



# Badania systemów powstrzymujących pojazd przed wypadnięciem z drogi, ze szczególnym uwzględnieniem obiektów inżynierskich

dr inż. Marcin Budzyński  
prof. dr hab. inż. Krzysztof Wilde  
dr hab. inż. Kazimierz Jamroz  
prof. dr hab. inż. Jacek Chróścielewski  
dr hab. inż. Wojciech Witkowski  
dr inż. Stanisław Burzyński  
mgr inż. Dawid Bruski  
mgr inż. Łukasz Jeliński  
mgr inż. Łukasz Pachocki  
Politechnika Gdańska  
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Z pojęciem bezpieczeństwa związane są zagrożenie i ryzyko. Zagrożenie można zdefiniować jako możliwość wystąpienia zjawiska niepożądanego (np. wypadek transportowy), które będzie miało konsekwencje w postaci szkody (straty materialne, środowiskowe, ofiary ranne, ofiary śmiertelne). Najprostsza definicja ryzyka to prawdopodobieństwo wystąpienia szkody określonej wielkości w wyniku narażenia na zagrożenie [2]. Zagrożenia takie jak ekstremalne warunki pogodowe, zagrożenia terrorystyczne, osunięcia ziemi czy trzęsienia ziemi są trudne do przewidzenia, zarządzania i łagodzenia. Do zagrożeń systemów transportowych należą również wypadki, a ich wpływ na funkcjonowanie transportu i bezpieczeństwo użytkowników jest znaczący.

Obrażenia poniesione w wyniku wypadków drogowych są jedną z głównych przyczyn zgonów na świecie. Ponad 1,4 miliona ludzi ginie każdego roku na drogach na całym świecie, a ok. 50 milionów odnosi obrażenia, co często skutkuje dalszym życiem z długofalowymi negatywnymi konsekwencjami zdrowotnymi. Na świecie wypadki drogowo są główną przyczyną śmierci wśród młodzieży i osób w wieku 15-29 lat. Obrażenia związane z ruchem drogowym są obecnie dziewiątą przyczyną śmierci we wszystkich grupach wiekowych na świecie. Przewiduje się, że do roku 2030 stanie się to siódmą główną przyczyną śmierci [3]. W gospodarkach rozwiniętych zdołano przełamać związek między rozwojem motoryzacji i liczbą ofiar śmiertelnych w ruchu drogowym, a w części z nich osiągnięto w tym zakresie znaczące sukcesy. Przykładem może być Polska, która po krytycznym roku 1991, kiedy zarejestrowano blisko 8 tys. zgonów w wyniku wypad-

## SUMMARY

### Tests of systems restraining vehicles from wiping out with special reference to engineering structures

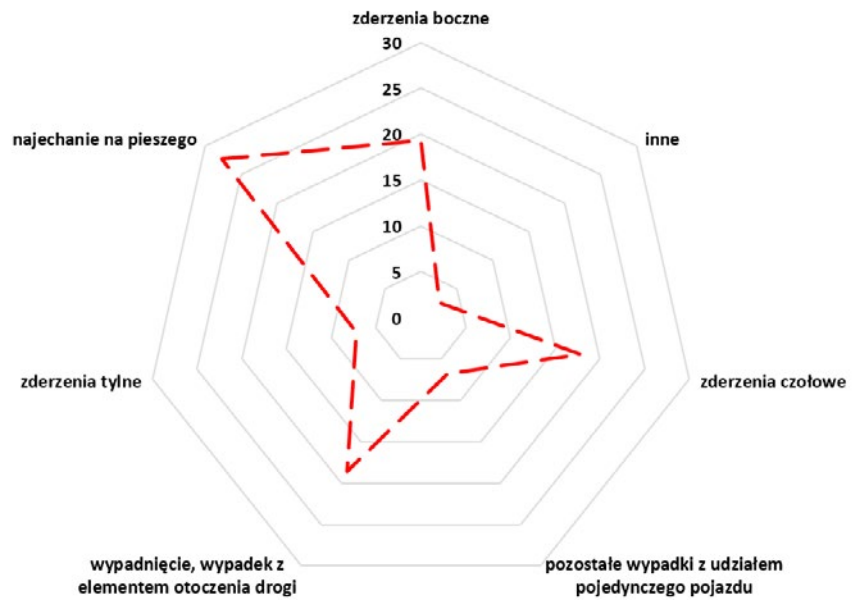
Transportation systems are designed and used so as to effectively and safely relocate people, goods and services. Despite this there are numerous hazards that disrupt or damage these systems. Risks such as extreme weather conditions, terrorist threats, landslides or earthquakes are difficult to predict, manage and mitigate. One of the hazards for transportation systems are accidents, and their impact on the transport functioning and user safety is significant. Methodical research on the threats in terms of their identification, assessment, classification and preventive measures is becoming more and more crucial with the increasing role of transport.

