

ASPEKTY BEZPIECZEŃSTWA W PROJEKTOWANIU I BUDOWIE INFRASTRUKTURY TRAMWAJOWEJ¹

Natalia BUJAK, Sławomir GRULKOWSKI*, Jerzy ZARICZNY*
* Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

W artykule omówiono podstawowe problemy szeroko rozumianej infrastruktury tramwajowej, które wpływają na poziom bezpieczeństwa. Wskazano kierunki i przykłady działań w zakresie poprawy bezpieczeństwa w ruchu tramwajowym. Za konieczne uznano projektowanie i ciągły rozwój rozwiązań infrastrukturalnych w sposób uwzględniający wymogi bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Słowa kluczowe: tramwaj, bezpieczeństwo, infrastruktura tramwajowa.

1. WPROWADZENIE

Komunikacja tramwajowa stanowi jeden z najistotniejszych elementów systemu transportu miejskiego. Tramwaje cechują się większą zdolnością przewozową niż autobusy i trolejbusy, co oznacza, że są w stanie przetransportować więcej pasażerów w jednostce czasu [2]. Dodatkowo jeżeli poruszają się po wydzielonym torowisku, nie są narażone na problemy ruchowe w takim stopniu jak inni użytkownicy dróg, co w sytuacji zatłoczenia drogowego w godzinach szczytów przewozowych staje się istotnym argumentem za dalszym rozwojem tego środka transportu. Z badań wynika, że mieszkańcy terenów zurbanizowanych chętniej korzystają z tramwajów, jeżeli czują się w nich komfortowo i bezpiecznie [24]. Poczucie pewności i bezpieczeństwa pasażerów pojazdów szynowych w trakcie odbywania podróży są najczęściej wskazywanymi parametrami jakości transportu zbiorowego [22]. W związku z tym systematycznie rosną wymagania co do poziomu bezpieczeństwa tego systemu transportowego. Szczególną rolę odgrywa tu bezpieczeństwo gwarantowane przez infrastrukturę.

2. PROJEKTOWANIE

Efektywny rozwój sieci tramwajowej wiąże się z przemyślanym i właściwie dostosowanym do otoczenia projektem. Jego podstawą są akty prawne, które powinny zawierać czytelne wytyczne i porządkować informacje dotyczące m.in.:

¹ DOI 10.21008/j.1897-4007.2017.25.07

układu geometrycznego trasy, infrastruktury, konstrukcji torowiska, obiektów i urządzeń towarzyszących, sterowania ruchem, ściśle powiązane z linią tramwajową [6]. W Polsce brak jest wytycznych, które są dostosowane do współczesnych technologii i wymogów oraz odzwierciedlają nasycenie ruchu drogowego i znaczenie transportu zbiorowego. Jedynym w miarę kompletnym dokumentem w tym zakresie są *Wytyczne techniczne projektowania, budowy i utrzymania torów tramwajowych*, wydane przez Ministerstwo Administracji, Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska – Departament Komunikacji Miejskiej i Dróg w 1983 r. Jak zatem widać, rozwój nowoczesnych rozwiązań projektowania, budowy i utrzymania sieci tramwajowych, czy też nowoczesnych technologii promowanych w ramach pojęcia "Smart City", nie spowodował nowelizacji tych przepisów.

Obecnie w całości infrastruktura tramwajowa podlega regulacjom zawartym w *Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dn. 2 marca 1999 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie* z tym, że zawarte tam uregulowania odnoszą się wyłącznie do absolutnie podstawowych parametrów w zakresie projektowania. Wąskie spektrum zagadnień, których dotyczą te zapisy, znajduje w sposób bezpośredni odbicie w poziomie bezpieczeństwa systemu tramwajowego, zmuszając do stosowania w wielu obszarach rozwiązań intuicyjnych i nieoptymalizowanych. Jaskrawym przykładem błędnego podejścia do projektowania jest stosowanie przez projektantów wytycznych dotyczących krzywych przejściowych i przechylek, gdzie wskazane (a wręcz narzucone) rozwiązania (preferowanie łuków koszowych, brak bezpośrednich odniesień do przyspieszeń działających na pasażera) odnoszą się do nie stosowanych już konstrukcji toru i taboru oraz innych technologii budowy. W wielu przypadkach wręcz unika się stosowania krzywych przejściowych, co ma niewątpliwie niekorzystny wpływ na postępy degradacji infrastruktury, jak i na bezpieczeństwo. Wadliwie dobrane parametry geometryczne torów i rozjazdów są źródłem hałasu. Konsekwencją błędów w doborze parametrów geometrycznych jest zużywanie się elementów stalowych, co z kolei powoduje hałas (rys.1). W odpowiedzi na intensywnie rozwijający się transport publiczny w miastach i powiązaną z nim stale podwyższającą się emisję hałasu konieczne zdaje się być znajdowanie innowacyjnych rozwiązań i stosowanie nowych, efektywnych środków ochraniających środowisko. Szacowanie i ocenianie stanu akustyczności na etapie projektowania umożliwi kontrolę i podejmowanie odpowiednich działań poprawiających poziom hałasu.

Warunki bezpieczeństwa mają priorytetowe znaczenie przy projektowaniu sieci tramwajowych. W większości przypadków inwestycje wiążą się z modernizacją istniejącej infrastruktury. Powszechną praktyką projektową jest wydzielanie torowisk z jezdni i kształtowanie układów dwutorowych [16]. Dzięki temu ruch szynowy zostaje odseparowany od samochodowego, wpływając tym samym na bezpieczeństwo.





