Rekomenduje się wykonywanie pozostałych analiz w co najmniej takim zakresie, cyklicznie co roku. Efektem niniejszego raportu było również stworzenie propozycji nowych przepisów dotyczących projektowania torów tramwajowych z uwzględnieniem analiz bezpieczeństwa ruchu.

Podstawą bieżącej oceny bezpieczeństwa (bezpieczeństwa eksploatacyjnego) jest proces inspekcyjny. Przeglądy stanu bezpieczeństwa infrastruktury oraz organizacji ruchu w połączeniu z pomiarami, jako elementem uzupełniającym, pozwalają uzyskać wiedzę o rzeczywistym stanie bezpieczeństwa i podejmować właściwe decyzje naprawcze i utrzymaniowe. Jednym z istotnych działań umożliwiających zmniejszenie potencjalnego zagrożenia – występującym w każdej z warstw przedstawionych w metodyce ograniczania występowania zagrożeń – jest cykliczne szkolenie motorniczych. Konieczne są działania nie tylko ze strony operatora tramwajowego i zarządcy infrastruktury. Nieodłącznym elementem systemu bezpieczeństwa jest edukacja wszystkich uczestników ruchu drogowego w zakresie ruchu tramwajowego i potencjalnych zagrożeń z nim związanych. O skuteczności działań leżących po stronie zarządzających systemem transportu tramwajowego świadczy niski wskaźnik wypadków w przeliczeniu na odległość pokonywaną przez pojazdy tramwajowe.

Literatura

1. Commission Implementing Regulation (EU) No 402/2013 of 30 April 2013 on the common safety method for risk evaluation and assessment and repealing Regulation (EC) No 352/2009. Official Journal of the European Union of 3.5.2013.
2. Commission Directive 2009/149/EC of 27 November 2009 amending Directive 2004/49/EC of the European Parliament and of the Council as regards Common Safety Indicators and common methods to calculate accident costs. Official Journal of the European Union of 28.11.2009.
3. Directive 2004/49/EC of The European Parliament And of The Council of 29 April 2004 on safety on the Community's railways and amending Council Directive 95/18/EC on the licensing of railway undertakings and Directive 2001/14/EC on the allocation of railway infrastructure capacity and the levying of charges for the use of railway infrastructure and safety certification (Railway Safety Directive). Official Journal of the European Union of 21.6.2004.
4. Fontaine L., Novales M., Bertrand D., Teixeira M., *Safety and operation of tramways in interaction with public space*, "Transport Research Procedia", 2016, vol. 14.
5. Grulkowski S., Zariczny J., *Charakterystyka zużycia, wad i uszkodzeń szyn w torach tramwajowych*, „Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne”, 2015, nr 2 (106).
6. Jedynek M., Młynarski S., Sowa A., *Ryzyko i jego miary w transporcie kolejowym*, 2015.
7. Ministry of Ecology, Sustainable Development and Energy: Accidentology of tramways, analysis of reported events – year 2013 – evolution 2004 – 2013, March, 2015.
8. Orczyk M., Czechyla B., Wojciechowska E., *Ocena poziomu balansu generowanego podczas fazy ruchu wybranych typów tramwajów*, „Pojazdy Szynowe”, 2009, nr 2.
9. Instrukcja o dozorowaniu linii kolejowych, Id-7, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.
10. Instrukcja diagnostyki nawierzchni kolejowej, Id-8, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa, 2005.
11. Zając G., *Badania balansu i drgań w tramwajach*, „Czasopismo Techniczne – Mechanika”, 2011, nr 4 (108).
12. Zariczny J., Grulkowski S., *Wpływ typu konstrukcji nawierzchni tramwajowej na poziom generowanego balansu*, „Logistyka”, 2010, nr 2.