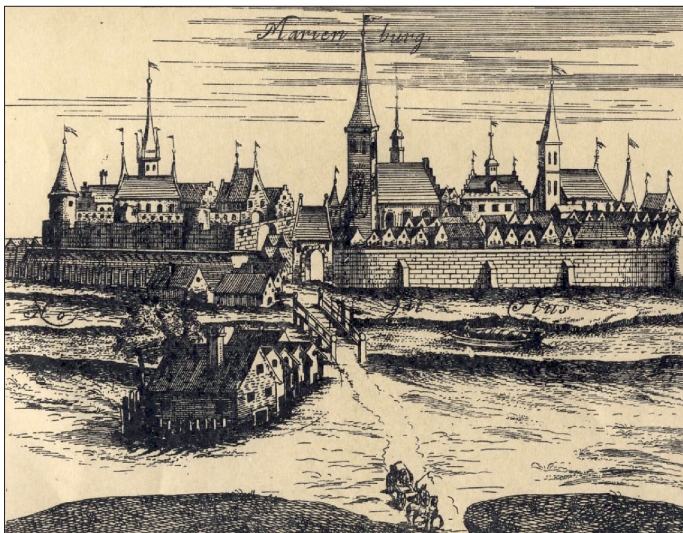


Niedaleko miejsca, w którym w XVII w. znajdował się ważny most przez Nogat, dzisiaj znajduje się tylko kładka służąca turystom podziwiającym średniowieczny zamek krzyżacki.



Fot. 12. Panorama Malborka z mostem przez Nogat na rycinie Christiana Daniela Pietesch z dzieła Ch. Hartknocha z 1684 r. (wg Kujawsko-Pomorskiej Biblioteki Cyfrowej)

Autostrada A1 do Gdańska omija dzisiaj Malbork od zachodu i jedynie linia kolejowa przebiega dawną *drogą pruską*, mostami przez Nogat w Malborku i przez Wisłę w Tczewie.

Bibliografia

- [1] Ahlberg N.: *Stadsgrundningar och planförändringar Svensk stadsplanering 1521–1721*, Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala 2005, s. 159
- [2] Ehrensverd U.: *Cartographica Poloniae 1570–1930 Katalog źródeł rękopiśmiennych do historii ziem polskich w zbiorach szwedzkich*. Biblioteka Narodowa, Zakład Zbiorów Kartograficznych, Instytut Historii Nauki PAN, Wydawnictwo Retro-Art Warszawa, Sztokholm 2008
- [3] Hartknoch Ch.: *Alt – und neues Preussen*, Frankfurt, Lipsk 1684, s. 405
- [4] Górski K.: *Dzieje Malborka*, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1973, s. 65, 76
- [5] Jemiotowski M.: *Pamiętnik dzieje Polski zawierający (1648–1679)* Opracowanie Jan Dziegielewski, Wydawnictwo D i G, Warszawa 2000 s. 136
- [6] Mączak A.: *W czasach „Potopu”*, Wydawnictwo Dolnośląskie, s. 174-175
- [7] Pufendorf S.: *De rebus a Carolo Gustavo Sueciae Rege gestis commentatorium*, Norymberga 1696
- [8] Atlas historyczny miast polskich, tom I Prusy Królewskie i Warmia, zeszyt 5 Malbork, Uniwersytet Mikołaja Kopernika Toruń 2002 ■



AGATA
JAŹDŻIK-OSMÓLSKA

Instytut Badawczy
Dróg i Mostów
ajazdzik-osmolska@
ibdim.edu.pl

Problematyka wypadków drogowych z uwzględnieniem cech nawierzchni drogi

Wypadki drogowe wynikają najczęściej z ludzkich zachowań. W ostatnich latach rozwinęło się wiele technik i narzędzi służących analizie danych o wypadkach i ich interpretacji.

