

**prof. dr hab. inż. Tomasz Szczuraszek**  
**mgr inż. Marek Oblój** (asystent)  
**mgr inż. Marek Stanek** (asystent)  
Katedra Budownictwa Drogowego  
Akademia Techniczno - Rolnicza w Bydgoszczy  
Polska

## **BADANIA BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO W POLSKICH MIASTACH**

### **RESEARCH OF ROAD SAFETY IN POLISH CITIES**

Streszczenie:

W artykule autorzy przedstawiają prace badawcze zmierzające do określenia modeli opisujących liczbę zdarzeń drogowych na elementach miejskiej sieci drogowej sterowanych sygnalizacją świetlną oraz modeli opisujących liczbę zdarzeń na elementach miejskiej sieci drogowej z udziałem pieszych. W analizach autorzy wykorzystali informatyczny system do Wspomagania Zarządzania Drogami i Ruchem Drogowym (WZDR).

Summary:

In the article, the authors present researches aiming to define models describing the number of road events on the elements of urban road network controlled by traffic lights and models describing the number of pedestrian related accidents on the elements of urban road network. The authors have used the Computer System of Aid to Roads and Road Traffic Management (WZDR) in the analyses.

## 1. Wstęp

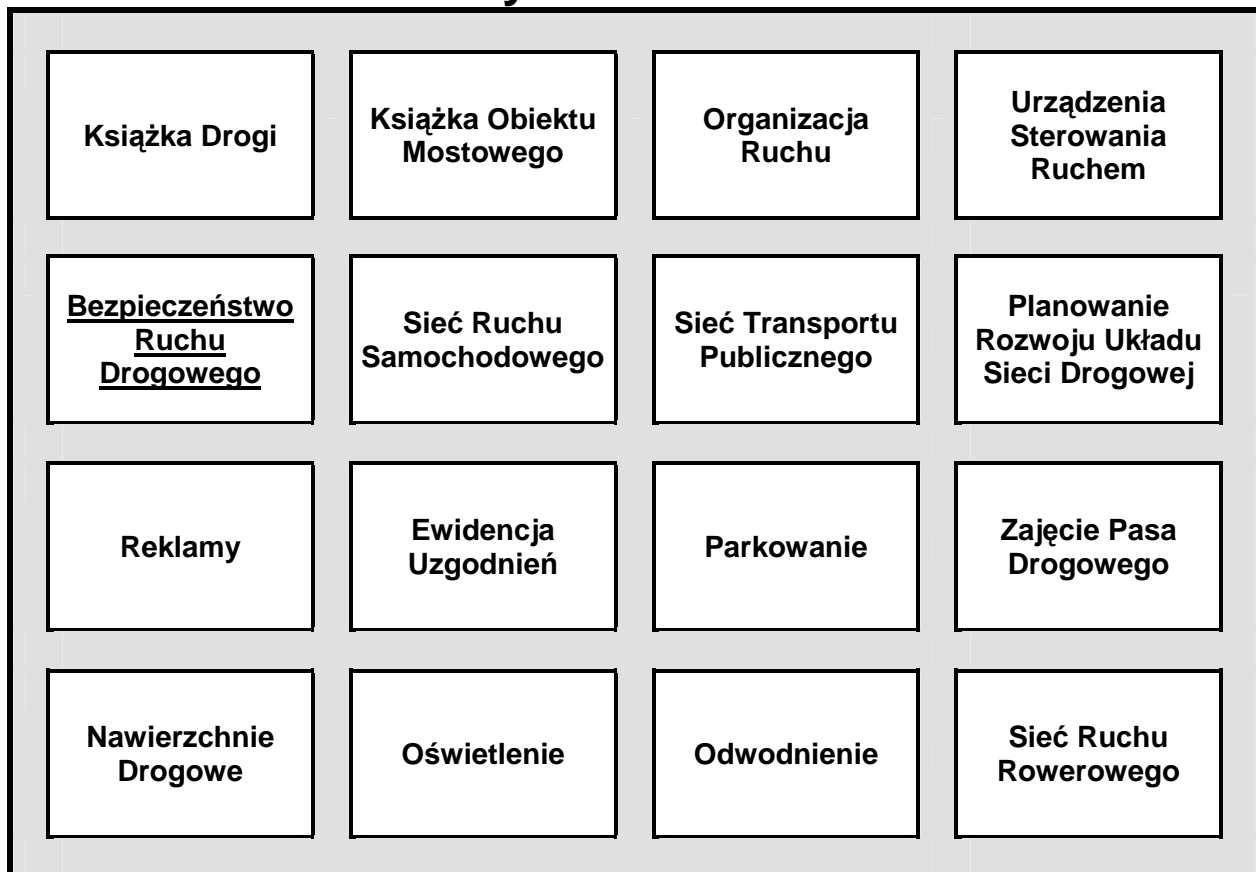
Według raportów Komendy Głównej Policji w Polsce co roku ma miejsce około 50 tys. wypadków drogowych, z tego ponad 60% ma miejsce na sieci ulicznej. W ich wyniku ponad 60 tys. osób zostaje rannych a prawie 6 tys. ponosi śmierć [4]. Mimo systematycznej poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, obserwowanej w ostatnich latach w Polsce, zagrożenie mieszkańców średnich i dużych miast polskich, wyrażane liczbą osób zabitych w wypadkach drogowych na 100 tys. mieszkańców, jest około dwukrotnie wyższe niż w miastach Europy Zachodniej [10]. Spośród wszystkich rodzajów wypadków drogowych, na pierwsze miejsce wysuwają się wypadki, które zakwalifikować można do kategorii "zderzenie się pojazdów w ruchu" (Policja w swoich statystykach łączy w tej jednej kategorii zderzenia boczne, zderzenia tylne i zderzenia czołowe pojazdów). W 2005 roku wypadków takich było 22 159 co stanowiło 46,1% ogółu. W zdarzeniach tych śmierć poniosło 2 289 osób (42% wszystkich zabitych), a rannych zostało 32 040 osób (52,4% ogółu rannych). Znamienite jednak jest to, że następnym, najczęściej występującym rodzajem wypadku, było "najechanie na pieszego". Takich wypadków w 2005 roku było 15 344 (31,9%), w ich wyniku zginęły 1 734 osoby (31,9%), a 14 551 zostało rannych (23,8%) [4]. Widać więc wyraźnie jak ważnym problemem na polskich drogach jest bezpieczeństwo pieszych.

