



MARCIN BUDZYŃSKI

Politechnika Gdańska  
Katedra Inżynierii  
Drogowej  
mbudz@pg.gda.pl



WOJCIECH KUSTRA

Politechnika Gdańska  
Katedra Inżynierii  
Drogowej  
castrol@pg.gda.pl

## Analiza zagrożeń na jednorodnych odcinkach dróg

Mankamenty drogi i jej otoczenia bardzo rzadko są wskazywane w statystykach, jako bezpośrednia okoliczność występowania wypadków drogowych. Powodem tego jest częste przypisywanie bezpośredniej przyczyny wystąpienia wypadku błędom użytkowników dróg. Należy jednak podkreślić, że bardzo często błędy popełniane przez uczestników ruchu powodowane są przez niedostatki lub mankamenty infrastruktury drogowej. Tragiczne skutki popełnionych błędów wynikają z braku odpowiednich standardów bezpieczeństwa na znacznej długości sieci

drogowej, a przede wszystkim z braku wyposażenia dróg w ciągi pieszce, ograniczenia pola widoczności na skrzyżowaniach, występowanie przeszkód bocznych w sąsiedztwie drogi. Te elementy mogą być jednocześnie przykładami źródeł zagrożenia w ruchu drogowym.

### Potrzeba opracowania metody oceny zagrożeń

Zagrożenie to warunkowa możliwość wystąpienia zdarzenia niepożądanego (kolizji, wypadku drogowego). W ruchu drogowym zagrożeniem jest możliwość wystąpienia straty w wyniku wypadku drogowego (np. może to być możliwość zostania ofiarą śmiertelną wypadku drogowego, spowodowanego przez kierowcę pojazdu jadącego ze zbyt dużą prędkością i wyprzedzającego inny pojazd przy ograniczonej widoczności, co doprowadzi do zderzenia czołowego z pojazdem nadjeżdżającym z przeciwnej strony). W tym przypadku zagrożeniem będzie poniesienie szkód przez kierowcę (np. zostania ofiarą śmiertelną) w wyniku zderzenia czołowego.

Powiązania między źródłami zagrożenia i stratami w ruchu drogowym prezentuje następująca sekwencja zdarzeń: „Źródła zagrożenia – zagrożenie – aktywizacja zagrożenia – zdarzenie niebezpieczne – straty”. Źródłami zagrożeń na sieci dróg są: infrastruktura drogowa (a w szczególności jej mankamenty), pojazd, człowiek, ruch drogowy oraz zjawiska i uwarunkowania zewnętrzne [1].

W Polsce ciągle brakuje narzędzi pozwalających skutecznie zarządzać bezpieczeństwem ruchu drogowego (brd),

w tym także obiektywnej metody oceny zagrożenia na sieci dróg. Metoda oceny zagrożenia na sieci dróg powinna składać się z następujących elementów:

- zasad prowadzenia identyfikacji zagrożeń i źródeł zagrożeń na drodze (np. na podstawie inspekcji terenowej),
- zasad szacowania wpływu źródeł zagrożeń i zagrożeń na występujące straty w wypadkach drogowych (materiałowe i osobowe),
- kryteriów klasyfikacji zagrożenia na sieci dróg na podstawie inspekcji terenowej z wykorzystaniem zasad szacowania wpływu zagrożeń na straty.

W związku z tym konieczne jest poszukiwanie i opracowanie zależności pomiędzy źródłami zagrożenia w ruchu drogowym a stratami osobowymi i ekonomicznymi wypadków drogowych. Zależności te będą opisane za pomocą modeli matematycznych umożliwiających symulowanie wpływu zmienności wybranego zbioru źródeł zagrożenia na wybrane skutki wypadków drogowych na jednorodnych odcinkach sieci dróg. Realizacja tego celu umożliwi opracowanie metody oceny zagrożenia na sieci dróg.