Rys. 1. Falowy charakter zużycia bocznego szyny w łuku poziomym

Innym zagadnieniem wymagającym przeanalizowania w czasie projektowania linii tramwajowej jest ulokowanie torowiska tramwajowego w przekroju ulicy. Torowisko może być położone pomiędzy jezdniami bądź z boku ulicy. Oba warianty mają wiele wad i zalet, stąd wybór musi być poprzedzony wnikliwą analizą i dostosowaniem do istniejących warunków ruchowych i czynników urbanistycznych. Torowisko tramwajowe znajdujące się w osi ulicy jest odseparowane od ruchu, dzięki czemu nie występuje bezpośrednie sąsiedztwo z pieszymi, co ma istotny wpływ na bezpieczeństwo. Konieczne jest jednak zapewnienie dostępności, przez co powstają punkty kolizyjne. Jedną z zalet jest brak zagrożenia zastawienia torowiska przez niewłaściwie zaparkowane pojazdy. Teoretycznie, torowisko zlokalizowane po środku ulicy ma oferować większe prędkości niż torowisko z boku ulicy. Jednak warunki ruchu ulegają pogorszeniu na skrzyżowaniach o dużym natężeniu ruchu, przez dużą liczbę relacji skrzyżowanych regulowanych sygnalizacją świetlną. Przy pomocy akomodacyjnej sygnalizacji lub inteligentnych systemów sterowania ruchem sytuacja może ulec poprawie. Torowisko tramwajowe z boku ulicy jest zalecane do stosowania w przypadku występowania serii skrzyżowań o nieregularnym kształcie lub obciążeniu ruchem. Lokalizacja relacji skrzyżowanych na kierunku przeciwnym do kierunku wysokiego natężenia ruchu pozytywnie wpływa na przepustowość linii tramwajowej. Dodatkowym plusem jest także możliwość organizacji niekolizyjnego wjazdu na pętle lub do zajezdni. Kolejnym miejscem, gdzie w szczególności powinno się stosować torowiska z boku ulic są rejony, w których generatory ruchu oraz lokalna zabudowa są skupione po jednej ze stron ciągu komunikacyjnego. Do zalet tego typu rozwiązania należy zredukowanie długości drogi dojazdu do przystanku tramwajowego dzięki jego dużej dostępności oraz brak konieczności przechodzenia przez jezdnię samochodową. Lokalizacja ta potęguje skrzyżowania torów tramwajowych z drogami dojazdowymi, stąd w ce-

lach ochronnych często stosowana jest sygnalizacja świetlna [14]. Nie istnieje jednoznaczna przewaga któregoś z rozwiązań, wybór polega na analizie poszczególnych właściwości obu rozwiązań i wdrożeniu rozwiązania, z którym łączą się większe korzyści.

3. PRZYSTANKI TRAMWAJOWE

Priorytetowym zadaniem przystanku tramwajowego jest zapewnienie użytkownikom bezpiecznego oczekiwania, wsiadania i wysiadania z tramwaju. Podkreślenia wymaga aspekt bezpieczeństwa. Pośrednio z nim łączą się efektywność wymiany pasażerów oraz dostępność. Wyróżnia się kilka typów przystanków. Różnią się one sposobem ukształtowania i używania przez pasażerów przestrzeni, w której następuje postój tramwaju i wymiana podróżnych [7].

Najpowszechniej stosowanym typem jest peron pomiędzy torowiskiem tramwajowym a jezdnią samochodową w formie wyspy. Jest stosowany przy wydzielonym z jezdni torowisku tramwajowym. Istotną rolę w tym układzie odgrywa szerokość przystanku. Należy także zwrócić uwagę na zmniejszenie różnicy wysokości pomiędzy nawierzchnią, z której wsiada pasażer a pierwszym stopniem pojazdu. Ma to wpływ na skrócenie czasu procesu wymiany pasażerów, gdyż odbywa się on sprawniej, szybciej, a także wygodniej i co najważniejsze bezpieczniej niż chociażby przy wsiadaniu z poziomu ulicy.

Kolejnym typem przystanków są przystanki wiedeńskie. W tym przypadku jezdnia drogowa na długości przystanku jest wyniesiona na wysokość krawędzi peronu (rys. 2). Gdy pojazd szynowy zatrzymuje się, jezdnia stanowi dojście do tramwaju. Funkcjonuje to na zasadzie zbliżonej do uspakajających ruch progów zwalniających. Kierujący pojazdami transportu indywidualnego są zmuszeni do redukcji prędkości, a przy tym wzmożonej ostrożności. Podczas, gdy tramwaj zatrzymuje się na przystanku, użytkowników transportu indywidualnego obowiązuje zatrzymanie się i przepuszczenie podróżnych. Ten typ przystanku jest często stosowany, gdy brak jest miejsca w przestrzeni miejskiej na lokalizację peronu wyspowego. Dzięki zastosowanemu podwyższeniu, podobnie jak w omawianym przystanku wyspowym, zmniejszona jest różnica wysokości, jaką trzeba pokonać wsiadając bądź wysiadając. Ponadto, istotne jest dodatkowe oznakowanie tego rodzaju przystanku. Skrajne części jezdni powinny zostać oznaczone innym, kontrastowym kolorem, nawierzchnia podwyższonej części jezdni powinna być wykonana z innego materiału niż sąsiadujący z nią chodnik. Przystanek winny ochraniać znaki pionowe- znak progu zwalniającego, przystanku tramwajowego czy też ostrzegawczy przed pieszymi. Gdy przystanek z podniesioną jezdnią dopiero zaczyna funkcjonować w lokalizacji miejskiej, należy zadbać o skuteczną informację pasażerów o prawidłowym korzystaniu i odmiennych zasadach panujących w nowej przestrzeni. Częstym problemem jest wchodzenie oczekujących na wyniesiony fragment jezdni, kiedy na przystanku nie ma tramwaju lub wchodzenie na jezdnie,

gdy tramwaj dopiero wjeżdża na wytyczone miejsce zatrzymania. Pasażerowie zaczynają wchodzić na jezdnię, gdy na przystanek wjedzie 70% długości tramwaju [5]. Co więcej, jako minus wskazuje się całkowite zrównanie powierzchni jezdni i chodnika. Tworzy to niewyraźny podział przestrzeni i może być kłopotliwe dla osób starszych, bądź niewidomych.



