

Marek Sitarz, Ilona Mańka, Adam Mańka

# Analiza zderzeń kontrolowanych tramwaju z samochodem osobowym oraz ciężarowym z punktu widzenia bezpieczeństwa pasażerów i motorniczych

*W związku z tym, że w Polsce wiele linii tramwajowych nie tylko przecina się z drogami, ale również stanowi ich część, istnieje duże ryzyko powstania kolizji oraz wypadków z udziałem użytkowników transportu drogowego, jak i tramwajowego. Wypadki te są szczególnie niebezpieczne dla osób biorących udział w zdarzeniu, ze względu na znaczną różnicę mas, a także z punktu widzenia bezpieczeństwa motorniczego, przestarzałą konstrukcją tramwajów (w większości są to konstrukcje oparte na modelu 105N z lat 70. XX w.), co ma istotne znaczenie przy zderzeniach z innym tramwajem, bądź tramwaju z samochodem ciężarowym.*

Powołując się na dane statystyczne, Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) szacuje, że na drogach świata, średnio co 30 s ginie człowiek. Organizacja ta szacuje również, że do 2020 r. wypadki drogowe mogą stać się trzecią przyczyną zgonów ludzi na świecie. W 2010 r. na obszarze krajów Unii Europejskiej doszło do 1 114 980 wypadków drogowych, w których zginęło 30 937 osób.

Z danych Głównej Komendy Policji za lata 2010 i 2011 wynika, że na polskich drogach doszło do ponad 78 tys. wypadków (zginęło ponad 8000 osób), niepokojący jest też fakt, że Polska, w przeciwieństwie do krajów takich, jak: Niemcy, Włochy, czy też Wielka Brytania, wcale nie rejestruje największej liczby wypadków, a jednak to w naszym przypadku wskaźnik zabitych na 100 wypadków jest znacznie wyższy – 10,1, podczas gdy w Niemczech wskaźnik ten wynosi 1,3, w Wielkiej Brytanii 1,2, a we Włoszech 1,9. Z danych Głównej Komendy Policji wynika również, że wśród zderzeń, najwięcej tragicznych wypadków to zderzenia boczne – 617 wypadków i 696 osób zabitych, a także zderzenia czołowe – 575 wypadków i 733 osoby zabite (dane te dotyczą 2011 r.).

W Polsce w latach 2011–2012 w wyniku zderzenia z tramwajem doszło do 309 wypadków, w których zginęło 31 osób, a rannych zostało 380 (wg danych GUS oraz Biura Ruchu Drogowego Komendy Głównej Policji [1, 2]).

W związku z występowaniem dużego zagrożenia dla uczestników zdarzenia, a zwłaszcza z punktu widzenia bezpieczeństwa motorniczego, jak również niewielką liczbą danych na temat analizy wypadków z udziałem tramwajów, Katedra Transportu Szyno-

wego Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej, we współpracy z Tramwajami Śląskimi S.A. Zajeźdźnią Gliwice podjęła się przeprowadzenia zderzeń kontrolowanych tramwaju z samochodem osobowym, jak i samochodem ciężarowym. Celem badań było zobrazowanie rezultatów zderzenia bocznego, a także określenie przeciążeń działających na kierowcę pojazdu osobowego, ciężarowego oraz motorniczego, które to dane zostaną wykorzystane do dalszych prac związanych z projektowaniem absorberów energii.

Analiza uzyskanych wyników pozwoliła na:

- przedstawienie motorniczemu skutków i zagrożeń wynikających ze zderzenia zarówno dla samochodu osobowego, jak i ciężarowego (opracowano i przedstawiono materiał szkoleniowy dla motorniczych na dvd);
- zaproponowanie i zaprojektowanie nowego rozwiązania konstrukcji zderzaka pojazdu szynowego, spełniającego między innymi funkcje pochłaniania energii, celem zmniejszenia skutków uderzenia, a tym samym zwiększenia bezpieczeństwa pieszo-kierowcy, motorniczego oraz pasażerów; planowane jest przeprowadzenie kolejnej próby zderzeniowej z uwzględnionymi zmianami konstrukcyjnymi;
- określenie skuteczności zaproponowanej konstrukcji poprzez analizę porównawczą skutków kolizji, w tym przeciążeń działających na poszczególne elementy.