Jedną z takich technik jest przewidywanie wypadków za pomocą modelowania statystycznego. Wśród polskich doświadczeń w tym zakresie należy zwrócić uwagę na model [4] z zastosowaniem klasycznego modelu regresji, oparty na badaniu wpływu prędkości na stan bezpieczeństwa ruchu drogowego (brd) oraz opracowania [6], [7], dotyczące zastosowania nowoczesnych metod eksploracji danych (ang. *data mining*) do szukania związków przyczynowo-skutkowych wypadków drogowych. Modelowanie statystyczne jest ważnym źródłem wiedzy w ramach bardzo wielu dyscyplin naukowych, szczególnie tych, w których badania są obszerne i kosztowne. Wypadek jest zdarzeniem losowym, dlatego probabilistyczne podejście do analizy wypadków nie jest tylko wygodnym narzędziem dla analityka, ale daje realistyczny obraz samego procesu wypadku. Termin „model predykcji” oznacza prognozowanie zdarzeń w przyszłości i stosowany jest w celu opracowania modelu na podstawie danych o wypadkach drogowych, który służy do określenia statystycz-

nych zależności pomiędzy liczbą wypadków drogowych a czynnikami, które wpływają na zaistnienie wypadku.

Modelowanie wypadków drogowych ma praktyczne zastosowanie w szacowaniu kosztów jednostkowych wypadków drogowych w ramach analizy kosztów i korzyści inwestycji drogowych. Przykładem takiego zastosowania jest system HDM (ang. *Highway Development and Management Model*), oficjalnie preferowany przez PIARC¹ (ang. *World Road Association*) [16]. Został on zaprojektowany do porównywania szacowanych kosztów i ekonomicznych ocen różnych konstrukcji oraz opcji utrzymywania przedsięwzięć drogowych w zróżnicowanych strategiach czasowych.

Prace nad przygotowaniem tego oprogramowania były współfinansowane m.in. ze środków Banku Światowego².

¹ W praktyce PIARC udziela czasowej koncesji na zarządzanie HDM-4. W chwili obecnej prawo koncesji na zarządzanie HDM-4 (wersja 2) zostało przyznane partnerstwu HDMGlobal, które jest międzynarodowym konsorcjum ośrodków akademickich i firm doradczych (www.hdmglobal.com).

² Wkład finansowy w realizację projektu wniosły również: Azjatycki Bank Rozwoju (ADB), Departament ds. Rozwoju Międzynarodowego (DFID) Wielkiej Brytanii oraz Szwedzka Narodowa Administracja Drogowa (SNRA).

Obecnie jest szeroko stosowany jako narzędzie do planowania i programowania standardów i wydatków na utrzymanie. System HDM jest narzędziem wykorzystywanym przez administracje drogowe do oceny skutków ekonomicznych inwestycji w sektorze drogowym [1]. Obecnie kolejna wersja (2) HDM-4 podaje metodę uwzględniania stanu bezpieczeństwa na drodze w postaci następującej zależności:

$$ACCRATE = ACCYR/EXPOSURE$$

w której:

ACCRATE – wskaźnik wypadków na 100 milionów pojazdodokilometrów,

ACCYR – liczba wypadków w ciągu roku,

EXPOSURE – ekspozycja na ryzyko wypadków w ciągu roku.

Roczne narażenie na ryzyko wypadków drogowych na 100 milionów pojazdów, osobno na odcinkach prostych i skrzyżowaniach, określają poniższe równania:

- na odcinkach prostych:

$$EXPOSSEC = 365 \cdot AADT \cdot L / 108$$

- na skrzyżowaniach:

$$EXPOSINT = 365 \cdot AADTin / 108$$

w których:

EXPOSSEC – roczne narażenie na ryzyko wypadku na odcinku drogi (100 milionów pojazdodokilometrów),

AAADT – średnioroczne dobowe natężenie ruchu na odcinku (pojazd/dobę),

L – długość odcinka (km),

EXPOSINT – roczne narażenie na ryzyko na skrzyżowaniach (100 milionów pojazdodokilometrów),

AAADTin – średnioroczne dobowe natężenie ruchu wjeżdżającego na skrzyżowanie (pojazd/dobę).

Roczna liczba wypadków dla każdego rodzaju z ww. inwestycji przedstawia zależność:

$$ACCYR_i = EXPOSURE_j \cdot ACCRATE_j$$

w której:

ACCYR_i – roczna liczba wypadków,

EXPOSURE_j – roczne narażenie na ryzyko wypadku na odcinku drogi,

ACCRATE_i – wskaźnik wypadków na 100 milionów pojazdodokilometrów.