Rys. 2. Przystanki z wyniesionym pasem ruchu w Pradze
(po lewej ul. Milady Horákové, po prawej ul. Anděl)

Innym, często stosowanym rodzajem przystanku tramwajowego jest przystanek przyławkowy (rys. 3). W tym przypadku, chodnik zostaje zbliżony do torowiska, dzieje się to kosztem skrajnego pasa ruchu. Jest to rozwiązanie, z oczywistych względów stosowane w miejscach, gdzie występuje niewielkie, umiarkowane natężenie ruchu. Ze względu na wprost przeciwny układ przestrzenny do zatok autobusowych, rodzaj ten często nazywany jest antyzatoką lub kontrzatoką. Pasażerowie mają możliwość wsiadania do tramwajów z poziomego chodnika, bez narażania się na kolizję z ruchem samochodowym. Pod względem bezpieczeństwa rodzaj ten, góruje nad pozostałymi. Aby nie doprowadzać do sytuacji, w której samochody wyprzedzałyby stojący na przystanku tramwaj, stosuje się separatory pomiędzy przeciwnymi pasami ruchu. Równie ważne w ramach bezpieczeństwa jest oznakowanie. Krawędź antyzatoki powinna mieć jaskrawy kolor i dodatkowe znaki pionowe. Ponadto, istotne jest oznaczenie miejsca zatrzymania pojazdu, służące prowadzącym pojazdy do precyzyjnego zatrzymania w wyznaczonym miejscu, tak aby drzwi taboru znajdowały się w centrum antyzatoki.



Rys. 3. Kontrzatoka na przystanku tramwajowym w Pradze, ul. Sokolovská

Pierwszorzędym kryterium warunkującym bezpieczeństwo wsiadania i wysiadania z tramwaju jest wysokość krawędzi peronu ponad główkę szyny oraz odległość od osi toru. Odstęp pomiędzy krawędziami powinien zapewniać wygodną wymianę pasażerów, być możliwie jak najmniejszy, jednak powinien uwzględniać pewną wartość ochronną, między innymi związaną z dokładnością wykonania krawędzi peronu, ułożeniem toru, czy też zużywaniem taboru lub deformacjami wynikającymi z eksploatacji. Jako właściwą wartość odstępu można przyjąć 5 cm [15]. Jednak ze względu na stosowanie drzwi odskokowo-przesuwnych starszej generacji w tramwajach niskopodłogowych, bądź przystanków zlokalizowanych w łuku lub drzwi znajdujących się na skosach pudeł wagonów w klasycznych tramwajach zaleca się stosować pochylnie tramwajowe. W rozwiązaniu tym zarówno w pionie jak i w poziomie występuje pewien odstęp pomiędzy krawędziami drzwi i przystanku. Jednak dostęp dla matek z wózkami bądź osób niepełnosprawnych jest możliwy do pokonania dzięki rozkładanej bądź wysuwanej pochylni lub obniżonych drzwiach taboru. Jeśli nie wszystkie drzwi są wyposażone w tego typu udogodnienia, na drzwiach powinna być umieszczona informacja w formie piktogramu.

Wpływ na bezpieczeństwo ma także szerokość peronów. Powinna być dostosowana do szczególnych przypadków i zapewniać bezpieczne wymijanie się pasażerów, uwzględniając także osoby niepełnosprawne, z wózkami dziecięcymi bądź bagażem podróznym, czyli przypadki, w których wymagana minimalna szerokość ulega powiększeniu. W obecnie obowiązujących normach aspekt ten nie został wzięty pod uwagę, szerokość peronu jest powiązana z natężeniem ruchu pasażerskiego w godzinach szczytu. Ponadto, podawana jest jedna, minimalna wartość szerokości peronu przystankowego. Pozytywnie wpływającym na ruch pieszych na przystanku, zdaje się być podział na strefy: pas dojścia i wymiany pasażerów, pas obiektów i urządzeń przystankowych oraz opcjonalnie stosowany pas bezpieczeń-

stwa. Dla każdego z ww. powinny zostać ustalone minimalne szerokości, w związku z czym szerokość peronu mogłaby być zmienna na swojej długości [12].

Wzorując się na przykładzie peronów kolejowych, analogicznie, pas sąsiadujący z torem tramwajowym powinien zostać wyposażony w nawierzchnię z wypukłościami i linię ostrzegawczą. Zarówno forma wypukłości jak i szerokość i kolor linii ostrzegawczej powinny być na każdym przystanku takie same, unormowane, aby nie wprowadzać niecisłości i przykładowo osoba niewidoma wiedziała czego może się spodziewać.

Na bezpieczeństwo na wyspie przystankowej wpływa także odseparowanie użytkowników transportu zbiorowego od ruchu samochodowego przy pomocy barier, słupków oddzielających lub żywoplotów. Rozwiązanie takie powoduje, że pasażerowie mają wydzieloną strefę poruszania się, co wpływa na ich poczucie komfortu oraz podświadomie podnosi poziom ostrożności. Stanowi także utrudnienie w przechodzeniu przez jezdnię lub dobieganiu do przystanku w miejscu do tego niedozwolonym (rys. 4 i 5) [4].



Rys. 4. Wyraźnie wydzielone strefy na przystanku przy linii tramwajowej na Barrandov w Pradze



Rys. 5. Wyraźnie wydzielone strefy na przystanku przy linii tramwajowej na Barrandov w Pradze



Aby mówić o bezpiecznym przystanku, konieczne jest zapewnienie jak najmniej kolizyjnego dojścia do przystanku, przy czym odległość przystanku od dzielnic zabudowy jednorodzinnej nie powinna przekraczać 750 metrów, od osiedli z zabudową mieszkaniową 600 metrów, zaś w obrębie centrum oraz w pobliżu zakładów pracy od 300 do 450 metrów. W przypadku peronu na torowisku wydzielonym stosuje się przejścia dla pieszych, tunele, kładki. Tunele oraz kładki wymagają stosunkowo dużych szerokości pasa zajętości terenu przystanku, jednak należą do grupy bezkolizyjnej. Przejścia podziemne są jednak kojarzone z ograniczonym bezpieczeństwem osobistym, wynikającym ze stereotypowego obrazu tunelu jako miejsca nieoświetlonego, zanieczyszczonego, skupiającego osoby bezdomne [10]. Do ich zalet należy skrócenie czasu przemieszczania, przez co zaleca się stosowanie tuneli dla pieszych w okolicy dużych węzłów oraz przystanków o dużym natężeniu ruchu. Alternatywą dla tuneli są kładki. Duże znaczenie w projektowaniu kładek dla pieszych mają względy estetyczne, z uwagi na bezpieczeństwo projekt kładki powinien być przyjazny dla pieszych i rowerzystów oraz korzystnie wpływać na respektowanie przez nich zasad ruchu drogowego. Geometryczne dopasowanie do warunków terenowych powinno umożliwiać ograniczenie długości zastosowanych schodów i pochylni. Dostosowując projekt do potrzeb użytkowników należy mieć na względzie potoki ruchu pieszych, tak aby dostęp do kładki był względnie najkrótszy i funkcjonalny. Znaczenie ma także miejsce usytuowania wejścia na przejście: powinno być dostosowane do występujących potoków ruchu. Może być zlokalizowane na początku, końcu lub na długości peronu. Zaleca się stosować obustronne dojścia pieszych do przystanków wyspowych.

