

## **PRZEGLĄD TEORII MODELI STOSOWANYCH W BEZPIECZEŃSTWIE RUCHU DROGOWEGO**

### **1. Wstęp**

W ponad stuletniej historii badań, analiz i prowadzenia działań prewencyjnych na rzecz bezpieczeństwa wypracowano wiele teorii i modeli wypadków, w tym także modeli wypadków drogowych. Można przyjąć, że bezpieczeństwo ruchu drogowego wyrosło już na dyscypliną naukową, składającą się wielu elementów, które można uszeregować w formie piramidy (nauki bazowe, dyscypliny pokrewne, teorie, modele i eksperymenty). Dyscyplina naukowa bezpieczeństwo ruchu drogowego korzysta z doświadczeń wielu nauk bazowych (techniki, medycyna, zachowania społeczne) oraz wielu dyscyplin naukowych (matematyki, fizyki, inżynierii ruchu drogowego, inżynierii drogowej, bezpieczeństwa, transportu, edukacji, psychologii, socjologii, ergonomii, medycyny, prawa, urbanistyki). Czyli jest dziedziną prowadzącą badania interdyscyplinarne [7]. Natomiast filarami poznawczymi dzisiejszej nauki, są trzy ostatnie warstwy tej piramidy, czyli triada: teoria – eksperyment – model. Zatem rozwój i relacje między tymi warstwami są istotnymi czynnikami poznania rzeczywistości [8]. W niniejszej pracy przedstawiono przegląd teorii i modeli stosowanych w badaniach bezpieczeństwa ruchu drogowego. Przyjęto poniższe definicje odnośnie teorii i modelu w bezpieczeństwie ruchu drogowego.

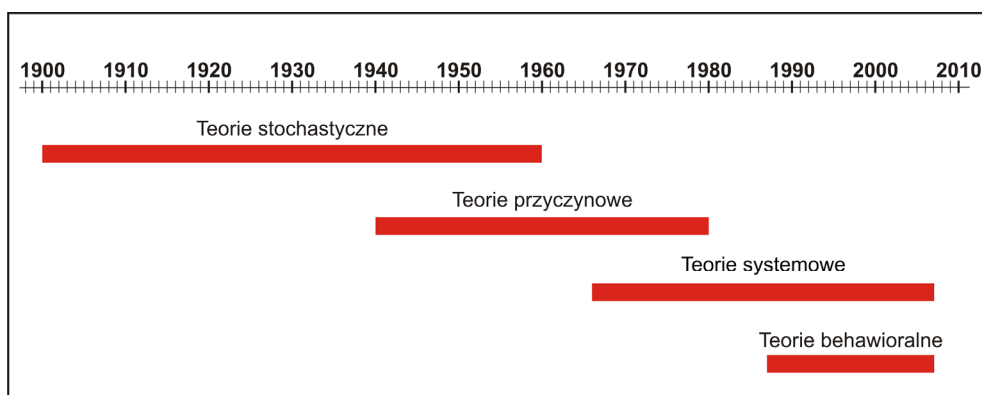
Teoria jest to systematycznie uporządkowana wiedza wyjaśniająca daną dziedzinę rzeczywistości, dająca się zastosować w szerokim zakresie możliwości (okoliczności) oraz, że opiera się na systemie założeń, zaakceptowanych praw i zasad dotyczących analizy, prognozowania lub inaczej wyjaśniania natury lub specyficznego zachowania zbioru zjawisk. Przyjmując taką definicję teorii w bezpieczeństwie ruchu drogowego można wyodrębnić cztery podstawowe grupy teorii: stochastyczne, przyczynowe, systemowe, behawioralne.

Model jest z założenia pewną idealizacją lub uproszczeniem rzeczywistości. Sam charakter i stopień uproszczenia zależy od wiedzy, potrzeb i wiadomości badacza i może się zmieniać w zależności od celu badań. Wspólną właściwością dla teorii i modelu jest odnoszenie się do rzeczywistości w formie uproszczonej i abstrakcyjnej. Najbardziej

przekonującym argumentem za odkrywaniem teorii i modeli jest założenie, że reguły, zasady i procedury nie są nigdzie systematycznie zorganizowane i podane ani nie są powszechnie dostępne dla badającego wypadek drogowy.