Modelowanie wypadków drogowych jest także wykorzystywane do audytowania bezpieczeństwa ruchu drogowego i określania kierunków działań na rzecz jego poprawy, ze wskazaniem wyboru konkretnych rozwiązań [18]. Jednym z przykładów jest program *SafetyAnalyst* wykorzystywany w USA przez główną administrację krajową oraz lokalne władze stanowe. *SafetyAnalyst* służy wspomaganie procesu decyzyjnego do określenia potrzeb poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego i kierunków rozwoju programów poprawy stanu bezpieczeństwa. Obejmuje narzędzia zarządzania bezpieczeństwem do:

- diagnozowania kontroli sieci pod względem charakteru wypadków,
- pomocy w wyborze środka mającego na celu zmniejszenie częstości i dotkliwości wypadków,
- ekonomicznej oceny środków zaradczych,

- prowadzenia rankingu działań priorytetowych,
- proponowania strategii i projektów poprawy bezpieczeństwa,
- oceny przed i po wdrożeniu środków poprawy bezpieczeństwa.

Rekomendacje Komisji Europejskiej w zakresie modelowania wypadków drogowych

W 2001 r. Komisja Europejska, w ramach polityki bezpieczeństwa drogowego, zdefiniowała ambitny cel zmniejszenia liczby ofiar śmiertelnych w Europie z ponad 40 tys. do 20 tys. w perspektywie do 2010 r. Z uwagi na to, że większość ofiar została odnotowana na zamiejskich drogach jednojezdniowych, główny nacisk położono na te drogi. Do realizacji celu powstał projekt RIPCORDER-ISEREST (ang. *Road Infrastructure Safety Protection – Core Research and Development for Road Safety in Europe; Increasing Safety and Reliability of Secondary Roads for a Sustainable Surface Transport*) [8], [9], [10]. Głównym zadaniem projektu było zebranie najlepszych praktyk, stosowanych w poszczególnych krajach europejskich, związanych z poprawą bezpieczeństwa ruchu drogowego i ocena tych metod.

Projekt podzielono na dwie części: pierwszą była budowa modeli predykcji wypadków kilkoma metodami, drugą – ocena wpływu proponowanych rozwiązań poszczególnych krajów na bezpieczeństwo ruchu drogowego. W ramach projektu przeprowadzono pilotażowe prace w Austrii, Portugalii i Holandii, które stanowiły podstawę selekcji metod, odpowiednio do poszczególnych rodzajów dróg.

Wyniki tych prac potwierdziły tezę początkową, że działanie na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego powinno być oparte na ocenie zastosowanych środków poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego i modelach predykcji wypadków [3]. W tym celu zalecono krajom członkowskim UE systematyczne prowadzenie prac badawczych w zakresie modelowania wypadków drogowych, a ponadto zarekomendowano:

- rozpoczęcie prac nad modelowaniem od szukania zależności pomiędzy wskaźnikami wypadków i nie więcej niż jedną zmienną, przy czym zalecono, aby tą zmienną było w pierwszej kolejności natężenie ruchu, a następnie rozwijanie modelu o kolejne czynniki mające wpływ na wypadki, np. geometria drogi itp.,
- budowanie osobnych modeli dla różnych rodzajów dróg, ze zwróceniem szczególnej uwagi na specyfikę regionów,
- założenie liniowej postaci bazowego modelu i ujemnego rozkładu dwumianowego zmiennej.

Aktualne kierunki modelowania wypadków drogowych

Do oceny skuteczności wdrożonych środków poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego stosuje się modele predykcji wypadków oraz analizy stanu bezpieczeństwa przed i po wprowadzeniu tych środków. Modele prognozowania są próbą odniesienia zmiennych opisujących wypadek za po-



Fot. 1 (a-b). Pojazd MFV (źródło: materiały IBDiM)



Fot. 2 (a-b). Pojazd SPDE (źródło: materiały IBDiM)



Nowoczesne metody badania dróg w Polsce

Jednym z przykładów wspomnianego dodatkowego źródła danych na potrzeby badania zależności pomiędzy prawdopodobieństwem zdarzenia drogowego a jego okolicznościami, jest baza danych o wybranych parametrach drogi. Dzięki dostępności w Polsce nowoczesnego sprzętu do badania dróg, możliwa jest już teraz budowa systemu zbierania dokładnych danych na temat cech nawierzchni i geometrii drogi.