Powyższa metodologia pozwoli również na ocenę efektywności stosowanych rozwiązań infrastruktury drogowej, w tym środków poprawy bezpieczeństwa w ruchu drogowym.

### Inspekcja bezpieczeństwa ruchu drogowego

Ocena zagrożenia w ruchu drogowym polega na oszacowaniu rzeczywistego poziomu bezpieczeństwa analizowanego odcinka drogi. Na podstawie inspekcji bezpieczeństwa ruchu drogowego wykonywanej w terenie ocenia się prawdopodobieństwo uwikłania w wypadek drogowy z ofiarami śmiertelnymi lub ciężko rannymi. Wielkość prawdopodobieństwa zależy od standardów bezpieczeństwa danej drogi.

Podstawową ideą inspekcji brd jest okresowe sprawdzanie dróg, głównie przez inżynierów ruchu, niezależnie od statystyki wypadków. Celem jest identyfikacja mankamentów brd mogących potencjalnie wpływać na powstawanie zdarzeń drogowych. Poprzez regularnie prowadzone inspekcje uzyskuje się lepszy poziom bezpieczeństwa na drogach dzięki stosunkowo szybkiej identyfikacji zagrożeń i na tej podstawie możliwości stosowania odpowiednich środków naprawczych.

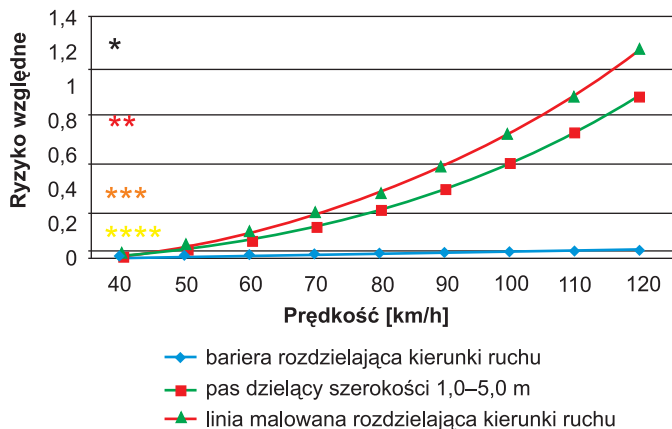
Wykonanie rzetelnych inspekcji dróg metodą tradycyjną jest bardzo pracochłonne i czasochłonne. Wprowadza się zatem automatyzację, poprzez zastosowanie systemu pomiarowo-rejestrującego. W Polsce metody z zastosowaniem narzędzi

automatycznych i z obiektywnymi kryteriami nie są jeszcze stosowane lub mają charakter incydentalny. Dla potrzeb metody oceny zagrożenia, która byłaby wdrażana przez zarządców dróg w Polsce, konieczne jest przyjęcie standardowych procedur opartych na możliwie nieskomplikowanym sprzęcie i oprogramowaniu [2].