Z analiz obejmujących dane zawarte w archiwach policyjnych i dane pochodzące z firm ubezpieczeniowych kilkunastu miast w Polsce wynika, że błędy użytkowników drogi są współprzyczyną około 98% zdarzeń drogowych, wady środowiska drogi około 24% zdarzeń drogowych, a wady pojazdów w mniej niż jednym procencie zdarzeń [6]. Wyniki szczegółowych analiz brd prowadzonych przez pracowników Katedry Budownictwa Drogowego ATR w Bydgoszczy wskazują, że obecnie w naszym kraju wady infrastruktury drogowej w miastach stanowią współprzyczynę 75% zdarzeń drogowych [7]. Z tych powodów od wielu lat w Katedrze prowadzone są badania i analizy brd. Szczegółowe analizy stanu zagrożenia w ruchu drogowym umożliwia system do Wspomagania Zarządzania Drogami i Ruchem Drogowym – WZDR. System WZDR został opracowany w Katedrze Budownictwa Drogowego ATR w Bydgoszczy. Prace nad powyższym systemem zostały zapoczątkowane już w 1993 roku. Składa się on z szeregu podsystemów (rys. 1). Poszczególne podsystemy są ze sobą powiązane, co umożliwia wzajemną współpracę oraz pełną wymianę informacji między pojedynczymi podsystemami.

Autorzy prowadzą badania mające na celu opracowanie modeli opisujących liczbę zdarzeń drogowych na elementach miejskiej sieci drogowej sterowanych sygnalizacją świetlną oraz modeli opisujących liczbę zdarzeń na elementach miejskiej sieci drogowej z udziałem pieszych. W literaturze znaleźć można między innymi następujące modele opisujące stan zagrożenia w ruchu drogowym:

- a) modele Kulmali [5], Hauera [3], dotyczące modelowania zagrożenia w ruchu na skrzyżowaniach,
- b) modele Zeggera [9], dotyczące modelowania zagrożenia w ruchu na odcinkach dróg zamiejskich,
- c) modele uwzględniające wpływ prędkości na poziom zagrożenia w ruchu [2],
- d) model szacowania liczby zdarzeń drogowych na skrzyżowaniach niesterowalnych sygnalizacją świetlną [1].