**Keywords:** traffic barriers, road traffic safety, protective systems

ków drogowych, obecnie jest na poziomie ok. 3 tys. ofiar śmiertelnych wypadków rocznie. Niestety w ostatnich latach zauważalne są ograniczenie trendu spadkowego i brak znaczącej poprawy, pomimo wielu prowadzonych w naszym kraju działań w zakresie poprawy bezpieczeństwa użytkowników dróg. Wskaźnik ofiarochłonności demograficznej (ODZ) na poziomie 80 ofiar śmiertelnych na 1 mln mieszkańców w naszym kraju jest blisko 3-krotnie wyższy niż w Wielkiej Brytanii czy Szwecji. W dalszym ciągu infrastruktura drogowa w Polsce odbiega w wielu



Rodzaje wypadków w roku 2018, ofiary śmiertelne [%]



Rys. 1. Udział procentowy ofiar śmiertelnych wg rodzajów wypadków

przypadkach od wymaganych standardów bezpieczeństwa. Brak poprawnych rozwiązań skutkuje ryzykiem wystąpienia wypadków drogowych, szczególnie wypadków poważnych z konsekwencjami w postaci ofiar śmiertelnych i ciężko rannych [4, 5].

Na rys. 1 przedstawiono udział procentowy ofiar śmiertelnych w poszczególnych rodzajach wypadków w roku 2018. Najwięcej ofiar śmiertelnych zarejestrowano w najeżaniach na pieszego (28%). W zderzeniach bocznych, czołowych oraz przy wypadnięciach z jedni i wypadkach z elementem otoczenia drogi zarejestrowano po ok. 20% ofiar śmiertelnych. To wskazuje, jak poważny jest problem bezpieczeństwa dotyczący otoczenia dróg. Zwraca również uwagę, że wypadnięcie z drogi, obok zderzeń czołowych, charakteryzuje się zdecydowaną największą liczbą ofiar śmiertelnych na 100 wypadków, ale również znaczną liczbą ofiar ciężko rannych. Wypadnięcia pojazdu z drogi to 17 ofiar śmiertelnych na 100 wypadków, co jest dwukrotnie większą wartością niż przy pozostałych wypadkach branych pod uwagę łącznie. Tak wysoki wskaźnik jest efektem uderzenia pojazdu w przeszkodę trwałą (drzewo, słup, podpora obiektu mostowego, ścianka czołowa przepustu, bariera).

### Opis problemu

Pod pojęciem wypadnięcia z drogi rozumie się takie pierwotne zdarzenie, w którym pojazd wypada z jezdni drogi w wyniku utraty stateczności lub naglej zmiany kierunku jazdy (wymuszonej jazdą ze zbyt dużą prędkością, utratą przyczepności koła do nawierzchni itp.). W wyniku tego zdarzenia niekiedy następuje powrót pojazdu na jezdnię, ale bardzo często występuje wtórne zdarzenie niebezpieczne polegające na: wywróceniu się pojazdu, wjechaniu pojazdu do rowu, uderzeniu w skarpę lub obiekt zlokalizowany na pasie drogowym albo w jego bliskim otoczeniu (najeżanie pojazdu na barierę drogową, drzewo, słup lub znak drogowy) [6].

Przegląd badań wskazuje, że w zakresie oceny wpływu otoczenia na bezpieczeństwo ruchu drogowego dominującym nurtem badań jest poszukiwanie wpływu wybranych parametrów drogi (szerokość jezdni, rodzaj i szerokość pobocza, drzewa i znaki drogowe przy drodze), obiektów drogowych (obiekty inżynierskie, przepusty, znaki drogowe), przeszkód przy drodze (drzewa, słupy) oraz urządzeń drogowych (bariery drogowe i wygrozdzenia) na zagrożenie wypadkami związanymi

z wypadnięciem pojazdu z jezdni. Wyniki tych badań wykorzystano do modelowania i symulowania wpływu różnych kombinacji parametrów geometrycznych drogi oraz parametrów ruchu na częstość i skutki wypadków. Na podstawie modeli opracowano zbiór działań prewencyjnych i wykazano, że częstotliwość zdarzeń można znacząco zmniejszyć poprzez: zwiększenie szerokości pasa ruchu i pobocza, poszerzenie pasa dzielącego, jezdni przy dojeździe do obiektu mostowego, przeniesienie lub usunięcie niebezpiecznych obiektów położonych w pasie drogowym, łagodzenie pochylenia skarp, zastosowania urządzeń BRD, w tym barier i innych systemów ochronnych [7, 8].