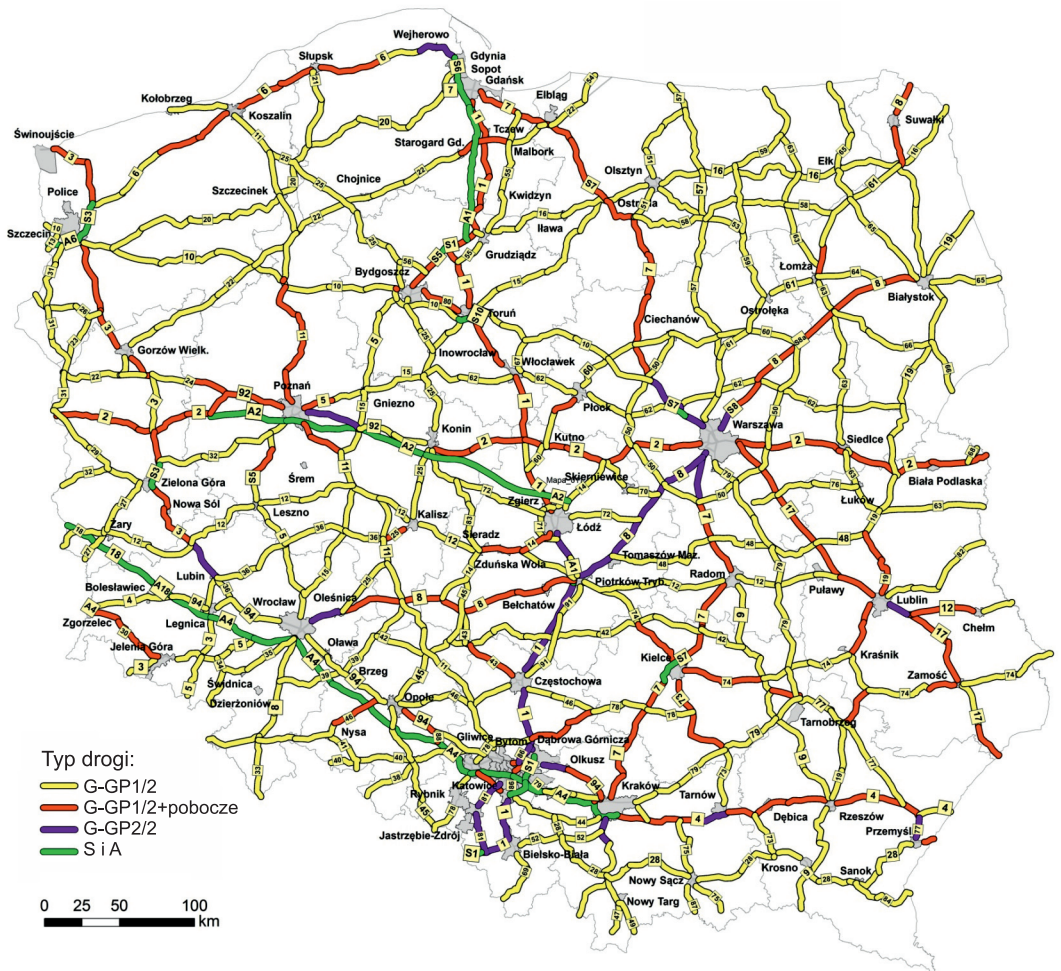
Należy wyróżnić dwie metody oceny zagrożenia:

- ocena zagrożenia przeprowadzana przez administrację drogową – na potrzeby utrzymania sieci drogowej i realizowania zadań związanych z poprawą brd,
- ocena zagrożenia wykonywana przez organizacje motoryzacyjne na potrzeby uczestników ruchu drogowego (konsumentka), określająca na podstawie cech drogi i jej otoczenia poziom bezpieczeństwa uczestników ruchu [3].

Przykład oceny zagrożenia realizowanej dla potrzeb EuroRap [3] przedstawiono na rysunku 1. Wykres dotyczy analizy wpływu elementów przeciwdziałających zderzeniom czołowym na ryzyko wystąpienia tego typu wypadków. Na wykresie zaznaczono poziomy ryzyka względnego za pomocą systemu „gwiazdek” – od pięciu przy ryzyku najmniejszym do jednej przy ryzyku największym.



Rys. 1. Ocena ryzyka na odcinku drogi pod kątem wystąpienia zderzeń czołowych [4]