Do jednoczesnego zbierania danych o równości podłużnej drogi oraz wykonywania zdjęć nawierzchni i otoczenia drogi możliwy jest do wykorzystania wielofunkcyjny pojazd MFV (ang. *Multi Function Vehicle*)

mocą równania matematycznego. Natomiast analizy stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego przed i po zastosowaniu środków poprawy bezpieczeństwa należy traktować jak eksperyment badawczy, który może być oceniany także modelami predykcji. Modele te wykorzystuje się również do analizy stanu bezpieczeństwa na drodze w fazie jej projektowania oraz do symulacji komputerowych zachowań kierowców na wirtualnych odcinkach dróg.

Z zagranicznych doświadczeń wynika, że stosowanie rozwiązań, które mają poprawić bezpieczeństwo na drodze powinno być oceniane na podstawie modeli przewidywania zdarzeń drogowych. Ich wdrożenie jest związane z dostępną, rzetelną bazą danych o wypadkach. Obecnie w Polsce baza danych o wypadkach nie jest w pełni wykorzystywana do badań naukowych w zakresie modelowania wypadków i audytowania środków poprawy bezpieczeństwa na drodze.

Zapewne, jedną z istotnych przyczyn powolnego rozwoju prac w kierunku modelowania prognozy wypadków w Polsce, jest dostępność tego rodzaju informacji i ich jakość. Właściwie brak jest jednostki odpowiedzialnej za zbieranie i udostępnianie jednostkom badawczym kompletnych informacji na temat statystyk wypadkowych wraz z obszerną bazą na temat ich okoliczności, w oparciu o specjalnie im dedykowane bazy danych. W rozumieniu kompletnej bazy nie należy mieć na myśli policyjnej bazy SEWIK ani Komendy Głównej Policji jako jednostki odpowiedzialnej za udostępnianie pełnego zbioru informacji o wypadkach. Baza SEWIK powinna być podstawową składową głównej krajowej bazy, a nie jej jedynym źródłem, jak dotąd.

(fot. 1 a-b). System obrazowania w wysokiej rozdzielczości HDI (ang. *High Definition Imaging*) służy do rejestrowania obrazów powierzchni nawierzchni w celu identyfikacji jej uszkodzeń. System ROW (ang. *Right of Way*) jest uzupełnieniem systemu HDI i służy do zbierania zdjęć pasa drogowego. Głównym elementem systemu są kamery umieszczone przy przedniej szybie pojazdu.

Kolejnym urządzeniem pomiarowym jest pojazd SPDE (fot. 2 a-b), wyposażony w kilka podsystemów pomiarowych umożliwiających pomiar m.in. profilu podłużnego i poprzecznego, spadków podłużnych, poprzecznych, promieni łuków poziomych oraz tekstury nawierzchni wraz z fotorejestracją cyfrową.

W najnowszych systemach informacji drogowej (np. Droga Online [14]) wyniki pomiarów prezentowane są w postaci profilu poprzecznego, tabeli wyników, map i profili tematycznych. Taki system umożliwia upoważnionym użytkownikom dostęp do wszystkich istotnych danych o stanie drogi oraz wyników jej oceny. Wszystkie informacje prezentowane są poprzez przeglądarkę internetową w sposób interaktywny tak, że poszczególne grupy informacji są ze sobą zsynchronizowane. Wymienione urządzenia pomiarowe są wykorzystywane do diagnostyki stanu technicznego dróg. Spośród mierzonych cech nawierzchni na szczególną uwagę zasługują te, które skorelowane są ze stanem bezpieczeństwa na drodze: międzynarodowy wskaźnik nierówności, głębokość koleiny oraz inne wyznaczane pośrednio.

Na podstawie danych elementarnych otrzymywanych w wyniku pomiarów diagnostycznych, możliwe jest dostarczenie wyczerpujących informacji na temat parametrów geo-

metrii drogi, takich jak profil podłużny i poprzeczny drogi, a w tym promienie krzywizny, pochylenie poprzeczne.