## 2. Przegląd teorii w bezpieczeństwie ruchu drogowego

Minęło już 100 lat, kiedy podjęto pierwsze próby badań zmierzające do wyjaśnienia różnych aspektów powstawania wypadków drogowych. W tym okresie narodziło się wiele teorii wyjaśniających aspekty powstawania wypadków drogowych. W badaniach wypadków ruchu drogowego można wyróżnić cztery okresy, które przedstawiono na rys.1 [1]. W każdym z tych okresów dominowała jedna z czterech grupy teorii powstawania wypadków drogowych: stochastyczne, przyczynowe, systemowe, behawioralne.



Rys.1 Chronologiczne następstwo grup teorii bezpieczeństwa ruchu drogowego [1]

### 2.1 Teorie stochastyczne

Teorie stochastyczne dominowały w analizach wypadków drogowych przez pierwszą połowę poprzedniego wieku. W tym okresie wyróżniono okres analiz wypadków jako zdarzeń losowych i okres statystycznych teorii wypadków. Jako prekursora tej teorii wypadków jako zdarzeń losowych uznaje się Brotkiewicza, który odkrył, że rozkład liczby ofiar śmiertelnych w ciągu roku jest prawie doskonale losowy, a model Poissona bardzo dobrze

opisuje ten proces losowy. Rezultaty Bortkiewicza doprowadziły do akceptacji idei, że wypadki są czysto losowe a człowiek nie ma nad nimi żadnej kontroli [1]. Dalsze prace innych badaczy spowodowały, że analizy przesunęły się od poglądu, że wypadki są kwestią przypadku poprzez stwierdzenie, że są one winą osób mających jakieś osobiste zaburzenia. Drugim stosowanym modelem, uwzględniającym nienormalną koncentrację wypadków u niektórych uczestników ruchu był model dwumianowy ujemny, który stosowany jest do opisu rozkładów wypadków drogowych do dzisiaj.

Zastosowanie innych modeli stochastycznych do szczegółowego opisu zjawiska bezpieczeństwa ruchu drogowego jak modele: regresyjne, szeregów czasowych, procesów stochastycznych, przestrzenne, ekonometryczne itp. pozwoliło na sprecyzowanie w końcowym okresie stwierdzenia, że większość wypadków drogowych jest powodowana przez zwykłych kierowców, ale do ich powstania przyczynia się wiele czynników nie tylko związanych z kierowcą [1].

Dotychczas najczęściej stosowanymi modelami w bezpieczeństwie ruchu drogowego były modele regresyjne, które ze względu na dużą dostępność danych opisujących zmienne niezależne, umożliwiają uzyskiwanie poprawnych modeli wypadków drogowych [2]. Coraz większą rolę odgrywają także modele ekonometryczne. Niestety teorie i modele stochastyczne nie są wystarczające do opisu wypadku drogowego i określania na tej podstawie działań usprawniających bezpieczeństwo ruchu drogowego.

## **2.2 Teorie przyczynowe**

Przyczynowe teorie wypadków dowodziły, że tylko przy dokładnym poznaniu prawdziwych czynników powodujących wypadki, możliwe jest im zapobieganie. Można wyróżnić dwa nurty w występujące w przyczynowych teoriach wypadków: deterministyczny (następstwo zdarzeń) i probabilistyczny (zbiór czynników). Jako prekursora teorii wykorzystującej następstwo zdarzeń uznaje się Heinricha [6] z opracowaną przez niego „teorią domina”, która bazuje na założeniu, że wypadek składa się z pojedynczego zdarzenia, które ma przyczynę. Zatem poprawa bezpieczeństwa według tej teorii polega na znalezieniu i wyeliminowaniu przyczyny wypadku. Najdalej rozwinięte są natomiast teorie sekwencji zdarzeń wieloliniowych, które zakładają, że wypadki są elementem ciągu zdarzeń i proponują procesowe spojrzenie na zjawisko wypadku [13].