Innym ważnym elementem związanym z przystankami jest ich wyposażenie. Po pierwsze należy zapewnić odpowiednią, wystarczającą przestrzeń do wymiany pasażerów, wszelka dodatkowa infrastruktura jak wiata przystankowa, tablice informacyjne, kosze na śmieci powinny być dostosowane i usytuowane tak, by nie ograniczać głównych funkcji przystanku. Niepokojącym zjawiskiem jest sytuowanie słupów trakcyjnych, oświetleniowych, sygnalizacji świetlnej lub roślinności w środku szerokości przystanku zamiast tuż przy ogrodzeniu oddzielającym przystanek od pasów ruchu drogowego. Obszar przystanku powinien być oświetlony, wpływa to na bezpieczeństwo pieszych i kierowców, a także na bezpieczeństwo osobiste, przez zmniejszenie liczby kradzieży czy napadów [20]. Słupy oświetleniowe nie powinny zagrażać bezpieczeństwu ruchu i ograniczać widoczności [21].

Przystanek, sposób jego lokalizacji i otoczenie ma istotny wpływ na bezpieczeństwo przede wszystkim z punktu widzenia pasażerów. Powyższe przykłady zapewniają bezpieczeństwo, ale co ważne nie można wskazać jednego rodzaju, który byłby uniwersalny i można byłoby go stosować we wszystkich przypadkach. Koniecznym jest dostosowanie wszystkich elementów infrastruktury do panujących warunków i otoczenia.



4. USYTUOWANIE I KONSTRUKCJA TOROWISKA

Tramwaj jako środek transportu zbiorowego, który porusza się po drogach publicznych wpływa na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Stosując różne rozwiązania organizacyjne poziom bezpieczeństwa może zostać podniesiony. Istotne znaczenie ma usytuowanie torowiska, w szczególności w obszarach silnie zurbanizowanych.

Pierwszym typem są niewydzielone torowiska wbudowane w jezdnię. W takim przypadku tramwaj uczestniczy w ruchu z innymi pojazdami. Zwiększa to prawdopodobieństwo kolizji, stanowi utrudnienie dla płynności ruchu zarówno tramwajów, jak i samochodów. Aby w pewien sposób oddzielić ruch tramwajowy od samochodowego wynosi się ponad powierzchnię jezdni separatory ruchu (rys. 6). Należą one do grupy urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego, które poprawiają płynność jazdy, usprawniając tym samym ruch na drodze. Komplementarnie, aby spotęgować ich działanie mogą być stosowane znaki poziome, bądź słupki ostrzegawcze. Ponadto, aby zapewnić komfort wsiadania podróżnym na przystankach, konieczna jest specjalnie do tego dostosowana infrastruktura, zastosowanie przystanków wiedeńskich lub przyładkowych, co nie zawsze jest możliwe, w szczególności w centrach miast, gdzie zajętość terenu na to nie pozwala [11].



Rys. 6. Separatory drogowe w czeskiej Pradze

W większości miast w Europie tramwaj z powodzeniem jeździ po odseparowanym torowisku. W Polsce zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, torowisko powinno być wydzielone z jezdni [21].

Rozwiązaniem pożądanym jest wydzielanie torowiska w pasie drogowym, które umożliwia w dużym stopniu obniżyć poziom kolizyjności. Takie umiejscowienie torów tramwajowych korzystnie wpływa na organizację ruchu drogowego, dodatkowo zapewnia możliwość bezkolizyjnego dojścia do przystanków. Ponadto jasno definiuje sytuację drogową dla wszystkich użytkowników ruchu. W większo-



ści miast w Europie tramwaj jeździ po odseparowanym torowisku, zaś w Polsce wydzielone torowiska stanowią 75% ogólnej długości torowisk [13]. Torowisko może być usytuowane pomiędzy jezdniami w pasie dzielącym, po jednej ze stron ulicy bądź po obu stronach jezdni.

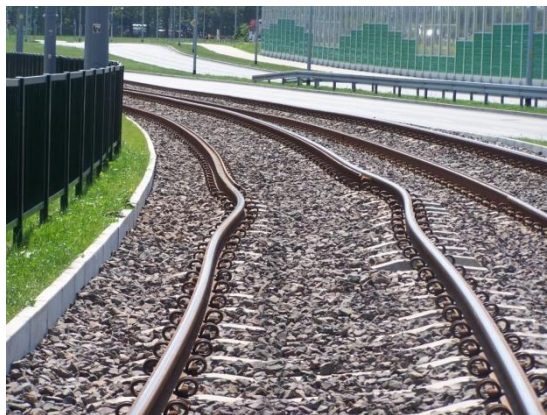
Z pewnością do rozwiązań najbardziej bezpiecznych zalicza się poprowadzenie torowiska tramwajowego w wykopie, tunelu bądź na estakadzie. Najczęściej jest to wymuszone przez uwarunkowania terenowe, gdyż koszt inwestycji jest bardzo wysoki. Rozwiązanie to pozwala to omijać wszelkie skrzyżowania z drogami samochodowymi i innymi liniami tramwajowymi.