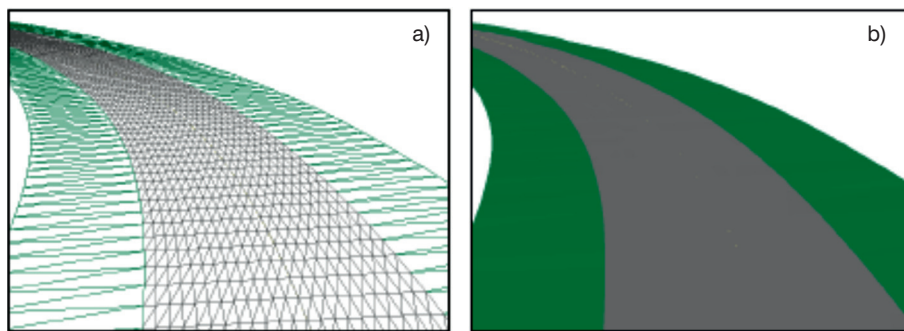
Z uwagi na wspomniane możliwości pomiarowe pojazdów, obok zastosowania ich do zarządzania inwestycjami drogowymi w aspekcie remontów, mogą być wykorzystane do analizowania przyczyn zdarzeń drogowych. Zasób informacji zbieranych przez te urządzenia umożliwia: analizę stanu otoczenia drogi w miejscu zdarzeń drogowych na podstawie zdjęć drogi i jej otoczenia, poszukiwanie zależności pomiędzy geometrią i cechami nawierzchni a warunkami bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz opracowanie modeli predykcji wypadków.

Modelowanie wypadków drogowych z zastosowaniem wybranych symulacji

W styczniu 2008 r. w Austrii uruchomiono projekt dotyczący modelowania wypadków drogowych, który miał na celu zbadanie wpływu cech infrastruktury drogowej na wypadkowość [5], [11], [12], [13]. Eksperyment dotyczył zbadania przyczyn wypadków z udziałem motocyklistów, a następnie – związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy typowymi pojazdami a cechami drogi. W projekcie zastosowano symulację VIIS (ang. *Vehicle Infrastructure Interaction Simulation*), którą opracowano w celu zbadania wpływu kombinacji istotnych cech drogi z uwagi na bezpieczeństwo ruchu drogowego i weryfikacji przypuszczalnej przyczyny wypadków. Główna zasada funkcjonowania VIIS polegała na symulacji ruchu i zachowań pojazdów oraz stanowiła podstawowe źródło danych wejściowych do dalszych etapów projektu, czyli określenia przyczyn wypadków i badań bezpieczeństwa ruchu drogowego za pomocą modelu MARVin (ang. *Model for Assessing Risks of Road Infrastructure*). Projekt miał na celu ocenę bezpieczeństwa ruchu na istniejącej sieci na podstawie związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy cechami drogi a wypadkami oraz ocenę zastosowanych środków



Fot. 3. Mobilne urządzenie RoadSTAR [11]



Rys. 1 (a-b) Przykład modelu odcinka drogi w formacie 3D w postaci pliku DXF [11]

poprawy bezpieczeństwa na etapie projektowania nowych odcinków dróg.

W ramach symulacji VIIS wprowadzono model analizowanych odcinków drogi w trzech wymiarach, tzw. model drogowy 3D. W celu uzyskania informacji na temat wzajemnego oddziaływania infrastruktury i pojazdu, a zwłaszcza pomiędzy drogą a oponą, powinna być przeprowadzona bardzo rzetelna symulacja otoczenia. W tym celu użyto oprogramowania PC-Crash [15], które zostało opracowane specjalnie do celów badawczych z zakresu bezpieczeństwa ruchu drogowego. PC-Crash to narzędzie do symulacji kolizji i trajektorii, które jest w stanie dokładnie analizować szeroki wachlarz kolizji i innych zdarzeń drogowych. Rezultaty są wyświetlane w postaci animacji 3D wraz ze szczegółowymi raportami. Oprogramowanie PC-Crash umożliwia import plików (w formacie DXF) z profesjonalnego oprogramowania do projektowania drogi np. z AutoCad. Oznacza to, że symulacji poddany może być odcinek drogi będący nawet w fazie projektowania. W przypadku omawianego eksperymentu szczegółowe dane na temat cech geometrycznych drogi zostały użyte z drogowej bazy danych austriackiej sieci drogowej. Dane te zostały pozyskane za pomocą mobilnego urządzenia RoadSTAR (ang. *Road Surface Tester of Arsenal Research*). RoadSTAR podaje wartości najważniejszych właściwości nawierzchni i parametrów geometrycznych drogi, zmierzone w warunkach ruchu drogowego z prędkością pomiaru 40 km/h i 120 km/h (prędkość średnia 60 km/h). Pomiar dodatkowo jest zapisywany na kasetach video.