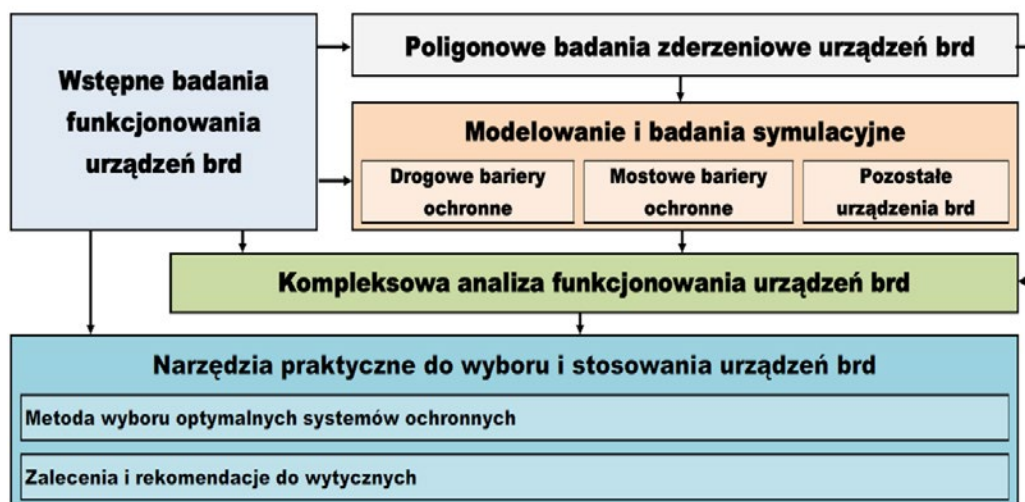
W nowszych badaniach skupiono się na drogach „wybaczących błędy kierowców”, dla których istotne okazały się strefy przy jezdni wolne od przeszkód. Wykorzystując wyniki badań terenowych, modelowania matematycznego i symulacji komputerowej, określono zalecane szerokości strefy wolnej od przeszkód oraz odległość od jezdni i stosowanie barier drogowych [9]. Bardzo często przedmiotem badań jest określenie wielkości zagrożeń związanych z drzewami usytuowanymi zbyt blisko jezdni, złą konstrukcją słupa lub znaku drogowego, źle zaprojektowanymi lub zlokalizowanymi barierami ochronnymi. Wyniki tych badań wykorzystywane były do opracowania wytycznych i przykładów dobrych praktyk [10, 11]. Jednym z ważniejszych projektów dotyczącym otoczenia dróg, w tym barier ochronnych, realizowanych na terenie Europy, był RISER [12] (*Roadside Infrastructure for Safer European Roads*). Projekt miał za zadanie określić zachowania kierowców (w dostosowywaniu prędkości) w stosunku do napotkanych warunków otoczenia. Inny projekt – SAVER – dotyczy stosowania urządzeń BRD w Europie, szczególnie w zakresie otoczenia dróg [13].

### Założenia projektu RoSE

Urządzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego można podzielić na dwie grupy. Pierwsza z nich to urządzenia czynne, z którymi pojazd wchodzi w bezpośredni kontakt podczas niezamierzonych zdarzeń w ruchu, w tym podczas kolizji lub wypadków drogowych, ze szczególnym uwzględnieniem minimalizacji następstw tych zdarzeń, zwłaszcza następstw osobowych (ofiary ranne lub śmiertelne). Druga grupa to urządzenia bierne – urządzenia niewchodzące w bezpośrednią styczność z pojazdem

**Systemy transportowe są zaprojektowane i użytkowane tak, aby efektywnie i bezpiecznie przemieszczać ludzi, towary i usługi. Pomimo tego występuje wiele zagrożeń, które je zakłócają lub uszkadzają. Systematyczne badanie zagrożeń w zakresie ich identyfikacji, oceny, klasyfikacji i sposobów przeciwdziałania nabiera coraz większego znaczenia wraz ze wzrostem roli transportu [1].**





Rys. 2. Zakres projektu RoSE (RID 3A)

- w zdarzeniach ruchowych lub w wypadkach i kolizjach drogowych, lecz służące jedynie do organizacji i kierowania ruchem drogowym, do zapobiegania zakłóceniom tego ruchu, a także do uprzedzania kierujących i innych użytkowników drogi o zagrożeniach bezpieczeństwa lub płynności ruchu. Drogowe bariery ochronne to czynne urządzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego stosowane w miejscach, gdzie skutki wypadku lub kolizji pojazdu byłyby większe niż uderzenie w barierę (np. najechanie na drzewo). W wyniku zadań, jakie mają spełniać, ich konstrukcja powinna być przygotowana do ewentualnego kontaktu z pojazdem, gdyż podstawowym celem ich stosowania jest ochrona życia uczestników ruchu (oraz osób użytkujących tereny przy drodze). Urządzenia te stosuje się głównie w celu:

- fizycznego uniemożliwienia wypadnięcia pojazdu z drogi w miejscu, gdzie jest to niebezpieczne,
- fizycznego uniemożliwienia przejechania pojazdu na jezdnię przeznaczoną dla przeciwnego kierunku ruchu,
- niedopuszczenia do powstania kolizji pojazdu z obiektami lub przeszkodami stałymi znajdującymi się na drodze lub w otoczeniu drogi,
- zabezpieczenia miejsc „specjalnych”.