# System WZDR

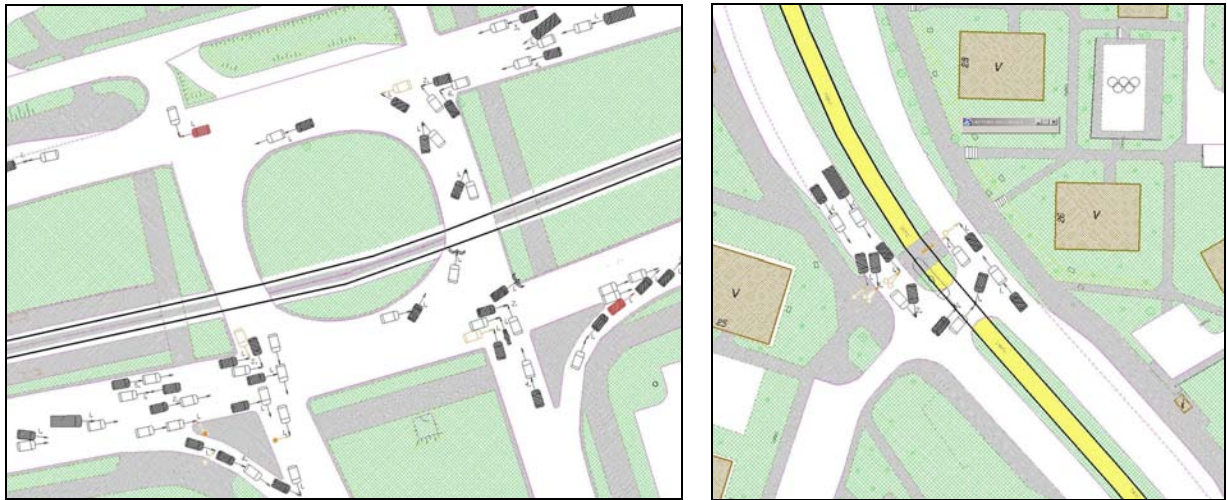


Rys. 1 Ogólny schemat informatycznego systemu WZDR

Autorzy pragną swoimi badaniami uzupełnić obecny stan wiedzy o komplementarne modele dotyczące skrzyżowań z sygnalizacją świetlną oraz modele dotyczące bezpieczeństwa pieszych.

Prowadząc analizy mające na celu opracowanie modeli liczby zdarzeń drogowych niezbędne jest zgromadzenie danych dotyczących zdarzeń drogowych, jak i cech środowiska drogi, w którym te zdarzenia miały miejsce. Zdecydowana większość danych niezbędnych do analizy zawarta jest w bazie danych systemu – WZDR, między innymi dane o geometrii drogi, organizacji ruchu drogowego, natężeniach ruchu drogowego, zdarzeniach drogowych (rys. 2). Dane opisujące cechy środowiska drogi, które nie są zawarte w systemie WZDR, opracowane zostaną przy użyciu programu środowiskowego WZDR - Microstation, a także na podstawie badań terenowych.

W procesie analiz wykorzystane zostaną dane z miast, w których wdrożono system WZDR najwcześniej, między innymi Bydgoszczy, Torunia, Włocławka i Elbląga, dla których dysponują autorzy bogatą bazą danych o zdarzeniach drogowych i infrastrukturze drogowej. Wybór tych miast podyktowany był również odmiennymi cechami takimi jak: wielkość miasta, charakter zabudowy, charakter ruchu. Prace mające na celu opracowanie modeli opisujących liczbę zdarzeń drogowych odbywać się będą według schematu przedstawionego na rys. 3.



Rys. 2 Przykładowe mapy zdarzeń drogowych systemu WZDR



Rys. 3 Schemat prowadzenia analiz poszukiwania modeli liczby zdarzeń drogowych

## **2. Badania nad wpływem wybranych cech drogi i ruchu drogowego na liczbę zdarzeń drogowych na elementach miejskiej sieci drogowej sterowanych sygnalizacją świetlną**

W pierwszym kroku analizy nad modelami elementy sieci drogowej sterowane sygnalizacją świetlną podzielono na dwie główne grupy:

- a) odcinki międzywęzłowe na których ruch sterowany jest sygnalizacją świetlną (sygnalizacja świetlna stosowana na przejściach dla pieszych i przejazdach dla rowerzystów, w miejscach wyjazdu pojazdów uprzywilejowanych, sygnalizacja dla ruchu wahadłowego oraz na przejazdach tramwajowych),

- b) skrzyżowania sterowane sygnalizacją świetlną.