Czynniki ludzkie stanowią nadal duży problem badawczy. Wiele badań prowadzonych od lat 60 - tych ubiegłego wieku wykazywało na dość duży udział czynników ludzkich w powstawaniu wypadków. Szacuje się, że ok. 60% wypadków w przemyśle, 70 – 80 % wypadków w lotnictwie i 85 – 95 % wypadków drogowych związanych jest z czynnikami ludzkimi. Istnieją dwa podejścia do analizy wpływu czynników ludzkich; przyczynowe i systemowe. Błędy są naturalnym elementem zachowań człowieka, ale kosztują zbyt wiele. Ale czynniki wpływające na ich powstawanie mogą być różne. Kategoryzacja błędów wyróżnia błędy pojawiające się podczas wyuczonych zachowań (pomyłki jako działania niezamierzone) i takie, które pojawiają się podczas zachowań nie wyuczonych lub rozwiązywania problemów (błędy wykonania) [14]. Do najczęściej wymienianych czynników należą czynniki środowiskowe, cechy osób (np. płeć, wiek, praktyka i trening), czynniki modyfikujące zachowania kierowców (alkohol, narkotyki, pogoda), wyposażenie pojazdu, nadzór nad zachowaniem i wiele innych. Zmniejszenie wpływu czynników ludzkich na powstawanie wypadków związane jest z automatyzacją lub częściową automatyzacją czynności wykonywanych przez człowieka jako kierowcę.

Coraz częściej, chociaż nie tak często jak w innych dziedzinach transportu, do analizy przyczyn wypadków drogowych stosowane są modele czynnikowe, bocznego łańcucha zdarzeń (drzewa), sekwencyjne lub sieciowe. Korzystając zatem z teorii przyczynowych, a przede wszystkim modeli sekwencyjnych, sieciowych i drzew (zdarzeń, błędów lub decyzji) możliwe jest prowadzenie analiz wielu przyczyn wypadków drogowych, których rozpoznanie umożliwi wyeliminowanie lub ograniczenie wpływu najbardziej istotnych przyczyn i okoliczności wypadków drogowych.

Mimo, że przeprowadzono już wiele badań dotyczących wpływu czynnika ludzkiego na zachowania uczestników ruchu i bezpieczeństwo ruchu. Zidentyfikowano między innymi cztery główne rodzaje zachowań kierowców, które prowadzi bezpośrednio do wypadków: odwrócenie uwagi, nieostrożność i błędne spostrzeganie, senność oraz zachowania ryzykowne, rywalizacyjne i agresywne. To nadal jeszcze wiele problemów związanych z wpływem nowych pojazdów i nowych elementów infrastruktury transportowej na zachowania uczestników ruchu i bezpieczeństwo wymaga badań. Przykładowym problemem jest dynamiczna przestrzeń widoczności, stosowanie narkotyków przez uczestników ruchu, zastosowanie urządzeń telematyki itp. Podejście przyczynowe do analizy wypadków opierało się na założeniu, że prawdziwe powody wypadków mogą być poznane tylko dzięki szczegółowym studiom nad każdym wypadkiem, warunkami otaczającymi



oraz zdarzeniami, które do niego doprowadziły. Takie podejście jest prawdopodobnie oparte na mikrobiologii i jej poszukiwaniach przyczyn chorób poprzez identyfikację mikroorganizmów przenoszących infekcje oraz inne mechanizmy powodujących choroby.

### **2.3 Teorie systemowe**

Wzrost parku samochodowego w latach 40-tych i 50-tych w USA i towarzyszący mu wzrost ilości wypadków, pokazał, że wypadki może powodować każdy a nie tylko wyjątkowo niezręczni ludzie. Dało się wyczuć, że teoria przyczynowa wypadków nie może całkowicie wyjaśniać występowania wypadków. Duże skupienie uwagi w przyczynowej teorii wypadków i na błędach ludzkich doprowadziło w latach 50-tych do niewłaściwego kierunku poprawy bezpieczeństwa jedynie poprzez zmianę zachowania ludzi. Szybko stało się jasne, że takie próby jedynie w małym stopniu były skuteczne. Również szybko zrozumiano, że twierdzenie iż człowiek jest omylny to za mało by przeciwdziałać wypadkom. Trzeba było dowiedzieć się, dlaczego ludzie powodują wypadki. Realizacja tego założenia doprowadziła do powstania nowej teorii wypadków tj. teorii systemowej.

Podstawowym założeniem teorii systemowej było, że wypadki są rezultatem nieprzystosowania w interakcji pomiędzy elementami składowymi całego systemu bezpieczeństwa. Zgodnie z tą teorią, nie można wskazywać jednego elementu systemu jako ważniejszego niż inne. Ludzie popełniają błędy, ale dlaczego to robią? Odpowiedź zaproponowana przez teorię systemów brzmiała: błędy są popełniane, ponieważ system nie jest prawidłowo zaprojektowany i nie jest dostosowany do ludzkich możliwości. Zatem teoria ta pozwala na łączenie informacji z pojedynczych wypadków celem stworzenia obszaru wiedzy o działaniu danego systemu i jego stabilności, gdyż poszczególne warstwy (poziomy) systemu przyczyniają się do narastania ryzyka wypadku [15].