Rys. 2. Drogi krajowe z podziałem na typy dróg

## Szacowanie wpływu wybranych źródeł zagrożeń na wielkość strat

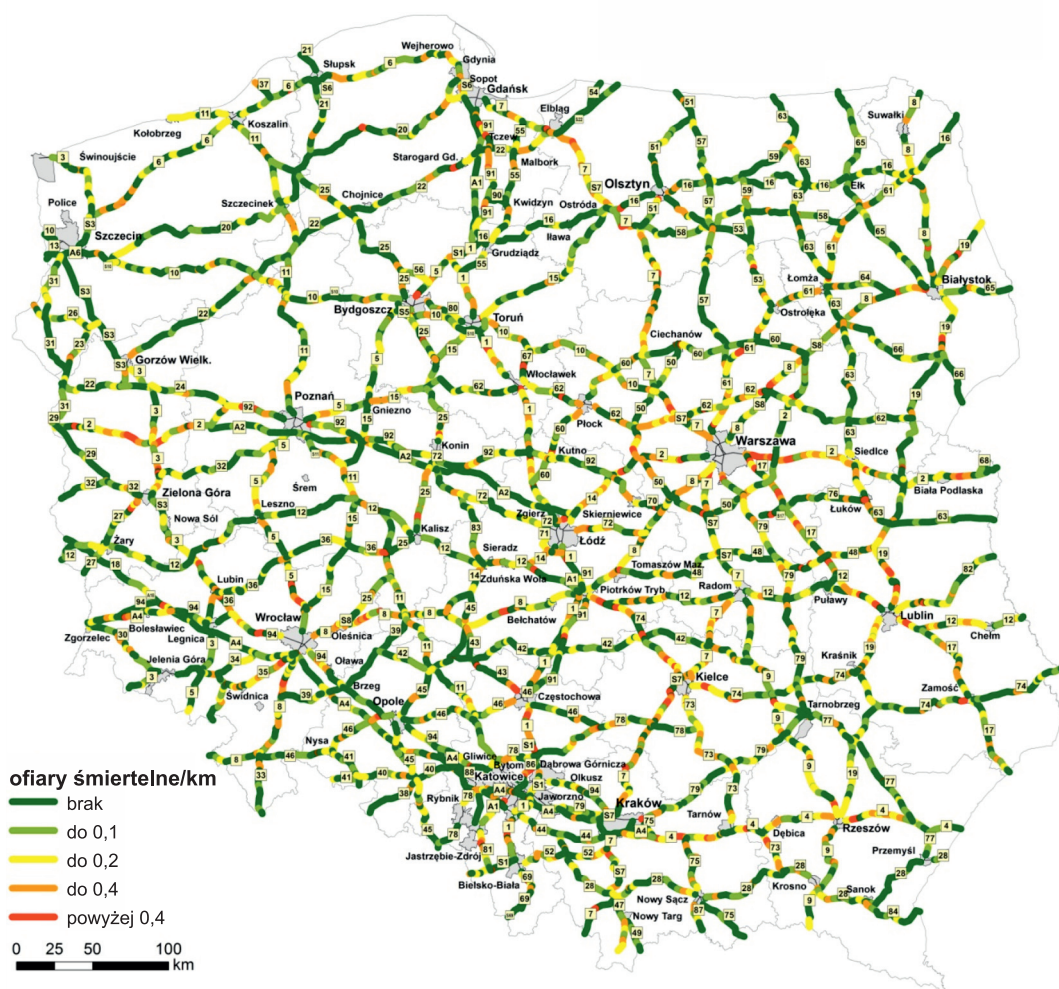
### Poligon badawczy

Do badań przyjęto poligon złożony z sieci dróg krajowych. Wykorzystano dane z bazy danych o drogach krajowych z podziałem na ponad 5,5 tys. punktów referencyjnych. Następnie wykonano agregację do odcinków (średnia długość ok. 20 km), zachowując możliwą jednorodność pod względem przekroju poprzecznego i natężenia ruchu. Wyróżniono następujące odcinki dróg:

- A (autostrady),
- S (ekspresowe),
- G-P1/2 (główne, przekrój jednojezdniowy dwupasowy),
- G-P1/2 + pobocza (przekrój jednojezdniowy dwupasowy plus pobocza utwardzone),
- G-P2/2 (przekrój dwujezdniowy po dwa pasy).

