

# AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA

IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECFICH W BYDGOSZCZY

WYDZIAŁ BUDOWNICTWA I INŻYNIERII ŚRODOWISKA



## ROZPRAWA DOKTORSKA

pt. „METODA SZACOWANIA  
LICZBY ZDARZEŃ DROGOWYCH  
NA SIECI DRÓG MIEJSKICH”

*Autor: mgr inż. Grzegorz Bebyn*

*Promotor: dr hab. inż. Tomasz Szczuraszek, prof. ATR*

**AKADEMIA TECHNICZNO-ROLNICZA**

*im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich*

**Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska**

mgr inż. Grzegorz Bebyn

**METODA SZACOWANIA  
LICZBY ZDARZEŃ DROGOWYCH  
NA SIECI DRÓG MIEJSKICH**

Rozprawa doktorska

Biblioteka Główna ATR w Bydgoszczy



00000119730

Promotor:

dr hab. inż. Tomasz Szczuraszek, prof. ATR

Akademia Techniczno Rolnicza

w Bydgoszczy

Bydgoszcz, wrzesień 2004



2005 10 52/1

<b>1. WPROWADZENIE.....</b>	<b>3</b>
<b>2. PRZEGLĄD STOSOWANYCH METOD OCENY I MODELI ZAGROŻENIA W RUCHU DROGOWYM.....</b>	<b>6</b>
2.1 METODY OCENY ZAGROŻENIA W RUCHU DROGOWYM.....	6
2.2 MODELE ZAGROŻENIA W RUCHU DROGOWYM.....	15
2.3 KIERUNKI ROZWOJU METOD OCENY I MODELI ZAGROŻENIA W RUCHU DROGOWYM.....	27
<b>3. OPIS SYSTEMU WZDR.....</b>	<b>29</b>
3.1 OGÓLNA KONSTRUKCJA SYSTEMU.....	29
3.2 PODSYSTEM BRD.....	32
<b>4. OGÓLNY OPIS METODY SZACOWANIA LICZBY ZDARZEŃ DROGOWYCH.....</b>	<b>38</b>
<b>5. OPRACOWANIE WYBRANYCH MODELI LICZBY ZDARZEŃ DROGOWYCH.....</b>	<b>49</b>
5.1 WSTĘPNY ETAP ANALIZ.....	50
5.2 WYBÓR ZMIENNYCH NIEZALEŻNYCH.....	58
5.3 SELEKCJA ZMIENNYCH NIEZALEŻNYCH.....	71
5.4 OKREŚLENIE WYJŚCIOWYCH MODELI.....	78
<b>6. OCENA DOKŁADNOŚCI METODY.....</b>	<b>82</b>
<b>7. PRAKTYCZNE WYKORZYSTANIE METODY.....</b>	<b>85</b>
<b>8. WNIOSKI.....</b>	<b>94</b>
<b>9. LITERATURA.....</b>	<b>99</b>

# 1. WPROWADZENIE

## **Koszty zdarzeń drogowych**

Jeden z poważniejszych problemów dotyczących Polskę stanowi bardzo niski poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego, będący jednym z najniższych w Europie. O problemie tym świadczy między innymi liczba śmiertelnych ofiar wypadków drogowych na 100 000 mieszkańców, która w naszym kraju w roku 2002 kształtowała się na poziomie 15,1, podczas gdy w takich krajach jak: Norwegia, Holandia czy Szwecja była ona ponad dwukrotnie mniejsza – 6,0 [108]. Szczególnie niekorzystnie przedstawiają się statystyki odnośnie sieci ulicznej. Zagrożenie w ruchu drogowym, mierzone liczbą zabitych na 100 tysięcy mieszkańców, takich miast jak Rzeszów, Warszawa, Kielce, Poznań jest 3-4 razy wyższe niż na przykład mieszkańców Berlina czy Sztokholmu [109].

Aby ten stan rzeczy poprawić oczywistym jest, że należy podjąć konkretne działania, a także przekonać społeczeństwo, że działania te są niezbędne dla nas samych, ze względu na ogromne koszty, jakie ponosimy z tytułu zdarzeń drogowych. Przykładowo, koszt wszystkich zdarzeń drogowych, które miały miejsce w Bydgoszczy w roku 2002 wyniósł około 313 mln. zł, co stanowi równowartość wybudowania prawie 3 mostów o długości 2 km i szerokości 7,0 m [13, 80]. Natomiast w skali kraju koszty zdarzeń drogowych kształtują się na poziomie 2,7% Produktu Krajowego Brutto [3, 44, 45].