Najczęściej stosowanymi w bezpieczeństwie modelami są modele: kontroli, zbieżności, odchyżeń i zarządzania wywodzące się z teorii generalnej oraz modele: ukrytych warunków, patologiczne, „nosiciel – ochrona”, przepływu energii i usprawnień energetycznych wywodzące się z teorii epidemiologicznych i energetycznych.

Teoria systemów wysokiej niezawodności mówi, że wielu wypadków w niebezpiecznych technologiach można uniknąć poprzez działania prewencyjne takie jak wysoki poziom projektowania, budowy i zarządzania systemem [9].



Teoria systemów w odniesieniu do transportu drogowego dotyczy przede wszystkim wyeliminowania wypadków poprzez modyfikacje technicznych elementów systemu transportowego. Teoria systemowa jest najlepszą z dotychczasowych. Wprowadzone udoskonalenia w systemie dróg, kontroli ruchu i projektowaniu pojazdów znacznie zredukowały wskaźniki koncentracji wypadków i ich ofiar na drogach w zachodnich zmotoryzowanych krajach [1].

Korzystając z teorii i modeli systemowych poszukuje się wszystkich zależności i relacji mających wpływ na doprowadzenie do wypadku (tzw. czynniki przeniesione w czasie i przestrzeni) oraz czynników działających na miejscu i czasie wypadku drogowego w celu budowy systemu działań prewencyjnych oraz systemu monitorowania i kontroli funkcjonowania poszczególnych zależności i relacji. Przykładem tego podejścia jest program działań prewencyjnych znany pod nazwą macierzy Haddona, który jest uważany za prekursora wielodyscyplinarnego podejścia do zagadnienia bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz stworzenia podstaw do późniejszych badań systemowych [4], [5].

## **2.4 Teorie behawioralne**

Ostatnie 15-20 lat dowiodło, że nawet teoria systemów nie w pełni wyjaśnia zjawisko występowania wypadków. Być może problem wypadków jest nierozwiązywalny? Nowe podejście zasugerował w roku 1980 Gerlad Wilde dając podstawy dla teorii behawioralnych.

Podstawowym założeniem wszystkich teorii behawioralnych jest ocena ryzyka przez ludzi i jego akceptacja jako bardzo ważnej determinanty wypadków. Podobnie jak w poprzednich, tak i w tej grupie rozróżniamy kilka teorii: homeostazy ryzyka, przystosowania behawioralnego, zmiany zachowań zdrowotnych.

Homeostaza jest to zdolność organizmu do utrzymania stałości środowiska wewnętrznego, która jest możliwa dzięki mechanizmom dostosowawczym działającym na zasadzie sprzężenia zwrotnego, niezależnie od działania czynników zewnętrznych. Wilde postawił w prosty sposób tezę, że jedynym czynnikiem powodującym trwałe zmiany w ilości wypadków w długim okresie czasu jest pragnienie bezpieczeństwa przez całą społeczność. Stwierdził, że każda społeczność posiada taką ilość wypadków, jaką chce mieć i jedynym sposobem by obniżyć tę liczbę jest zmiana docelowego poziomu ryzyka (pożądany poziom bezpieczeństwa) [17]. Model Wilde'a sprowokował poważną międzynarodową dyskusję w wyniku, której zgodzono się, że nie można obalić teorii homeostazy ryzyka. Jednakże



Wilde nie określił jak najlepiej pomierzyć „założony poziom ryzyka” i jak wpłynąć by go zmienić. Teoria ta staje się więc „czarną skrzynką”, do której żadna miara nie może być włożona.

Nie mniej jednak należy zaznaczyć, że teoria homeostazy ryzyka uwzględnia wszystkich uczestników ruchu drogowego (zmotoryzowanych i niezmotoryzowanych.)

Wielu naukowców zgadza się, że Wilde zidentyfikował ważne mechanizmy w swojej teorii stwierdzając, że nie na wszystkich drogach środki bezpieczeństwa dają zamierzone efekty. Nie ma wątpliwości, że najsilniejszym oczekiwaniem względem bezpieczeństwa ruchu drogowego są sukcesy programów przeciwdziałania powstawaniu wypadków. Im większe pragnienie społeczne by przeciwdziałać wypadkom tym mocniejsze środki poprawy bezpieczeństwa są akceptowane [1].