Na tej podstawie sieć dróg krajowych została podzielona na 596 jednorodnych odcinków, z tego 533 stanowią drogi jednojezdniowe, 26 to drogi dwujezdniowe oraz 32 to drogi ekspresowe i autostrady (rys. 2). Średnia gęstość ofiar śmiertelnych to 0,11 ofiar śmiertelnych/km (w ciągu trzech lat), najwyższa na drogach dwujezdniowych G-GP2/2 – 0,23; najniższa na autostradach – 0,06 (rys. 3).





Rys. 3. Gęstość ofiar śmiertelnych na drogach krajowych w Polsce w latach 2008–2010

### Czynniki wpływające na straty w ruchu drogowym

Czynniki wpływające na straty osobowe w ruchu drogowym zostały podzielone na dwie główne grupy: ruchowe i drogowe. Z czynników ruchowych występującym najczęściej podczas budowy modeli gęstości lub liczby wypadków na odcinkach dróg jest średnioroczne dobowe natężenie ruchu (SDNR). Modele te dowodzą, że wraz ze wzrostem natężenia ruchu rośnie liczba wypadków i ofiar. Innym czynnikiem mającym wpływ na liczbę wypadków jest udział pojazdów ciężarowych, którego wzrost wpływa na zmniejszenie gęstości wypadków i gęstości ofiar rannych, ale jednocześnie na zwiększenie gęstości ofiar śmiertelnych wypadków drogowych. W przypadku zagrożenia niechronionych użytkowników dróg, jednym z czynników wpływających na liczbę wypadków i ofiar jest gęstość przejść dla pieszych, wraz ze wzrostem punktów kolizji ruchu pieszego i pojazdów rośnie liczba wypadków i ich ofiar.

Drugą grupę będą stanowiły czynniki drogowe: klasa drogi, typ, przekrój, krętość, falistość, stan techniczny nawierzchni oraz poboczy, liczba skrzyżowań, jakość oznakowania lub dostępność. Jednym z ważniejszych czynników wpływających na liczbę wypadków i ofiar jest gęstość lub liczba skrzyżowań. Dodatkowo istnieje korelacja pomiędzy liczbą skrzyżowań

a prędkością poza obszarami zabudowanymi. Problem dostępności do drogi oraz jej wpływ na liczbę wypadków, a także aspekty związane z prędkością na odcinkach dróg tranzytowych w terenach zabudowanych zostały bardzo szeroko opisane w badaniach prowadzonych w Politechnice Krakowskiej [5], [6]. W badaniach tych zastosowano między innymi uogólniony model regresji liniowej. Dowodzi on, że wraz ze wzrostem gęstości skrzyżowań rośnie liczba wypadków, dodatkowo wzrost gęstości zjazdów również wpływa negatywnie na liczbę wypadków, jednak jego wpływ jest kilkunastokrotnie mniejszy niż pojedynczego skrzyżowania.

### Dobór modeli

Opracowano koncepcję kilkunastu modeli zależności miar ryzyka (gęstość/ci wypadków) od wybranych parametrów drogowo – ruchowych (źródeł zagrożenia). Korzystając z programu STATISTICA dobrano

parametry modeli. Jednym z modeli, pokazujących wpływ analizowanych czynników na poziom strat w ruchu drogowym jest model opisany wzorami: (1) gęstości ofiar śmiertelnych, (2) liczby ofiar śmiertelnych, a w tabeli 1 zestawiono parametry modeli różnych rodzajów strat [7].