## **Potrzeba modelowania liczby zdarzeń drogowych**

W każdej dziedzinie życia społecznego, jeśli chce się coś skutecznie naprawić, należy najpierw opracować poprawną diagnozę. Podstawą diagnozy jest natomiast szczegółowa ocena stanu istniejącego. W przypadku bezpieczeństwa ruchu drogowego szczegółową i rzetelną ocenę konstruować można jedynie na podstawie analizy zdarzeń drogowych.

Jak wskazują doświadczenia krajów zachodnich, najwyższą jakość analiz bezpieczeństwa ruchu drogowego (brd) można uzyskać, gdy są one prowadzone na podstawie komplementarnych systemów informatycznych, przy dużej liczbie danych [17, 18, 99, 107].

W większości państw Europy Zachodniej, w których w przeszłości podjęto systemowe działania w kierunku poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, odnotowuje się dzisiaj sukcesy [37, 53, 65]. Dowodzi to, że można skutecznie działać w zakresie poprawy

bezpieczeństwa ruchu drogowego. Należy jednak działać systemowo i profesjonalnie. Żadne przypadkowe działania nie przyniosą spodziewanego rezultatu.

Aktualnie prace dotyczące modelowania zagadnień związanych ze zdarzeniami drogowymi są realizowane w wielu krajach [4, 38, 43, 65], a nawet w ramach programów międzynarodowych, takich jak np. programy o charakterze ogólnoeuropejskim: COST 329 (UE - DGT) [24], IRRD 888815 (OECD) [64]. W pracach tych podkreśla się konieczność działań w zakresie poprawy brd, a szczególnie realizacji badań dotyczących modelowania zagrożenia w ruchu drogowym [40] (zagrożenie w ruchu drogowym określa poziom niebezpieczeństwa powstania określonej szkody w wyniku uczestnictwa w tym ruchu [72]).

Poznanie procesów powstawania zdarzeń drogowych i stopnia wpływu na ten proces różnych czynników, daje największe możliwości w poszukiwaniu środków wiodących do poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego. Zarówno w tym aspekcie poznawczym, jak i aplikacyjnym, duże znaczenie mają modele opisujące zależność liczby zdarzeń drogowych od cech środowiska drogi.

### **Teza pracy**

Z dotychczas przeprowadzonych badań w zakresie bezpieczeństwa ruchu drogowego można stwierdzić, iż każde zdarzenie drogowe powstaje w wyniku splotu różnych czynników, przy czym do grupy dominujących należą te, które są związane z człowiekiem i drogą. Prawie każde zdarzenie drogowe powstaje w wyniku błędu człowieka, ale błąd ten popełnia on na skutek niekorzystnych okoliczności, w tym bardzo często z powodu niedoskonałości drogi [72]. Analizując mapy zdarzeń drogowych łatwo zauważyć, że rozkład tych zdarzeń w przestrzeni nie ma charakteru przypadkowego, lecz charakteryzuje się określoną koncentracją. Zdarzenia te kumulują się w konkretnych „słabych” miejscach na drodze. Można zatem postawić tezę, że to droga ma kluczowe znaczenie w procesie powstawania zdarzeń drogowych, a co za tym idzie można określić metodę, która umożliwi szacowanie liczby zdarzeń drogowych wykorzystując szczegółowe dane opisujące cechy drogi jak i ruchu drogowego.

### **Cel i zakres pracy**

Celem niniejszej rozprawy jest opracowanie metody szacowania liczby zdarzeń drogowych danego rodzaju na poszczególnych elementach sieci dróg miejskich.

Podstawą opracowania metody są modele oryginalne dla danego miasta, opracowane na podstawie historycznych danych o zdarzeniach drogowych i infrastrukturze drogowej analizowanego miasta.

Zakres pracy obejmuje następujące zadania:

- a) opracowanie ogólnej konstrukcji metody szacowania liczby zdarzeń drogowych danego rodzaju na poszczególnych elementach sieci dróg miejskich,
- b) zdefiniowanie oraz wybór elementów sieci drogowej podlegających analizie – wybór tzw. elementów jednorodnych pod względem charakteru wpływu danych czynników na zdarzenia drogowe,
- c) określenie i zdefiniowanie zmiennych zależnych opisujących funkcje celu,
- d) określenie i zdefiniowanie zmiennych niezależnych, siłę ich autokorelacji i korelacji ze zmiennymi zależnymi,
- e) określenie ogólnej konstrukcji modeli regresji opisujących liczbę zdarzeń drogowych danego rodzaju na wybranych jednorodnych elementach sieci drogowej,
- f) opracowanie na podstawie danych historycznych dla Bydgoszczy modeli opisujących liczbę zdarzeń drogowych danego rodzaju na wybranych jednorodnych elementach sieci drogowej,
- g) opracowanie algorytmu umożliwiającego aktualizowanie modeli liczby zdarzeń drogowych na sieci drogowej danego miasta na podstawie nowych danych o zdarzeniach drogowych oraz adaptacji modeli dla innego miasta,
- h) opracowanie algorytmów oraz aplikacji komputerowych w systemie WZDR umożliwiających między innymi:
  - dokonywanie podziału sieci na elementy jednorodne,
  - ocenę wpływu poszczególnych czynników drogowo-ruchowych na liczbę i rodzaj konkretnych zdarzeń drogowych,
  - aktualizowanie modeli szacowania liczby zdarzeń drogowych,
  - szacowanie liczby zdarzeń drogowych na elementach sieci dróg miejskich na podstawie opracowanych modeli regresji,
  - tworzenie numerycznej mapy prognozowanych zdarzeń drogowych na elementach sieci drogowej,
- i) weryfikację modeli na podstawie porównania szacowanej oraz rzeczywistej liczby zdarzeń drogowych na analizowanych elementach sieci drogowej.

## **2. PRZEGLĄD STOSOWANYCH METOD OCENY I MODELI ZAGROŻENIA W RUCHU DROGOWYM**

### **2.1 METODY OCENY ZAGROŻENIA W RUCHU DROGOWYM**

Oceny zagrożenia w ruchu drogowym są dokonywane na podstawie [46, 72, 104]:

- a) wypadków drogowych (wypadek drogowy – zdarzenie w ruchu drogowym, w wyniku którego nastąpiła utrata życia, zdrowia lub uszkodzenia ciała, chociaż jednego z jego uczestników [104]),
- b) zdarzeń drogowych – łącznie wypadki oraz kolizje drogowe (kolizja drogowa – zdarzenie w ruchu drogowym, w wyniku którego powstały tylko straty materialne, chociaż jednego z jego uczestników [104]),
- c) konfliktów ruchowych (zgodnie z definicją przyjętą w 1977 roku w Oslo: „Konflikt ruchowy stanowi sytuację wzajemnego oddziaływania pomiędzy dwoma użytkownikami drogi lub między użytkownikiem, a jego otoczeniem, którzy poruszają się w sposób grożący zdarzeniem drogowym, ale przynajmniej jeden z nich podejmuje akcję uniknięcia tego zdarzenia” [46]),
- d) przedkonfliktowych zachowań uczestników ruchu (zachowania przedkonfliktowe są to sytuacje, w których uczestnicy ruchu naruszają przyjęte progi zachowania się na drodze, np.: wyprzedzanie przy zbyt małej odległości widoczności, ale w wyniku których nie dochodzi do zdarzenia drogowego oraz nie zachodzi potrzeba zmiany zachowania przez innych uczestników ruchu, aby uniknąć zdarzenia) [46],
- e) prognozowanych wartości wskaźników zagrożenia; do oceny zagrożenia wykorzystuje się bardzo różne wskaźniki, najczęściej jest to szacowana liczba wypadków, zdarzeń drogowych lub ofiar tych zdarzeń w ciągu roku [72].

#### **Metody oceny oparte na zarejestrowanej liczbie zdarzeń drogowych lub niebezpiecznych zachowań uczestników ruchu**

Zdecydowana większość stosowanych na świecie metod oceny zagrożenia w ruchu drogowym bazuje na analizie zaistniałych wypadków drogowych, ponieważ dane o nich są gromadzone od wielu lat w większości krajów [39].



Najstarszą i najprostszą metodą oceny zagrożenia w ruchu drogowym, opartą na analizie zaistniałych wypadków drogowych, jest tzw. metoda koncentracji wypadków [30, 86]. Metoda ta polega na prowadzeniu rejestru wypadków, które miały miejsce na określonym ciągu komunikacyjnym, który zawiera szczegółowe dane o okolicznościach zaistniałych wypadków. Są to informacje o miejscu, czasie, przyczynie, skutkach oraz uczestnikach biorących udział w wypadku. Na podstawie lokalizacji wypadków określa się punkty najbardziej niebezpieczne (miejsca o największym skupisku wypadków). Stopień zagrożenia określany jest poprzez gęstość wypadków, czyli liczbę wypadków na określonej długości odcinka drogi, najczęściej 1 km [22, 88].