Próba Wilda by sformułować generalną teorię wyjaśniającą wypadki nie powiodła się. Bardziej ograniczoną teorią jest teoria przystosowania behawioralnego. Teoria zakłada, że użytkownicy drogi dostosowują swoje zachowanie do czynników ryzyka i środków bezpieczeństwa ruchu w większym lub mniejszym zakresie, ale nie koniecznie w taki sposób, by całkowicie rekompensować czynniki ryzyka, które powodują behawioralne przystosowanie [12].

Prace nad teorią zmian zdrowotnych rozpoczęto niedawno. Teoria wyjaśnia wpływ zachowań pro zdrowotnych osób indywidualnych i społeczeństwa na zmniejszenie liczby ofiar. Wywodzi się ona z teorii ekologicznych. Według tej teorii liczba ofiar lub prawdopodobieństwo bycia ofiarą wypadku zależy od następujących elementów: promocji zdrowia (edukacja, komunikacja społeczna, programy, polityka, regulacje prawne, zmiany organizacyjne), czynników ludzkich (poziom lokalny, poziom społeczny) oraz zachowań i otoczenia. Teoria ta pozwala wyjaśnić, które zachowania i czynniki środowiskowe są odpowiedzialne za zwiększanie liczby ofiar oraz wskazać metody działań prewencyjnych [3]. Wypadki drogowe i ich ofiary są istotnym elementem wpływającym na poziom zdrowia publicznego, dlatego zasadne jest zwrócenie uwagi na tą teorię.

## ***2.5 Inne teorie i modele***

Ruch drogowy zasługuje na szczególną uwagę badaczy. Wynika to z faktu, że niebezpieczne zdarzenia drogowe pojawiają się często i prowadzą do dużych strat społecznych. A jest to efektem znacznej ekspozycji zagrożenia uczestników ruchu oraz relatywnie dużego prawdopodobieństwa zdarzeń typu: incydent, konflikt, kolizja lub wypadek drogowy. Mówiąc

krócej: składowe ryzyka są tutaj duże. [16]: Dlatego trwają poszukiwania możliwości zastosowania innych teorii w bezpieczeństwie ruchu drogowego. Są to między innymi wykorzystanie analogii *teorii niezawodności* w modelowaniu procesu powstawania wypadków drogowych, modeli *teorii katastrof* do przewidywania incydentów drogowych generowanych w warunkach dużego zatłoczenia, czy też: *teorii czujności* stosowanej w wojsku i *teorię roztargnienia* stosowanej w badaniach wypadków przy pracy.

Dotychczas zaproponowane teorie i modele wypadków nie zaowocowały takim generalnym modelem, który mogłaby służyć do formułowania wniosków dotyczących wszystkich aspektów wnioskowania. Przedstawione w niniejszym opracowaniu teorie i modele pokazują, że bezpieczeństwo ruchu drogowego jest mocno złożonym zjawiskiem i potrzebującym wglądu w wiele dyscyplin naukowych. Dlatego dla lepszego opisu zjawisk wypadków drogowych konieczne jest poszukiwanie połączenia kilku modeli wypadków dla rozwiązywania problemów bezpieczeństwa. W analizach wypadków znane są cztery grupy takich modeli: model MORT [13], model KIK [10], model STAMP [11] i meta model [1].

### 3. Wykorzystanie teorii w bezpieczeństwie transportu drogowego

W formułowaniu działań prewencyjnych na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego coraz częściej sięga się po wsparcie naukowe. Korzysta się przy tym z wielu teorii, a przede wszystkim z elementów teorii przyczynowych, epidemiologicznych, systemowych i behawioralnych.

Korzystając z teorii przyczynowych i modeli sekwencyjnych prowadzi się analizę rozpoznawalnych przyczyn wypadków drogowych i określa się zależności liczby i konsekwencji wypadków od zbioru istotnych czynników (społecznych, ekonomicznych, drogowych, ruchowych i innych) w celu unikania lub ograniczenia najbardziej istotnych przyczyn i okoliczności wypadków drogowych.