Stosowanie barier (jako podstawowych urządzeń czynnego bezpieczeństwa ruchu drogowego) należy wiązać z poziomem ryzyka wystąpienia zagrożeń BRD oraz zagrożeń dla obiektów w otoczeniu drogi. Warunkiem poprawnego projektowania jest wiarygodne określenie prędkości pojazdów. W przypadkach występowania zagrożeń wymagających zastosowania zabezpieczeń należy sprawdzić możliwość usunięcia, przesunięcia lub zminimalizowania tych zagrożeń przez działania inżynierskie inne niż zastosowanie barier. Nie można traktować urządzeń BRD jako elementu projektu organizacji ruchu w ostatnim etapie projektowania, kiedy nie ma miejsca na zastosowanie rozwiązań bezpiecznych. Głównym celem projektu o akronimie RoSE (*Road Safety Equipment*), realizowanego w ramach szerszego programu RID (Rozwój Innowacji Drogowych) finansowanego przez NCBiR oraz GDDKiA, jest przeprowadzenie kompleksowych badań i analiz funkcjonowania różnych systemów powstrzymujących pojazd i zainstalowanych na drogach i obiektach inżynierskich. Proponowane prace obejmują wstępne badania funkcjonowania aktualnie stosowanych urządzeń BRD, uzupełniające badania poligonowe wybranych testów zderzeniowych, rozbudowane badania numeryczne oraz kompleksowe analizy umożliwiające sformułowanie zaleceń i rekomendacji dotyczących urządzeń BRD. W wyniku tych analiz przewiduje się opracowanie zaleceń dotyczących doboru rozwiązań i parametrów funkcjonalnych systemów zabezpieczających pojazdy przed

wypadnięciem z drogi w postaci dwóch grup narzędzi wspomagających projektowanie, budowę i utrzymanie urządzeń BRD, zawierających:

- opracowanie metody wyboru optymalnych systemów zabezpieczających pojazdy przed wypadnięciem z drogi w zależności od: rodzaju i wielkości zagrożenia, klasy drogi, wielkości i struktury potoku pojazdów oraz warunków ruchu (prędkości pojazdów) występujących na drodze,
- opracowanie zaleceń i rekomendacji do wytycznych dotyczących: konstruowania urządzeń BRD, projektowania i budowania systemów powstrzymujących oraz instrukcji dla służb utrzymujących systemy zabezpieczające pojazdy przed wypadnięciem z drogi dla różnych warunków drogowo-ruchowych.

Zaproponowane metody, zalecenia i narzędzia praktyczne będą budowane z wykorzystaniem doświadczeń oraz praktyk krajowych, europejskich i światowych. Dodatkowym celem niniejszego projektu będzie dostarczenie merytorycznych podstaw do końcowego opracowania wytycznych stosowania urządzeń BRD, tj. barier drogowych, urządzeń energochłonnych i pasywnych konstrukcji wsporczych na sieci dróg krajowych. Schemat procedury realizacji projektu przedstawiono na rys. 3.

Poza celem głównym przyjęto także cele szczegółowe, które sformułowano następująco:

1. identyfikacja zagrożeń wynikających z braku lub niewłaściwego stosowania urządzeń BRD oraz identyfikacja błędnych rozwiązań projektowych, konstrukcyjnych, wykonawczych i eksploatacyjnych urządzeń BRD;
2. określenie wpływu rodzaju drogowych i mostowych barier ochronnych oraz innych urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego, ich cech konstrukcyjnych, dodatkowych elementów wyposażenia, typu drogi i lokalizacja barier na drodze oraz warunków drogowo-ruchowych, a także wpływu zastosowania błędnych rozwiązań projektowych, budowlanych i eksploatacyjnych analizowanych barier na ich funkcjonalność i bezpieczeństwo ruchu;
3. opracowanie klasyfikacji urządzeń BRD stosowanych na drodze w zależności od rodzaju urządzenia, funkcji, jakie powinny spełniać i warunków drogowo-ruchowych na podstawie kompleksowych i wielowarstwowych analiz wyników badań i obserwacji terenowych, badań poligonowych i badań numerycznych.

W kolejnych rozdziałach przybliżono wybrane efekty prac w ramach projektu RoSE na przykładach identyfikowanych zagrożeń w otoczeniu dróg, opisując zrealizowane testy poligonowe, oraz na przykładzie barier mostowych przybliżono efekty prowadzonych testów numerycznych. □