Kolejnym sposobem lokalizacji torowiska w przestrzeni miejskiej jest tzw. „shared space” (rys. 7). Jest to poprowadzenie torowiska przez strefę ruchu pieszego. W przestrzeni przeznaczony zarówno dla pieszych jak i tramwajów brak jest sygnalizacji świetlnej, przejść dla pieszych i krawężników. Wszyscy uczestnicy ruchu są równouprawnieni. Motorniczy musi dostosować prędkość do panujących warunków ruchu. Rozwiązanie to wymusza na pieszych i motorniczych większą ostrożność i wbrew pozorom w miejscach, gdzie zastosowano taki system liczba wypadków z udziałem pieszych maleje [23]. Mimo wszystko, wymagana jest wysoka kultura komunikacyjna i szereg badań przed realizacją takiego systemu.



Rys. 7. Odcinek funkcjonujący jako „shared space” na Willy Brandt Platz we Frankfurcie nad Menem

W ostatnich latach uwypuklają się problemy budowy torów tramwajowych. Obecnie praktycznie wszystkie nowobudowane i remontowane torowiska tramwajowe wykonywane są jako tor bezстыkowy. W tej technologii łączenie szyn – zamiast za pomocą łubków i śrub jak w torze klasycznym – wykonuje się przez ich spawanie, najczęściej za pomocą spoin termitowych lub zgrzewanie za pomocą zgrzewarek torowych. Istotą budowy toru jest kontrolowanie temperatury na różnych etapach budowy i ewentualnie wykonywanie regulacji naprężeń. Brak rzetelności, brak kompetencji, a także brak wyobraźni projektantów i wykonawców doprowadziły do sytuacji, w której szyny masowo pękały w Olsztynie i w Szczecinie, a także ulegały deformacji w Gdańsku i Szczecinie (rys. 8).



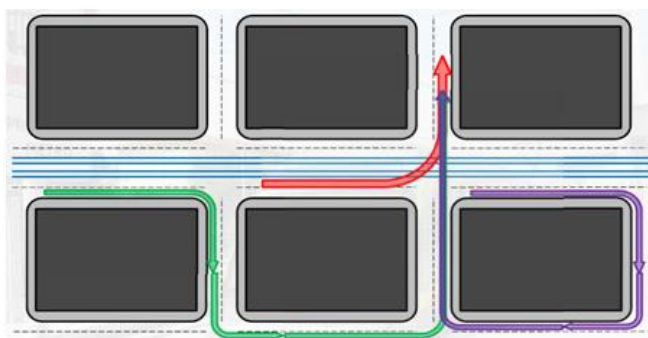
Rys. 8. Wyboczenie toru na Alei V. Havla w Gdańsku

5. PRZEJAZDY TRAMWAJOWE

Przejazdy tramwajowe są miejscem, w którym należy zachować szczególną ostrożność, czego potwierdzeniem są policyjne statystyki wypadkowe z 2015 roku, gdzie 0,6% wszystkich wypadków drogowych miało miejsce na przecięciach jezdni z torowiskiem tramwajowym [25]. Co więcej, wypadki drogowo mające miejsce na przejazdach, w których uczestniczą tramwaje i pojazdy osobowe, cechują się dużą ciężkością. Najczęściej podłożem zdarzeń drogowych na przejazdach tramwajowych jest nieprzestrzeganie pierwszeństwa przejazdu przez kierowców samochodów osobowych. Zazwyczaj miejscem wypadków są duże miasta, a ich liczba powiązana jest z długością sieci tramwajowej i liczbą skrzyżowań torowisk z ulicami.

Aby przejazd tramwajowy funkcjonował możliwie najbezpieczniej, warto poddać analizie jego lokalizację, otoczenie, a także poziom trudności przeprowadzenia pojazdu przez przejazd. Kluczową rolę stanowi odległość torowiska od krawędzi jezdni, występuje zależność: im bliżej krawędzi znajduje się torowisko tym mniejszy staje się kąt ustawienia pojazdu. Wiąże się to z ograniczonym polem widzenia dla kierowcy samochodu i ograniczoną możliwością dostrzeżenia nadjeżdżającego tramwaju. Widoczność w obszarze przejazdu tramwajowego, podobnie jak i kolejowego, jest podstawowym czynnikiem decydującym o bezpieczeństwie. Wynika ona z geometrii przejazdu oraz z jego otoczenia. Pasażer siedzący obok kierowcy samochodu osobowego również zalicza się do czynników ograniczających widoczność. Ważnym aspektem w ocenie funkcjonowania przejazdów jest jakość warunków umożliwiających sprawną ocenę sytuacji ruchowej przez kierowców pojazdów w trakcie zbliżania się do przejazdu. Istotne znaczenie ma również organizacja ruchu i sposób sterowania ruchem na przejeździe. Znaki ostrzegawcze w ograniczonym stopniu wpływają na ostrożność kierowców i są niewystarczającym środkiem ochronnym w zapobieganiu zdarzeń drogowych na przejazdach [19].

Najczęściej zdarzenia drogowe, zanotowane w ramach programu Cost, dotyczącego bezpieczeństwa systemów tramwajowych, występują podczas wykonywania przez samochód osobowy manewru skrętu w lewo, przy czym dochodzi do kolizji z niepostrzeżalnym, nadjeżdżającym od tyłu tramwajem. Stąd zaleca się przekształcanie potoków ruchu, tak jak to zostało pokazane na rysunku 9. Zmiana organizacji ruchu przyczynia się do eliminowania wypadkogennych lewoskrętów.



Rys. 9. Przykład omijania lewoskrętów

Innym aspektem jest zły stan nawierzchni na przejazdach tramwajowych. Do jego najczęstszych przyczyn można zaliczyć nieprawidłowo zaprojektowane lub wykonane odwodnienie przejazdu, nieregularne zagęszczenie podbudowy, brak reakcji na wymagające bezzwłocznej naprawy uszkodzenia elementów konstrukcyjnych przejazdu, niską jakość wykonania przejazdu ze względu na ograniczone środki finansowe [9].