Zestawienie różnych danych o drodze umożliwia lokalizację miejsc o szczególnie niekorzystnych parametrach nawierzchni i geometrii drogi. Badanie zbiorczych danych o drodze i porównanie z podobnymi punktami na pozostałej sieci dróg, daje możliwość uzyskania środków do zminimalizowania liczby istniejących bądź potencjalnych „czarnych punktów” (miejsc niebezpiecznych na drodze). Natomiast istotne związki przyczynowo-skutkowe można wizualizować na wykresach przebiegu trasy. Informacje na temat geometrii drogi, stanu drogi i wypadków mogą być prezentowane na różnych warstwach wykresu.

Tworzenie pliku DXF zostało zautomatyzowane za pomocą stosowania pakietu oprogramowania R [17]. Z każdego metra bieżącego odcinka drogi zostaje wygenerowany obraz w postaci linii, która odpowiada zmierzonemu profilowi poprzecznemu. Utworzone linie są obracane w trzech wymiarach, korzystając z położenia, nachylenia i przekroju po-



Rys. 2. Korelacja pomiędzy właściwościami przeciwpoślizgowymi a wypadkami drogowymi (kółkami oznaczono miejsce zdarzeń, a kolorem ich ciężkość, /kolor czarny oznacza wypadek z ofiarami śmiertelnymi, czerwony – z ciężko rannymi, żółty z lekko rannymi, zielony – bez poszkodowanych; kolor odcinka drogi oznacza poziom właściwości przeciwpoślizgowych: czerwony $\mu < 0,38$ /najgorszy poziom wskaźnika/, pomarańczowy – gdy $0,38 < \mu < 0,45$, żółty – gdy $0,45 < \mu < 0,59$, zielony – gdy $0,59 < \mu < 0,75$ i niebieski – gdy $0,75 < \mu$ /najlepszy poziom wskaźnika/) [11]

przecznego. Następnie generowane są kolejne sąsiadujące linie poddawane triangulacji. W ten sposób 44 trójkąty odpowiadają 1,0 m długości i 3,3 m szerokości odcinka drogi. Trójkąty są przechowywane w formacie DXF jako grupa kodów 3D FACES. Symulowanie wypadków, które obejmują zdarzenia poza drogą (np. zjechanie pojazdu z drogi, poślizg), jest możliwe dzięki 2-metrowej dodatkowej przestrzeni dodanej po każdej stronie drogi. Ten obszar poza drogą jest także prezentowany jako kody 3D FACES obiektów w formacie DXF. Na rysunku 1 (a-b) zilustrowano przykład modelu drogowego w formacie 3D.

Wygenerowany plik DXF łatwo może być zaimportowany jako drogowy obiekt 3D do oprogramowania PC-Crash. Tak powstały model drogi może posłużyć do symulacji w celu znalezienia związków przyczynowo-skutkowych wypadków na istniejącej drodze lub jako szablon do porównania i oszacowania bezpieczeństwa odcinka drogi w fazie projektowania.