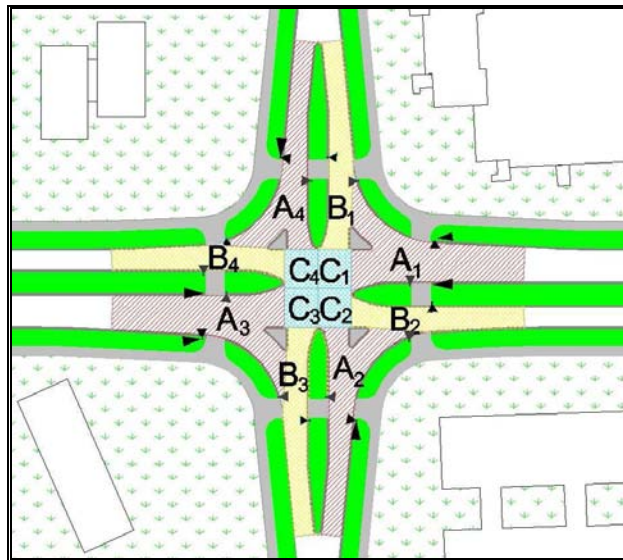
Dokonano także dalszego podziału skrzyżowań ze względu na sposób realizacji programu sygnalizacji, na skrzyżowania sterowane sygnalizacją świetlną:

- a) cykliczną stałoczasową,
- b) akomodacyjną,
- c) acykliczną.

Do analiz postanowiono przyjąć odpowiednio dobrane segmenty skrzyżowania. Wybór tych segmentów uzależniony był głównie od warunku zapewnienia jednorodnego i jednoznacznego sposobu oddziaływania cech każdego z nich na liczbę zdarzeń drogowych danego rodzaju. Poszczególne rodzaje segmentów podlegają oddzielnym analizom matematycznym, co zapewnia dokładniejszą ocenę przyczyn zdarzeń drogowych wynikających z cech drogi i ruchu drogowego.

Do analizy przyjęto następujący podział skrzyżowania na elementy jednorodne:

- a) wlot – bezpośredni obszar przed linią zatrzymań, wliczając strefę segregacji ruchu (A),
- b) wylot – bezpośredni obszar za skrzyżowaniem na pasach ruchu w kierunku od skrzyżowania (B),
- c) płaszczyzna kolizji – płaszczyzna na skrzyżowaniu utworzona w miejscu przecinania się kolizyjnych strumieni ruchu (C),



Rys. 4 Schemat podziału skrzyżowania na segmenty jednorodne

Po dokonaniu takiego podziału, korzystając z informacji zgromadzonych w podsystemach WZDR, każdemu segmentowi przyporządkowane zostają zmienne niezależne oraz zmienne zależne w wyniku czego otrzymamy macierz danych, która będzie stanowić podstawę dalszych analiz. W analizie uwzględniane będą nie tylko wypadki drogowy, ale także kolizje, co stwarza szansę większej liczbowo próby.

Przyjęto przy tym następujące rodzaje zdarzeń drogowych:

- a) tylne zderzenia pojazdów,
- b) boczne zderzenia pojazdów,
- c) czołowe zderzenia pojazdów,
- d) najechanie na pieszego,

e) najechanie na rowerzystę.

Jako zmienne zależne przyjęto do analiz:

a) ekwiwalentną liczbę zdarzeń drogowych ZE,

$$ZE = w_s * I_s + w_{cr} * I_{cr} + w_{lr} * I_{lr} + w_{up} * I_{up}, \quad (1)$$

gdzie:

$w_s$ ,  $w_{cr}$ ,  $w_{lr}$ ,  $w_{up}$  – wagi poszczególnych jednostkowych skutków zdarzenia drogowego: ofiary śmiertelnej, osoby ciężko rannej, osoby lekko rannej, uszkodzenia pojazdu uczestniczącego w zdarzeniu;

$I_s$ ,  $I_{cr}$ ,  $I_{lr}$ ,  $I_{up}$  – liczba odpowiednio: ofiar śmiertelnych, osób ciężko rannych, osób lekko rannych, oraz liczba pojazdów uszkodzonych w zdarzeniu;

b) rzeczywistą liczbę zdarzeń drogowych Z,

c) liczbę wypadków drogowych W.