## Opis przeprowadzonych badań

Podczas zderzenia kontrolowanego przeprowadzonego przez Katedrę Transportu Szynowego Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej, we współpracy z Tramwajami Śląskimi, wykorzystano:

- wielokanałowy system sterowania radiowego o częstotliwości 2,4 GHz, który po podłączeniu poprzez układ przekaźników do nastawnika jazdy umożliwił zdalne sterowanie zderzanym tramwajem w celu wykluczenia udziału motorniczego, a tym samym zwiększenia bezpieczeństwa organizowanego przedsięwzięcia (tramwaj poruszał się z prędkością 40 km/h i 36 km/h); system ten uwzględniał również automatyczne hamowanie w przypadku utraty łączności;
- dwie kamery HD GoPro, monitorujące przebieg zdarzenia z wnętrza samochodu osobowego i z kabiny motorniczego;
- kamerę Sony, rejestrującą przebieg zdarzenia z zewnątrz;
- układ markerów, niezbędny do przeprowadzenia analizy obrazu;



Fot. 1. Skutki zderzenia tramwaju z samochodem osobowym

■ autorskie oprogramowanie służące do analizy obrazu zarejestrowanego podczas zderzenia, umożliwiające bezpośrednie określenie prędkości, przyspieszeń oraz przeciążeń działających na uczestników wypadku.

Do opisywanych badań zastosowano analizę obrazu zarejestrowanego przez wiele kamer – analiza ta jest najczęściej wykorzystywaną metodą przy określaniu dynamiki i skutków zderzeń kontrolowanych [3].

Ze zdjęć wykonanych po zderzeniu tramwaju z samochodem osobowym – jak się można było spodziewać – widać, że uszkodzenia kabiny tramwaju są nieznaczne, w przeciwieństwie do uszkodzeń samochodu osobowego (fot. 1).

Z opinii ekspertów wynika jednoznacznie, że ani kierowca, ani pasażer nie mieliby szans na przeżycie takiego zderzenia, ponosząc liczne obrażenia głowy, kręgosłupa, klatki piersiowej oraz urazy narządów wewnętrznych.

Pomimo relatywnie niewielkich prędkości zderzenia (36 km/h) uszkodzenie samochodu jest na tyle poważne, że bezsprzecznie kwalifikuje go do kasacji.

Jednocześnie, oddziaływanie na tramwaj w trakcie zderzenia jest na tyle znikome, że zarówno motorniczy, jak i pasażerowie nie odnieśliby żadnych obrażeń, co więcej, osoby stojące mogłyby znacznie łatwiej utrzymać równowagę niż w przypadku gwałtownego hamowania (hamowania roboczego).

Zderzenie powoduje niewielkie uszkodzenia tramwaju. Podłuznica tramwaju nie ulega uszkodzeniu. Deformacji ulegają jedynie elementy poszycia na dole czoła tramwaju, które nie mają bezpośredniego wpływu na jego wytrzymałość czy bezpieczeństwo podróży. W trakcie zderzeń kontrolowanych światła tramwaju zostały uszkodzone dopiero po drugim zderzeniu tramwaju, nie

biorąc zatem tego faktu pod uwagę, tramwaj pozostał zdolny technicznie do kontynuowania przejazdu.

Zupełnie odmiennie wygląda sytuacja w przypadku zderzenia tramwaju z samochodem ciężarowym. W przypadku tego typu zderzeń motorniczy, pomimo niewielkiej prędkości zderzenia, nie miałby większych szans na przeżycie, co zostało potwierdzone przez obecnych na miejscu ratowników medycznych oraz specjalistów straży pożarnej (fot. 2).