Rys. 10. Deformacja płyt na przejeździe tramwajowym

W przypadku przejazdu z wulkanizowanych mieszanek gumowych przyczyną powstawania wad i uszkodzeń jest również błędny dobór podtypu przejazdu w stosunku do wielkości natężenia ruchu drogowego i nacisków osiowych pocho-



dzących od pojazdów drogowych (rys. 10). Wątpliwości budzi także deklarowana przez producentów wytrzymałość na nie. Powoduje to wypiętrzanie się, zapadanie się i deformowanie się płyt skutkujące ich klawiszowaniem. Małą wytrzymałość na duże natężenie ruchu drogowego i naciski osiowe pochodzące od pojazdów drogowych ma również przejazd z kostki wibroprasowanej. Kolejnym istotnym czynnikiem jest kąt skrzyżowania osi jezdni z osią toru tramwajowego. Im ten kąt jest bardziej ostry lub jezdnia jest położona w łuku poziomym, tym większe jest prawdopodobieństwo rozsuwania się płyt. Wynika to z działania siły odśrodkowej w łukach poziomych i siły tarcia podczas hamowania pochodzącej od pojazdów drogowych. Jeżeli następnie szczelina między dwoma rozsuniętymi płytami ulegnie zanieczyszczeniu, to nie mogą one wrócić do pierwotnego położenia. Wątpliwości budzi deklarowana przez producentów wytrzymałość na rozsuwanie się płyt. W tego typu lokalizacjach należy wykonywać przejazdy bitumiczne z asfaltu lanego lub przejazdy z prefabrykowanych płyt żelbetowych. Przejazdy z wulkanizowanych mieszanek gumowych są także podatne na uszkodzenia mechaniczne np. zarysowanie powierzchni płyty elementem zwisającym z taboru tramwajowego. Przyczyną powstawania wad i uszkodzeń charakterystyczną dla przejazdu bitumicznego z asfaltu lanego i przejazdu z kostki wibroprasowanej jest nieuszczelnienie strefy przyszynowej (rys. 11). Wypływ mas uszczelniających umożliwia wodzie opadowej penetrowanie w jej głąb powodując obniżenie nośności podbudowy. Prowadzi to do pękania, zapadania się i powstawania ubytków w nawierzchni przejazdu. Zalecane jest bieżące uzupełnianie mas uszczelniających.



Rys. 11. Wypiętrzania nawierzchni z asfaltu lanego

6. SKRZYŻOWANIA

Przy projektowaniu skrzyżowania z sygnalizacją z torowiskiem tramwajowym należy dążyć do zapewnienia przejazdów bezkolizyjnych. Może to zostać osiągnięte przez wprowadzanie dodatkowych pasów drogowych przeznaczonych do skręcania z zastosowaniem odpowiednich faz w sygnalizacji świetlnej. Jednym z dyle-

matów dotyczących skrzyżowań jest umiejscowienie przystanków tramwajowych. Mogą one być umiejscowione przed lub za skrzyżowaniem, możliwy jest także układ mieszany. Wybór układu powinien być ustalany indywidualnie dla każdego węzła, uwzględniając warunki panujące na skrzyżowaniu i w jego najbliższym otoczeniu. Lokalizacja przystanku za skrzyżowaniem pod względem wykorzystania miejsca na skrzyżowaniu, zapewnienia widoczności, oddziaływania spalin samochodów na pasażerów na przystanku, wykorzystania detekcji nadjeżdżającego tramwaju przewyższa w zaletach przystanek przed skrzyżowaniem.

Rozpowszechnionym typem skrzyżowania, w szczególności w miastach z torowiskiem tramwajowym zlokalizowanym pomiędzy jezdniami jest skrzyżowanie z wyspą centralną. Trasa torów tramwajowych w przypadku, gdy przebiegają one jedynie na jednym z krzyżujących się kierunków powinna być poprowadzona tak, aby nie dzielić wewnętrznych powierzchni akumulacyjnych na części i nie ograniczać ich pojemności. Stąd tak istotne jest przyjęcie odpowiedniej geometrii i układu faz ruchowych w sygnalizacji świetlnej. Formą skrzyżowania zapewniającą większe powierzchnie akumulacyjne wewnątrz skrzyżowania są ronda turbinowe. Zaprojektowanie skrzyżowania w miejscu o dużym natężeniu ruchu jest trudnym zadaniem, w każdym wypadku należy brać pod uwagę rozwiązanie wielopoziomowe, które czasem mimo wysokich kosztów jest jedynym sposobem zapewnienia satysfakcjonującego poziomu bezpieczeństwa.

7. PRZEJŚCIA DLA PIESZYCH

Na przejściach przez jezdnię dochodzi do największej liczby wypadków z udziałem pieszych, stąd koniecznością jest stosowanie dodatkowych środków ochronnych w celu zapewnienia pieszym użytkownikom ruchu bezpieczeństwa. Wyraźne wyodrębnienie i oznakowanie przejścia dla pieszych jest priorytetem w jego kształtowaniu.



Rys. 12. Przejście dla pieszych w Gelsenkirchen

Na rysunku 12 widać przykład nieprawidłowo wydzielonego przejścia w Gelsenkirchen. Nawierzchnia przejścia nie wyróżnia się względem nawierzchni na wyspie przystankowej, dodatkowo przystanek jest zlokalizowany na jednym z koń-

ców bardzo długiej wyspy przystankowej i na łuku trasy tramwajowej, co jeszcze bardziej prowokuje pieszych do łamania przepisów i ogranicza widoczność.



Rys. 13. Nawierzchnia ułatwiająca przechodzenie osobom niewidomym

Kolejnym aspektem, wartym odnotowania jest oddzielenie ruchu pieszego od tramwajowego i wzmożenie ostrożności pieszych podczas dochodzenia do strefy ruchu tramwajów (rys. 13 i 14). Zupełne odseparowanie zapewniają kładki i tunele, jednak jednym z wymagań stawianym w planie zrównoważonego rozwoju jest ograniczanie liczby przejść po schodach i kładkach w infrastrukturze transportu publicznego.