Korzystając z teorii i modeli epidemiologicznych prowadzi się analizę „nosicieli” i ukrytych zależności wpływających na konsekwencje wypadków w celu stworzenia barier ochronnych i określenia wskaźników modelu zdrowia publicznego. Przykładem tego podejścia jest program działań prewencyjnych znany pod nazwą macierzy Haddona, który postawił podwaliny do wielodyscyplinarnego podejścia do zagadnienia bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz stworzenia podstaw do późniejszych badań systemowych.





Korzystając z teorii i modeli systemowych poszukuje się wszystkich zależności i relacji mających wpływ na doprowadzenie do wypadku (tzw. czynniki przeniesione w czasie i przestrzeni) oraz czynników działających na miejscu i czasie wypadku drogowego w celu budowy systemu działań prewencyjnych oraz systemu monitorowania i kontroli funkcjonowania poszczególnych zależności i relacji.

Korzystając z teorii i modeli behawioralnych poszukuje się wyjaśnień wpływu zachowań poszczególnych ludzi na powstawanie wypadków oraz możliwości przekonywania społeczeństwa i polityków o konieczności wprowadzenia działań programowych i oceny ich efektywności .

#### **4. Podsumowanie**

Przedstawione w niniejszym opracowaniu teorie pokazują, że bezpieczeństwo ruchu drogowego jest mocno złożonym zjawiskiem i potrzebującym wglądu w wiele dyscyplin naukowych. Dotychczas zaproponowane teorie wypadków nie zaowocowały taką generalną teorią, która mogłaby służyć jako podstawa do określania wszystkich przyczyn wypadków. Każda z proponowanych teorii ma w sobie ziarno prawdy. Prawdą jest, że wypadki są w pewnym sensie elementem przypadku. Prawdą jest również, że są ludzie, którzy biorą udział w wypadkach częściej niż inni. Powszechnie wiadomo, że mylić się jest rzeczą ludzką i niektóre z błędów mogą być przyczyną wypadków. Prawdą jest także, że staramy się dostosować środki techniczne do możliwości i ograniczeń ludzkich, co powoduje zmniejszenie liczby wypadków. Jakkolwiek żaden system nie jest w stanie całkowicie zabezpieczyć nas przed wypadkami. Gdyż ludzkiego pragnienia do przekraczania granic i doświadczania dreszczu emocji w ruchu drogowym nie uda się całkowicie wyeliminować.

Bardzo dużo uwagi w literaturze poświęcono trzem teoriom stworzonym przez: Heinricha, Haddona i Wilde'a, które wniosły bardzo duży wkład w rozwój badań nad bezpieczeństwem, w tym także nad bezpieczeństwem ruchu drogowego oraz prowadzenia działań prewencyjnych.

Ostatnio rozwijane teorie behawioralne nakierowane na analizę ryzyka wykorzystywaną w inżynierii i zarządzaniu bezpieczeństwem ruchu wychodzą najbardziej naprzeciw aktualnym potrzebom przeprowadzenia ocen ryzyka przed podejmowaniem decyzji inwestycyjnych i modernizacyjnych.

Żadna z przedstawionych teorii nie daje całkowitego, naukowego wyjaśnienia fenomenu wypadku drogowego. Każda teoria reprezentuje



pewien wycinek lub daje tylko częściowe wyjaśnienie tego zjawiska. W tym stanie rzeczy pewna protezą jest stosowanie modeli łączonych (meta modeli) do opisu zjawiska wypadku, zidentyfikowania barier i środków zaradczych oraz wprowadzenia systemu działań monitorujących i kontrolnych.

Biorąc pod uwagę niedoskonałości istniejących teorii i modeli wypadków, w tym także wypadków drogowych, oraz zmieniające się ciągle uwarunkowania (zmiany technologii, zmiany natury wypadków, nowe rodzaje zagrożeń, coraz większe skomplikowanie systemów i organizacji) konieczne jest kontynuowanie i rozwijanie prac badawczych zmierzających do tworzenia nowych teorii i budowy bardziej doskonałych modeli bezpieczeństwa ruchu drogowego. Zalecanym kierunkiem prowadzenia badań w tym zakresie powinno być zaadaptowanie istniejących teorii i modeli bezpieczeństwa stosowanych w innych dziedzinach nauki, w tym także stosowanych w bezpieczeństwie transportu lotniczego, wodnego i kolejowego, a także rozwój meta modeli.



**Phd Eng. Kazimierz Jamroz**, Gdańsk University of Technology, Highway Engineering Department, speciality: traffic engineering, road safety, intelligent transport systems