Motorniczy w wyniku zderzenia z samochodem ciężarowym uderza głową w pulpit sterujący, który zakleszcza również jego nogi oraz klatkę piersiową. Znaczne przemieszczenie pulpitu w głąb kabiny zostało wywołane penetracją kabiny przez burtę samochodu ciężarowego. Dodatkowo motorniczy zostaje obsypany szkłem, pochodzącym z rozbitej przedniej szyby tramwaju, a także zawartością znajdującą się w naczepie samochodu ciężarowego. Obrażenia motorniczego, powstałe w wyniku zderzenia tramwaju z samochodem ciężarowym, są nie tylko bardzo poważne, ale również bardzo rozległe, dlatego też tego typu zdarzenie byłoby z pewnością tragiczne w skutkach. Filmy uzyskane z przeprowadzonych *Crash testów* w sposób bezpośredni oddziałują na zwiększenie świadomości motorniczych, którzy często nie zdają sobie sprawy z zagrożeń wywołanych wypadkami komunikacyjnymi z udziałem samochodów ciężarowych.

## Analiza wyników

W następnym etapie prac, na podstawie filmów nagranych podczas przeprowadzonych badań, przeprowadzono poklatkową analizę obrazu obu zderzeń, która wykazała, że podczas zderzenia z samochodem osobowym należy analizować zderzenie dwuetapowe. W pierwszym etapie dochodzi do kontaktu pojazdów, pod-



czas którego na samochód osobowy, przez ułamek sekundy, działa przeciążenie równe 11,2 g i dochodzi do uszkodzenia karoserii samochodu osobowego, bez jego przesunięcia, podczas gdy na tramwaj działa przeciążenie równe 0,56 g. W kolejnym etapie pojazdy poruszają się razem, nieznacznie wytracając swoją

prędkość, tj. o 4 km/h (fot. 3). Podczas zderzenia samochód osobowy zmienia swoją prędkość z 0 do ok. 32 km/h w 0,091 s, natomiast zmiana prędkości tramwaju to 4 km/h w 0,2 s. W dalszym etapie oba pojazdy poruszają się razem z prędkością 32 km/h, bez wyraźnego zmniejszenia prędkości, co skutkowało



Fot. 2. Skutki zderzenia tramwaju z samochodem ciężarowym – widok z boku i przodu

koniecznością zdalnego uruchomienia hamulców tramwaju w celu zatrzymania obu pojazdów po próbie zderzenia (fot. 3).

Z analizy obrazu wynika, że w chwili zderzenia tułów kierowcy przesuwany jest w stronę pasażera, a zaraz po tym głowa kierowcy bezpośrednio styka się z czołem tramwaju, po czym jest odrzucana wraz z tułowiem w kierunku przeciwnym, w stronę górnej części drzwi pasażera.

W przypadku zderzenia tramwaju z samochodem ciężarowym można wyróżnić co najmniej trzy jego etapy. W pierwszym etapie dochodzi do kontaktu obu pojazdów z prędkością  $V_p = 36,288$  km/h, następnie po kontakcie prędkość tramwaju zmniejsza się do  $V_1 = 33,696$  km/h, po czym – po ruszeniu samochodu ciężarowego z miejsca (kontakt podłużnica–podłużnica) – prędkość zmniejsza się do  $V_2 = 29,376$  km/h. W momencie rozpoczęcia hamowania tramwaju w wyniku zderzenia, tj. po 0,3 s od zderzenia, tramwaj osiąga prędkość  $V_3 = 18,144$  m/s. W poszczególnych etapach na motorniczego działają przeciążenia zgodne z wielkościami pokazanymi na fotografii 4.