Wszystkie zmienne zależne liczone będą na pięć lat. Jako wagi jednostkowych skutków zdarzenia drogowego przyjęto względny koszt poniesiony z tytułu wystąpienia określonych jednostkowych skutków zdarzenia drogowego; wartości te określane są względem kosztu przeciętnej kolizji [8]:

$$w_i = \frac{k_i}{k_k}, \quad (2)$$

gdzie:

$k_i$  – koszt i-tego jednostkowego skutku zdarzenia drogowego,

$k_k$  – przeciętny koszt kolizji (zdarzenia ekwiwalentnego).

W celu opracowania modeli zdarzeń drogowych niezbędne jest przygotowanie zbioru danych opisujących cechy ruchu, geometrię skrzyżowania czy drogi oraz środki organizacji ruchu. Na etapie wstępnej analizy jako zmienne niezależne przyjęto 60 cech drogi oraz ruchu opisujących poszczególne segmenty skrzyżowania czy też odcinki międzywęzłowe na których zastosowana została sygnalizacja świetlna. Według wstępnej analizy na powstawanie zdarzeń drogowych na skrzyżowaniach sterowanych sygnalizacją świetlną znaczący wpływ mają następujące cechy drogi i ruchu:

a) natężenia ruchu kołowego,

b) natężenia ruchu pieszych,

c) prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie skrzyżowania,

d) widoczność sygnalizatorów,

e) stopień obciążenia określony stosunkiem natężenia ruchu występującego na danym elemencie do jego przepustowości,

f) wartości promieni skrętów,

g) powierzchnia kolizji,

h) udział pojazdów ciężkich.

Na poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego bardzo duży wpływ ma obciążenie ruchem analizowanych elementów sieci drogowej. Tworzenie się kolejek pojazdów na wlotach, zbyt długie oczekiwanie na przejazd przez skrzyżowanie sprawia, że niektórzy kierowcy wykonują ryzykowne manewry, powodując duże zagrożenie powstania zdarzenia drogowego. Sprzyjającym czynnikiem powstawania zdarzeń drogowych jest także możliwość dojazdu i przejazdu przez skrzyżowanie z dużą prędkością. Nadmierna prędkość pojazdów przejeżdżających przez skrzyżowanie często jest wynikiem zastosowanych zbyt dużych

wartości promieni skreću. Niewystarczająca widoczność wyświetlanych sygnałów sygnalizacji świetlnej, przeoczenie lub zbyt późne spostrzeżenie przez kierowcę wyświetlanego sygnału może doprowadzić do zdarzenia drogowego. Nadmierna powierzchnia kolizji na skrzyżowaniu umożliwia przejazd pojazdów przez skrzyżowanie w różny sposób, zakreślając różne tory ruchu, czego konsekwencją mogą być zdarzenia drogowe. Znaczący wpływ na powstawanie zdarzeń drogowych ma także udział pojazdów ciężkich w ruchu, które ograniczają kierowcom innych pojazdów widoczność a także wpływają na utrudnienia w ruchu kierowcom samochodów osobowych.

### **3. Badania nad wpływem wybranych cech drogi i ruchu drogowego na liczbę zdarzeń z udziałem pieszych w obszarze miasta**

Pierwsze prace polegały na wstępnym podziale sieci drogowej na charakterystyczne elementy. Podziału tego dokonano między innymi ze względu na położenie elementu (odcinek międzywęzłowy, skrzyżowanie), jego geometrię (obecność wyspy azyłu, położenie w obrębie skrzyżowania, itp.), organizację ruchu (rodzaj podporządkowania, liczba kierunków ruchu, rodzaj programu sygnalizacji świetlnej itp.). Ostatecznie wyznaczono 21 charakterystycznych elementów sieci drogowej.

Dalsze prace polegały na zdefiniowaniu zmiennych zależnych i niezależnych. Jako zmienne zależne opisujące zdarzenia drogowe przyjęto:

- a) liczbę zdarzeń z pieszymi ZP,
- b) liczbę ekwiwalentnych zdarzeń z pieszymi ZEP:

$$ZEP = w_s * I_s + w_{cr} * I_{cr} + w_{lr} * I_{lr} + w_{up} * I_{up} , \quad (3)$$

- c) liczbę pieszych uszkodzonych w zdarzeniach z pieszymi ZPP,
- d) ekwiwalentną liczbę uszkodzonych pieszych ZEPP:

$$ZEPP = w_s * I_s + w_{cr} * I_{cr} + w_{lr} * I_{lr} , \quad (4)$$

(oznaczenia jak w punkcie 2)