Model MARVin został opracowany przez Austriackie Centrum Badań i Testów (ang. *Arsenal Research*). Jest narzędziem do analizy wypadków drogowych, którego ogólnym celem jest połączenie cech infrastruktury drogowej z danymi statystycznymi o wypadkach drogowych. Baza danych MARVin pozwala na wyszukanie części sieci austriackich dróg do określonych kombinacji cech drogi. Podstawą jest baza danych RoadSTAR. Ponadto do tej bazy dołączane są wszystkie zarejestrowane wypadki w Austrii w latach 1994–2007. Baza danych MARVin obejmuje ogółem 24,5 tys. km dróg ze wszystkimi cechami nawierzchni i geometrii drogi oraz danymi o 580 tys. wypadkach z lat 1994–2007. Dzięki tak dużej bazie, modelem MARVin można lokalizować „czarne punkty”. Ponadto MARVin jest narzędziem do oceny i korelowania cech drogi z wypadkami drogowymi. Na rysunku 2 zaprezentowano przykład efektu działania modelu,

który pokazuje korelację pomiędzy właściwościami przeciwpoślizgowymi a wypadkami drogowymi.

Model MARVin ma także zastosowanie do analizy bezpieczeństwa nowo projektowanych odcinków dróg.

Podsumowanie

Obecnie w Polsce baza danych o wypadkach nie jest w pełni wykorzystywana do badań naukowych w zakresie modelowania wypadków i audytowania środków poprawy bezpieczeństwa na drodze. Przewidywanie wypadków jest wykorzystywane najczęściej do analiz kosztów i korzyści inwestycji drogowych. Zgodnie z zaleceniami Komisji Europejskiej działania na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego powinny być oparte na ocenie zastosowanych środków poprawy bezpieczeństwa i modelach predykcji wypadków. Również z zagranicznych doświadczeń wynika, że stosowanie rozwiązań, które mają poprawić bezpieczeństwo na drodze, powinno być oceniane na podstawie modeli prognozowania wypadków. Potwierdzają to wdrożone w Austrii nowoczesne metody modelowania wypadków drogowych, które umożliwiają zbadanie wpływu kombinacji cech drogi na wypadkowość.

Bibliografia

- [1] Baguley C.J., Hills B.L., Fletcher J., Odoki J.B.: *Road accident modeling for highway development and management in Developing Countries*, DFID, UK, 2003
- [2] CBA: *Road Safety and Environmental Benefit – Cost and Cost Effectiveness*, EU, 2006
- [3] Commission of the european communities: *Directive of the european parliament and of the council on road infrastructure safety management*, Brussels 2006
- [4] Gaca S.: *Badania prędkości pojazdów i jej wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego*, Zeszyty Naukowe, Politechnika Krakowska, Kraków 2002
- [5] Kunz S.: *Accident Simulation and Analysing Using Vehicle Infrastructure Interaction Simulation (VIIS)*, Arsenal Research, Vienna, Austria, 2007
- [6] Nowakowska M.: *Związki przyczynowo-skutkowe wypadków drogowych*, Drogownictwo 3/2008
- [7] Nowakowska M.: *Identyfikacja związków przyczynowo-skutkowych zdarzeń drogowych na skrzyżowaniach ulicznych*, Drogownictwo 11/2003
- [8] Ripcord-Iserest: *Accident Prediction Models and Road Safety Impact Assessment: recommendations for using these tools*, Sixth Framework Programme Priority, 2008
- [9] Ripcord-Iserest: *Accident Prediction Models and Road Safety Impact Assessment: results of the pilot studies*, Sixth Framework Programme Priority, 2007
- [10] Ripcord-Iserest: *Accident Prediction Models and Road Safety Impact Assessment: a state-of-the-art*, Sixth Framework Programme Priority, 2005
- [11] Saleh P., Maurer P., Stütz R.: *MARVIN – model for assessing risks of road infrastructure*, Arsenal Research, Vienna, Austria, 2007.
- [12] Saleh P., Maurer P., Stütz R., Kunz S., Deix S.: *VIIS – Vehicle Infrastructure Interaction Simulation on „Real” Roads*, Arsenal Research, Vienna, Austria, 2009
- [13] Saleh P.: *Model for assessing risks of Road Infrastructure*, Arsenal Research, Vienna, Austria, 2009
- [14] <http://drogaonline.heller-consult.pl/>
- [15] <http://www.pc-crash.com/>
- [16] www.piarc.org
- [17] www.r-project.org/
- [18] www.safetyanalyst.org/ ■