Rys. 14. Labirynt na przejściu dla pieszych w Gelsenkirchen

8. TABOR

Na wysoką jakość transportu publicznego składa się między innymi tabor o wysokim poziomie bezpieczeństwa. Pod pojęciem taboru nowej generacji powinny kryć się tramwaje jednoprzestrzenne, dwukierunkowe i niskopodłogowe na całej długości pojazdu [3]. Największym problemem w zarządzaniu współczesną komunikacją tramwajową jest dostosowanie istniejącej infrastruktury do pojazdów dotychczas eksploatowanych i nowych, niskopodłogowych, gdyż ze względu na wysoki koszt nowoczesnego taboru, nie ma możliwości jego wymiany w obrębie całej sieci. Dlatego też przystanki zaadaptowane do taboru nowej generacji, czyli o wymaganej wysokości peronów i zwiększonej dokładności wykonania ich kra-

wędzi, charakteryzują się, opisaną wcześniej różnicą poziomów krawędzi peronu a drzwiami taboru starego typu.

Dzięki tramwajom dwukierunkowym nie ma konieczności budowy pętli służących do zawracania, które zajmują dużą powierzchnię terenu w przestrzeni miejskiej i często ze względu na mnogość czynników i funkcji jakie muszą spełniać, takich jak umiejscowienie, lokalizacja przystanku początkowego i końcowego, optymalizacja kolizyjności z ruchem drogowym i rowerowym, stanowią miejsca szczególnie narażone na kolizje i wypadki. Tabor dwukierunkowy posiada szereg zalet, jednak wysoka cena zmusza do przeanalizowania potrzeb sieci przed zakupem nowych pojazdów. Ponadto, w tramwajach nowej generacji także wyposażenie wpływa na wzrost bezpieczeństwa i wygody użytkowników. W standardzie nowych pojazdów są klimatyzacja, specjalne miejsca dla niepełnosprawnych, wykładzina antypoślizgowa czy też wizualne i głosowe systemy informacji dla pasażerów i szerokie drzwi odskokowo-przesuwne [8]. Dzięki instrukcjom umieszczonym w pojazdach pasażerowie nie muszą skupiać uwagi na szukaniu informacji, przez co bezproblemowo docierają do celu, co zapewnia im poczucie bezpieczeństwa. Tramwaj może być wyposażony także w zestaw kamer, z których obraz jest wyświetlany w kabinie motorniczego. Powstaje nowe źródło, które dostarcza informacji o sytuacjach mających miejsce wewnątrz tramwaju. W Warszawie raz w miesiącu zespół badawczy poddaje analizie zapisany obraz [11].

9. IDENTYFIKACJA ZAGROŻEŃ

Bezpieczna infrastruktura powinna być dopasowana do potrzeb jej użytkowników. Stąd rodzi się konieczność diagnozowania i określenia ryzykownych zachowań i sytuacji, które mogłyby zostać ograniczone bądź w pełni wyeliminowane dzięki dostosowaniu infrastruktury. Omawianie i analizowanie ryzyka i zagrożeń uczestników ruchu jest podstawą dla ograniczania wypadków drogowych bądź ich skutków [17].

Pierwszymi, niepokojącym zjawiskiem jest nieuważne, najczęściej spowodowane pośpiechem, zachowanie pieszych, zakupujących bilety i próbujących zdążyć na tramwaj nie zważając na podstawowe zasady zachowania ostrożności. Zachowanie takie tworzy zagrożenie dla wszystkich uczestników transportu zbiorowego. Obowiązek uregulowania opłaty za przejazd jest koniecznością, jednak dostępność technologii mobilnych oraz sieci Internet daje nowe możliwości i tak dzięki nim, aby dostosować infrastrukturę do otoczenia, z przystanków tramwajowych zniknęły kioski, a zastąpiły je automaty z biletami [18]. Ważna jest liczba dostępnych automatów, uwzględniająca maksymalne natężenie ruchu pasażerów w obrębie przystanku, tak aby nie tworzyły się kolejki do kupna biletu, które wprowadzają nerwowość wśród pasażerów, a także ograniczają przestrzeń przystanku. Ponadto każdy przystanek powinien być wyposażony w automat biletowy. Jeżeli jedynie część przystanków posiada automaty wprowadza się niejasną dla użytkowników



sieci sytuację, w której nie mają pewności czy na danym przystanku będą w stanie kupić bilet umożliwiający przejazd. Dzięki umieszczeniu dodatkowych automatów w pojeździe, problem zostałby ograniczony. Opcjonalnie występuje możliwość zakupu biletu u motorniczego, co rodzi kolejne zagrożenie w gronie zachowań niebezpiecznych opartych na czynniku ludzkim. Według przepisów sprzedaż biletów przez motorniczego może być prowadzona jedynie w czasie postoju na przystanku, jednak w praktyce przepis ten jest notorycznie łamany.

Innym często powtarzającym się zjawiskiem jest przechodzenie przez przejście dla pieszych przez torowisko tramwajowe na czerwonym świetle. Sytuacja, gdy sygnalizator nakazuje stać, a nie nadjeżdża z żadnej ze stron tramwaj, jest permanentnie wykorzystywana do łamania przepisów ruchu drogowego. Powstaje pytanie, czy w każdym przypadku celowe jest wprowadzanie wspomnianej sygnalizacji. Ostrzeganie pieszych o nadjeżdżającym do przejścia dla pieszych tramwaju, mogłoby się odbywać przez sygnał dźwiękowy nadawany przez kierującego pojazdem. Dzięki czemu stopień bezpieczeństwa pozostałby na tym samym poziomie. Ponadto, usprawniłoby to ruch tramwajowy, gdyż nie wprowadzało wymuszonego postoju przed pustym przejściem dla pieszych.

Niski stopień wykorzystywania środków inżynierskich pomagających chronić pieszych przyczynia się zatem do narastania zjawiska [9]. Wprowadzając dodatkowe środki ostrożności, np. głosowe ostrzeganie o nadjeżdżającym tramwaju połączone ze znakami świetlnymi można sprawić, że tramwaj będzie bardziej zauważalny, dzięki spotęgowaniu i wyrazistości sygnałów informujących o jego nadjeżdżaniu, tym samym wpływając na bezpieczeństwo użytkowników sieci tramwajowej.

10. PODSUMOWANIE

Ten artykuł należy traktować jako zbiór potencjalnych kierunków działań przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnych, aby systematycznie dążyć do poprawy bezpieczeństwa i unowocześnienia infrastruktury.