Tabela 1. Zestawienie parametrów modeli poziomu strat w ruchu drogowym najbardziej istotnych czynników

Model (1)	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	P <0,05	R <sup>2</sup>	
	N	N	PZ	T	UC			
GZ <sub>1</sub>	0,110	0,570	-0,227	0,092	0,905	0,049	0,44	
GZ <sub>2</sub>	0,447	0,519	-1,062	-0,365		0,012	0,68	
Model (2)	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	P <0,05	R <sup>2</sup>
	N	N	L	PZ	T	UC		
LZ <sub>1</sub>	0,659	0,635	0,791	-0,241	0,103	0,844	0,048	0,47
LZ <sub>2</sub>	10,190	0,603	0,363	-1,388	-0,364		0,043	0,71

GZ<sub>1</sub> – gęstość ofiar śmiertelnych na drogach jednojezdniowych [liczba ofiar śmiertelnych/km],

GZ<sub>2</sub> – gęstość ofiar śmiertelnych na drogach dwujezdniowych, ekspresowych i autostradach [liczba ofiar śmiertelnych/km],

LZ<sub>1</sub> – liczba ofiar śmiertelnych na drogach jednojezdniowych [liczba],

LZ<sub>2</sub> – liczba ofiar śmiertelnych na drogach dwujezdniowych, ekspresowych i autostradach [liczba].

$$GZ_k = \beta_{1k} \times (N \times 10^{-4})^{\beta_{2k}} \times \exp\{\beta_{2k} \times PZ + \beta_{4k} \times T_k + \beta_{2k} \times UC_k\} \quad (1)$$

$$LZ_k = \beta_{1k} \times (N \times 10^{-4})^{\beta_{2k} L \beta_{2k}} \times \exp\{\beta_{4k} \times PZ + \beta_{3k} \times T_k + \beta_{3k} \times UC_k\} \quad (2)$$

w których:

$GZ_k$  – gęstość ofiar śmiertelnych,

$LZ_k$  – liczba ofiar śmiertelnych,

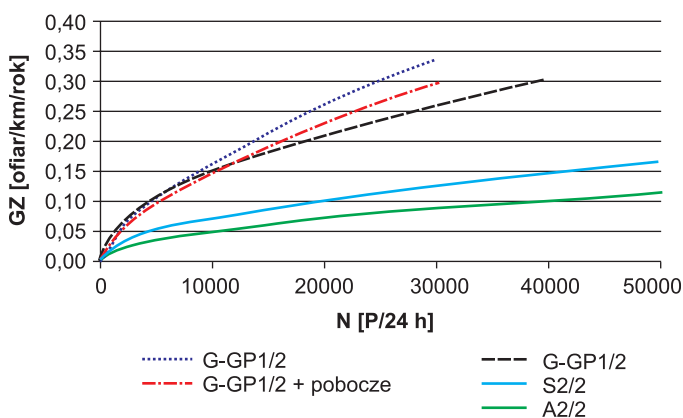
$N$  – średnioroczne dobowe natężenie ruchu,

$PZ$  – procent długości terenu zabudowanego [%],

$T$  – typ drogi, liczba pasów,

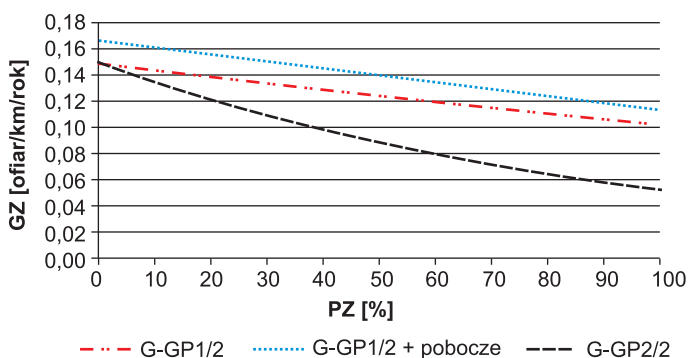
$UC$  – udział pojazdów ciężarowych [%].