Bardzo podobną metodą do „koncentracji wypadków”, lecz znaczenie rzadziej stosowaną, jest metoda konfliktów ruchowych. Metoda ta bazuje na obserwacji konfliktów ruchowych. Na podstawie przeprowadzonych obserwacji wykonuje się szkic koncentracji zaobserwowanych konfliktów i na tej podstawie przeprowadza się analizy dotyczące zagrożenia w ruchu drogowym. Powyższa metoda została również opracowana w wersji komputerowej, w postaci programu komputerowego Highway Safety Analysis Software [36].

Analogicznie do metod przedstawionych powyżej prowadzone są także analizy oparte na obserwacji zachowań przedkonfliktowych, jednak z uwagi na to, iż są to zdarzenia niezmiernie trudne do obserwacji, powyższe analizy wykonuje się rzadko [46].

### **Metody oceny oparte na prognozowanym stopniu zagrożenia**

Z metod powstałych na podstawie analiz empirycznych pierwszą była metoda przekrojów poprzecznych. Została ona zastosowana w 1956 r. do oceny dróg krajowych w RFN [6]. Zagrożenie w ruchu drogowym oceniane było w tej metodzie za pomocą współczynnika charakteryzującego zwiększenie liczby wypadków na danej drodze w porównaniu z liczbą wypadków na drodze z czterema pasmami ruchu, z pasem rozdzielającym i utwardzonymi pasami postojowymi na poboczach. Współczynnik zagrożenia  $w_p$  określano za pomocą wzoru:

$$w_p = w_0 \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot w_3 \quad (2.1)$$

gdzie:

- $w_0 = 1$  – współczynnik względnej liczby wypadków na drodze czteropasowej,
- $w_1$  – współczynnik uwzględniający liczbę pasów ruchu i istnienie utwardzonych pasów na poboczach; przyjmuje on wartości od 1 do 3,

- $w_2$  – współczynnik uwzględniający w strukturze ruchu rowery, motorowery i pieszych; przyjmuje on wartości od 1,2 do 2,8,
- $w_3$  – współczynnik uwzględniający szerokość jezdni; przyjmuje on wartości od 1,0 do 1,5.

Przedstawiona metoda była obarczona dużą niedoskonałością związaną z faktem nieuwzględniania w procedurze oceny zagrożenia przede wszystkim wartości natężeń ruchu samochodowego. Powyższą ułomność metody skorygowano w czechosłowackich normach projektowania dróg i autostrad z 1962 roku [6].

Inną propozycję metody oceny zagrożenia w ruchu drogowym przedstawił Babkow, który założył, iż w celu dokonania tej oceny można zastosować uogólniony współczynnik liczby wypadków –  $K_{wyp}$ . Powyższy współczynnik jest obliczany jako iloczyn poszczególnych współczynników, charakteryzujących zwiększenie lub zmniejszenie poziomu zagrożenia w ruchu drogowym w stosunku do dwupasowej drogi o szerokości jezdni 7,5 m z utwardzonymi poboczami i szorstką nawierzchnią [6]:

$$K_{wyp} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_{14} \quad (2.2)$$

Poszczególne współczynniki ( $K_1, K_2 \dots K_{14}$ ) uwzględniają wpływ natężeń ruchu, elementów planu i przekroju podłużnego i poprzecznego drogi na zmianę poziomu analizowanego zagrożenia.

Metodę oceny zagrożenia w ruchu drogowym na skrzyżowaniach drogowych po raz pierwszy zaproponował Ch. Rappaport [6]. Powyższa metoda opierała się na systemie współczynników, które określały stopień zagrożenia na przecinających się potokach ruchu. Dla każdego wariantu skrzyżowania wyznaczano stopień zagrożenia w ruchu drogowym –  $S_k$  jako sumę iloczynów natężeń ruchu na każdym pasie  $N$  i odpowiednich współczynników  $\sigma$  – wzór 2,3. Współczynniki  $\sigma$  charakteryzowały różne konfiguracje punktów kolizji skrzyżowań, np. włączenie, wyłączenie, przecinanie się potoków pod kątem  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  itp.

$$S_k = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i \cdot N_i}{10} \quad (2.3)$$

gdzie:

$n$  – liczba punktów kolizji.