Aby tramwaj zasługiwał na rolę podstawowego środka przemieszczania się musi charakteryzować się wysokim poziomem stanu techniczno-eksploatacyjnego. Wtedy też jest uznawany za bezpieczny i wartościowy w stosunku do innych konkurencyjnych środków transportu.

Projektując i udoskonalając infrastrukturę tramwajową należy mieć na względzie poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego. Tymczasem, powszechnie uznaje się, że w Polsce w przypadku 28-34% wypadków drogowych przyczyną są niepoprawne rozwiązania infrastrukturalne [1]. Sieć tramwajową można uznać za tożsamą i na tej podstawie przyjąć za stosowne przykładanie dużego znaczenia do usprawniania infrastruktury wiążącego się z dodatkowymi badaniami i zwiększonymi środkami finansowymi.



LITERATURA

- [1] Barcik J., Czech P., Wpływ infrastruktury drogowej na bezpieczeństwo ruchu – część 1, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, 2010.
- [2] Bojar P., Muślewski Ł., Woropay M., Analiza czynników wymuszających i ocena ryzyka w komunikacji tramwajowej, Logistyka, nr 3, 2012.
- [3] Brzeziński A., Rezwow M., Zrównoważony transport- ekologiczne rozwiązania transportowe, Ekorozwój i Agenda 21, Collegium Balticum w Szczecinie., 2007.
- [4] Dźwigoń W., Franek Ł., Zbiorowy transport publiczny w zintegrowanym systemie brd, Międzynarodowe Seminarium GAMBIT 2010, Gdańsk, 2010.
- [5] Dźwigoń W., Warunki wymiany pasażerów na przystankach tramwajowych, Przegląd Komunikacyjny, nr 1, 2012.
- [6] Gisterek I., Popiołek A., Propozycja nowelizacji tramwajowych przepisów budowlanych, Przegląd komunikacyjny, nr 9, 2015, 115 – 125.
- [7] Gisterek I., Propozycje unowocześnień w infrastrukturze tramwajowej we Wrocławiu, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, 2016, nr 3 (110), 51-61.
- [8] Graff M., Nowy tabor tramwajowy w Polsce, Technika Transportu Szynowego, nr 7-8, 2015.
- [9] Grulkowski S., Zariczny J., Koncepcja systemu oceny stanu technicznego przejazdów tramwajowych, Zeszyty naukowo-techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej, Seria: materiały konferencyjne, nr 2(101), 2013.
- [10] Kołodziejczyk K., Funkcjonalność przystanków linii tramwaju plus we Wrocławiu, Transport Miejski i Regionalny, nr 9, 2012.
- [11] Kornalewski L., Malasek J., Bezpieczna infrastruktura tramwajowa, Transport miejski i regionalny, nr 12, 2013.
- [12] Makuch J., Korycki T., Przystanki tramwajowe z wąskimi peronami, Przegląd Komunikacyjny, nr 10, 2015.
- [13] Makuch J., Niewykorzystany potencjał środków komunikacji zbiorowej poruszających się w poziomie ulicy, Międzynarodowa konferencja naukowo- techniczna „Zintegrowany system transportu miejskiego, 2005.
- [14] Makuch J., Popiołek A., Torowisko tramwajowe w przekroju ulicy dwujezdniowej, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, 2013, nr 3, 257-272.
- [15] Makuch J., Projektowanie przystanków tramwajowych dla wygody i bezpieczeństwa pasażerów, X Konferencja naukowo- techniczna „Drogi Kolejowe ‘99”, Spała 13-15 października 1999.
- [16] Makuch J., Propozycja niekonwencjonalnego sposobu prowadzenia nowej linii tramwajowej, Przegląd komunikacyjny, nr 9, 2015.
- [17] Matyjewski M., Analiza i ocena technicznych sposobów zmniejszania skutków wypadków drogowych, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Mechanika, z.225, 2009.
- [18] Miller P., Technologie mobilne usprawniające korzystanie ze środków komunikacji publicznej na przykładzie rozwiązań stosowanych w Miejskim Przedsiębiorstwie Komunikacyjnym – Łódź spółka z o.o., Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedza / Studies & Proceedings Polish Association for Knowledge Management . 2012, Issue 62.
- [19] Ostrowski K., Bezpieczeństwo ruchu na przejazdach tramwajowych, Logistyka, nr 2, 2004.



- [20] Pieńkowski K., Wstęp do oceny oświetlenia przystanków tramwajowych, Koło Naukowe KNEST, Wydział Transportu, Politechnika Warszawska.
- [21] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie.
- [22] Rudnicki A., Janecki R., Starowicz W., Żmidzińska B., Wnioski generalne wynikające z kompleksowych badań ruchu dla Katowic, Transport Miejski i Regionalny, nr 9, 2000.
- [23] Strona internetowa: <http://www.mobilnagdynia.pl/108-shared-space>. Dostęp 01.09.2017
- [24] Ulatowski W., Bezpieczeństwo urządzeń infrastruktury tramwajowej, Technika Transportu Szynowego, nr 7-8, 2007.
- [25] Wypadki drogowe w Polsce w 2015 roku, Komenda Główna Policji Biuro Ruchu Drogowego, Warszawa, 2016.

SAFETY ISSUES IN THE DESIGNING AND CONSTRUCTING THE TRAMWAY INFRASTRUCTURE

Summary

In this article, we discuss the safety-related problems of the tram transit infrastructure. We point out the directions to improve safety in tramway transportation. We also show the examples of actions aimed at safety improvement. Design and continuous development of infrastructure solutions have been deemed necessary to take account of traffic safety requirements.

Keywords: tramway, safety, tramway infrastructure.

Dane autorów:

Dr inż. Sławomir Grulkowski
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Transportu Szynowego i Mostów
e-mail: slawi@pg.gda.pl
telefon: +48 58 348 6089

Mgr inż. Jerzy Zariczny
Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Transportu Szynowego i Mostów
e-mail: jerzaric@pg.gda.pl
telefon: +48 58 348 6089