Na rysunkach 4–6 przedstawiono przykładowe wykresy zależności wpływu analizowanych czynników na gęstość ofiar śmiertelnych na drogach krajowych w Polsce. Największy wpływ natężenia ruchu wystąpił w opisie przedmiotowej zależności na drogach typu G-GP1/2 + pobocze. Najmniejszy wpływ wystąpił w przypadku autostrad (rys. 4). Wzrost udziału odcinków zabudowanych zmniejsza gęstość ofiar śmiertelnych, przy czym najwyższe wartości wskaźnika gęstości zarejestrowano na drogach G-GP1/2 + pobocze (rys. 5). Wzrost udziału pojazdów ciężarowych w potoku pojazdów zwiększa gęstość ofiar śmiertelnych, przy czym ponownie najwyższe wartości zarejestrowano na drogach G-GP1/2 + pobocze (rys. 6).



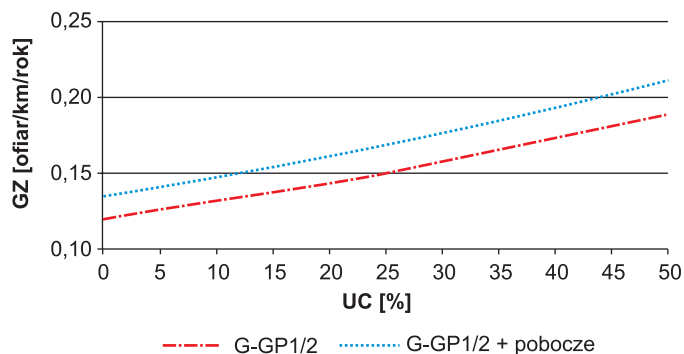
(poziom zabudowy PZ 0%, średni udział pojazdów ciężarowych UC)

Rys. 4. Wpływ natężenia ruchu i typu drogi na gęstość wypadków na drogach krajowych



(natężenie 10 tys. pojazdów N, średni udział pojazdów ciężkich UC)

Rys. 5. Wpływ odcinków zabudowanych na gęstość ofiar śmiertelnych



(natężenie 10 tys. pojazdów N, średni poziom zabudowy PZ)

Rys. 6. Wpływ udziału pojazdów ciężkich na gęstość ofiar śmiertelnych

## Wnioski

Brak standardów bezpieczeństwa na znacznych odcinkach dróg w Polsce, przejawiający się występowaniem istotnej liczby mankamentów, będących źródłami zagrożenia dla użytkowników dróg, wymusza konieczność opracowania metody oceny zagrożeń na sieci dróg. Metoda ta pozwoli skuteczniej zarządzać bezpieczeństwem ruchu drogowego. Dotychczasowe prace wskazują na konieczność prowadzenia badań w następujących kierunkach:

- identyfikacja zagrożeń i ich źródeł w ruchu drogowym,
- opracowanie modeli matematycznych wiążących zagrożenie (źródła zagrożeń) z poziomem strat poniesionych w wyniku wypadku drogowego,
- opracowanie kryteriów oceny poziomu zagrożenia,
- opracowanie obiektywnej i zautomatyzowanej metody oceny zagrożenia na sieci dróg.

Badania naukowe zostały wykonane w ramach realizacji Projektu „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju” współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

## Bibliografia

- [1] Jamroz K., *Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej*, Wyd. Politechnika Gdańska, Gdańsk 2011
- [2] Budzyński M., Kustra W., *Inspekcje bezpieczeństwa ruchu drogowego*, Drogownictwo 2010
- [3] EuroRAP, *European Road Assessment Programme, Star Rating Europe's Road for Safety*, Hampshire 2003
- [4] Bradford J., *EuroRap Training Course*, Belgrad 2010
- [5] Gaca S., *Badania prędkości pojazdów i jej wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego*, Zeszyty Naukowe, Inżynieria Lądowa nr 75, Politechnika Krakowska, Kraków 2002
- [6] Kieć M., *Wpływ dostępności do dróg na warunki i bezpieczeństwo ruchu*, Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, 2009
- [7] Jamroz K., Michalski L., i in., *Metoda oceny wpływu projektów infrastruktury drogowej na bezpieczeństwo ruchu drogowego* (praca na zlecenie GDDKiA) Gdańsk 2010 ■