Jako zmienne niezależne opisujące środowisko drogi zdefiniowano 72 cechy geometrii drogi, organizacji ruchu drogowego, ruchu pieszych i pojazdów. Według wstępnej analizy na powstawanie zdarzeń drogowych z udziałem pieszych znaczący wpływ mają następujące cechy drogi i ruchu:

- a) długość przejścia dla pieszych,
- b) liczba i szerokość pasów ruchu na przejściu,
- c) kąt przecięcia przejścia dla pieszych z jezdnią,
- d) widoczność przejścia dla pieszych,
- e) widoczność jezdni z chodnika przyległego do przejścia,
- f) natężenie pieszych przekraczających jezdnię,
- g) natężenia pojazdów przejeżdżających dane przejście,
- h) struktura rodzajowa pojazdów przejeżdżających dane przejście,
- i) prędkość pojazdów przejeżdżających dane przejście.

Dłuższe przejścia, prowadzone przez dużą liczbę pasów ruchu stwarzają dużą trudność dla pieszego, który musi obserwować wiele strumieni pojazdów jednocześnie. Duże natężenia ruchu zwiększają prawdopodobieństwo błędnej oceny sytuacji przez użytkowników drogi. Dodatkowo trudność w znalezieniu odpowiednio dużej luki w strumieniu pojazdów powoduje zniecierpliwienie wśród pieszych i przekraczanie jezdni przy małym odstępie czasu pomiędzy jadącymi pojazdami. Podobnie jest w przypadku dużych prędkości pojazdów

przejeżdżających przez przejście. Gorsze warunki widoczności, w tym dostrzegalność przejścia przez kierowców, widoczność jezdni z chodnika jak i widoczność chodnika z jezdni, a także kąt przecięcia przejścia dla pieszych z jezdnią powodują utrudnioną ocenę sytuacji zarówno przez kierowców, jak i pieszych. Gorsze własności dynamiczne pojazdów ciężarowych powodują duży wpływ struktury rodzajowej pojazdów na powstawanie zdarzeń z udziałem pieszych.

#### **4. Podsumowanie**

Dzięki rozwojowi technicznemu polepszają się systematycznie możliwości przechowywania, gromadzenia i analiz wszelkich danych. Umożliwia to opracowywanie coraz dokładniejszych modeli opisujących liczbę zdarzeń drogowych. Pierwsze modele określały tylko liczbę ofiar śmiertelnych i to w ujęciu makro. Aktualnie, właśnie dzięki rozwojowi techniki komputerowej, zaczęto konstruować mikromodele, które uwzględniają coraz więcej czynników związanych ze środowiskiem drogi. Tak skonstruowane modele mają bardzo duże znaczenie praktyczne, ponieważ umożliwiają ocenę zagrożenia brd już na etapie projektu. Dzięki temu możliwe są korekty projektów, możliwe jest również lepsze sprawdzenie danego rozwiązania komunikacyjnego na etapie audytu. Dzięki temu możemy liczyć na lepsze drogi i lepsze życie.

#### Literatura:

- [1] Bebyn G.: Metoda szacowania liczby zdarzeń drogowych na sieci dróg miejskich. Rozprawa doktorska, Akademia Techniczno - Rolnicza w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2004 r.
- [2] Gaca S.: Prędkość jako zmienna objaśniająca w modelach predykcji wypadków. Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Gambit 2002. Gdańsk 2002 r.
- [3] Hauer E. I in.: Estimation Safety at Signalized Intersections. Transport Research Board, TRR 1185, ,Washington 1988 r.
- [4] Komenda Główna Policji. Materiały ze strony internetowej: [www.policja.pl](http://www.policja.pl)
- [5] Kulmala R.: Safety at Three - and Four-Arm Junctions: Development and Application of Accident Prediction Models. VTT Publications 233, Technical Research Centre of Finland, Espoo 1995 r.
- [6] Szczuraszek T. + zespół: Badania zagrożeń w ruchu drogowym. Polska Akademia Nauk, Warszawa 2005 r.
- [7] Szczuraszek T. + zespół: Bezpieczeństwo ruchu miejskiego. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2005 r.
- [8] Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G., Stanek M., Obłój M.: Raport o stanie bezpieczeństwa ruchu drogowego w Elblągu 2004. Katedra Budownictwa Drogowego, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2005 r.
- [9] Zegger C.V. I in.: Safety Effects of Cross-Section Design for Two-Lane Roads. US Department of Transportation, Federal Highway Administration. Publication nO. FHWA-RD-87-008, Washington 1986 r.
- [10] Zielińska A.: Alarm dla polskich miast, BRD 4/2002.