### Podsumowanie i wnioski

W wyniku prac przeprowadzonych przez Katedrę Transportu Szybowego, Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej we współpracy z Tramwajami Śląskimi S.A., Zajezdnia Gliwice:



Przeciążenie dla sam. os. 109,6 [m/s<sup>2</sup>] (11,2g)



Przeciążenie dla tramwaju 5,54 [m/s<sup>2</sup>] (0,56g)

Fot. 3. Poklatkowa analiza obrazu zderzenia tramwaju poruszającego się w chwili zderzenia z prędkością 36 km/h z samochodem osobowym



Klatka 16 – 28,8 [m/s<sup>2</sup>] (3g)



Klatka 20 – 43,2 [m/s<sup>2</sup>] (4,4g)



Klatka 27 – 14,4 [m/s<sup>2</sup>] (1,5g)

Fot. 4. Poklatkowa analiza obrazu zderzenia tramwaju poruszającego się w chwili zderzenia z prędkością 40 km/h z samochodem ciężarowym

- opracowano film szkoleniowy dla motorniczych, który ma na celu podniesienie świadomości zagrożeń wynikających ze zderzeń z rozróżnieniem na typ pojazdu;
- opracowano autorski program *Crashpoint*, którego zadaniem jest zautomatyzowanie analizy obrazu otrzymanego ze zderzeń oraz określenie na jego podstawie poszczególnych przeciążeń;
- określono przeciążenia działające na poszczególne pojazdy podczas różnych etapów zderzenia;
- przedstawiono i opisano mechanizmy działające podczas przeprowadzonych zderzeń;
- opracowano założenia do konstrukcji zderzaka umożliwiającego ograniczenie skutków zderzenia w przypadku zderzeń z udziałem pieszego, samochodu osobowego oraz ciężarowego.

Należy podkreślić, że relatywnie niewielkie prędkości poruszającego się tramwaju powodują, że najczęściej ani motorniczy, ani

kierowcy nie są w pełni świadomi skutków zderzeń i zagrożeń wynikających z podejmowanych – niejednokrotnie ryzykownych – manewrów w trakcie prowadzenia pojazdów. Ważne jest również uświadomienie faktu, że zderzenie tramwaju z samochodem ciężarowym, nawet przy niewielkiej prędkości, pociąga za sobą katastrofalne skutki dla motorniczego i pasażerów znajdujących się w sąsiedztwie jego kabiny, z uwagi na brak ponad podłużnicą tramwaju zabezpieczeń przed zderzeniem.

Dlatego też istotne jest zobrazowanie podczas szkoleń konsekwencji zderzeń zarówno z samochodem osobowym, jak i ciężarowym w formie prezentacji oraz filmów instruktażowych. Działania takie rozpoczęto poprzez opracowanie filmu *Skutki zderzeń komunikacyjnych z udziałem tramwaju* i przekazanie go osobom zainteresowanym w Polsce podczas konferencji *Bądźmy razem bezpieczni*.

Aktualne kierunki prowadzonych prac zmierzają do wykonania i zamontowania opracowanego zderzaka oraz przeprowadzenia weryfikacji skuteczności zaproponowanego rozwiązania konstrukcyjnego zderzaka (próby zderzeniowe przeprowadzone przez Katedrę Transportu Szynowego na Wydziale Transportu Politechniki Śląskiej oraz Tramwaje Śląskie S.A.).



#### Literatura

- [1] Opracowanie Zespołu Profilaktyki i Analiz Biura Ruchu Drogowego Komendy Głównej Policji: *Wypadki drogowe w Polsce w 2011 r.* Warszawa 2012.
- [2] Dane GUS za 2012 r.
- [3] Gall J., Rosenhahn B., Gehrig S., Seidel H. P.: *Model – based Motion Capture for Crash Test Video Analysis*. 30th Annual Symposium of the German Association for Pattern Recognition (DAGM'08), Springer, LNCS 5096, 92-101, 2008 Springer Verlag.

Marek Sitarz  
 Politechnika Śląska, Wydział Transportu  
 Katedra Transportu Szynowego

Ilona Mańka  
 Politechnika Śląska, Wydział Transportu  
 Katedra Transportu Szynowego

Adam Mańka  
 Politechnika Śląska, Wydział Transportu  
 Katedra Transportu Szynowego