Opierając się na metodzie Rappaporta, E. Łobanow uzależnił liczbę wypadków drogowych od kątów przecięcia się poszczególnych potoków ruchu oraz od promieni skrętu samochodów przejeżdżających przez skrzyżowanie [6]:

$$W = \sum_{i=1}^n 10^7 \cdot 25 \cdot \frac{W_i}{K_{r1}} \cdot N_{gl} \cdot N_{dr} \quad (2.4)$$

gdzie:

- W – liczba wypadków na skrzyżowaniu w ciągu roku,
- $N_{gl}, N_{dr}$  – natężenie przecinających się potoków ruchu [P/dobę],
- $K_{r1}$  – współczynnik nierównomierności ruchu w różnych dniach,
- n – liczba punktów kolizji,
- $w_i$  – współczynniki określające względną wypadkowość w zależności od kąta przecinających się potoków ruchu oraz promienia skrętu.

Wykorzystując powyższe zależności E. Łobanow zaproponował określenie stopnia zagrożenia powstania zdarzenia drogowego poprzez:

$$S_k = \frac{10^7 \cdot W \cdot K_{r2}}{25 \sum N} \quad (2.5)$$

gdzie:

- $\sum N$  – suma natężeń ruchu na przecinających się drogach [P/dobę],
- $K_{r2}$  – współczynnik nierównomierności ruchu w ciągu roku, który uwzględnia się w przypadkach konieczności określania poziomu zagrożenia w okresach sezonowych szczytów natężeń ruchu; współczynnik ten określa się jako stosunek średniodobowego natężenia ruchu w danym miesiącu do średniodobowego natężenia w roku.

W 1997 roku S. Sarna przedstawił zbliżoną do metody Rappaporta metodę oceny bezpieczeństwa ruchu drogowego na skrzyżowaniach ulic/dróg [66]. W metodzie tej miarą zagrożenia brd był wskaźnik ryzyka wypadku WRW obliczany wzorem:

$$WRW = \sum_{i=1}^n WR_i \cdot A_k \cdot Q_i \cdot 10^{-4} \quad (2.6)$$

gdzie:

- n – liczba miejsc potencjalnych kolizji,
- $WR_i$  – przeciętna waga ryzyka zdarzenia drogowego zależna od rodzaju po-

tencjalnego punktu kolizji „i”,

$A_k$  – współczynnik korygujący wartość  $WR_i$ , uwzględniający np. występowanie na skrzyżowaniu sygnalizacji świetlnej, ogrodzeń dla pieszych itp.,

$Q_i$  – iloczyn prognozowanych szczytowych natężeń kolizyjnych strumieni ruchu w punkcie kolizji „i”.

W Stanach Zjednoczonych, w badaniach objętych programem Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM), do oceny zagrożenia w ruchu drogowym przy wprowadzaniu zmian geometrii dróg przyjęto prognozowaną liczbę zdarzeń drogowych  $N_{int}$  [21]:

$$N_{int} = N_{bi} \cdot (AMF_{1i} \cdot AMF_{2i} \cdot \dots \cdot AMF_{ni}) \quad (2.7)$$

gdzie:

$N_{int}$  – prognozowana liczba zdarzeń drogowych na skrzyżowaniu w roku po zastosowaniu proponowanych zmian cech geometrycznych drogi,

$N_{bi}$  – liczba zdarzeń drogowych na skrzyżowaniu w roku, przed zmianami cech geometrycznych,

$AMF_{1i}, \dots, AMF_{ni}$  – wskaźniki modyfikacji liczby wypadków na skrzyżowaniu w wyniku zastosowania konkretnych zmian cech geometrycznych drogi.

Prognozowaną wartość liczby zdarzeń  $N_{bi}$  określa się poprzez modele bazowe. Przykładowo model bazowy odnoszący się do skrzyżowań dróg zamiejskich z wlotami podporządkowanymi znakami B-20 (Stop) przedstawia się następująco [95]:

a) w przypadku skrzyżowań trzywlotowych:

$$N_{bi} = \exp(-11,28 + 0,79 \ln ADT_1 + 0,49 \ln ADT_2 + 0,19 RHRI + 0,28 RT) \quad (2.8)$$

gdzie:

$ADT_1$  – średniodobowe natężenie ruchu pojazdów na drodze głównej,

$ADT_2$  – średniodobowe natężenie ruchu pojazdów na drodze podporządkowanej,

$RHRI$  – stopień niebezpieczeństwa wynikający ze stanu pobocza, na długości 76 m od skrzyżowania, przyjmuje wartość od 1 do 7 [105],

$RT$  – zmienna określająca występowanie lub brak wydzielonego pasa w

prawo na drodze głównej (0 gdy pas do skrętu w prawo nie występuje, 1 gdy pas do skrętu w prawo występuje).

b) w przypadku skrzyżowań czterowlotowych:

$$N_{bi} = \exp(-9,34 + 0,60 \ln ADT_1 + 0,61 \ln ADT_2 + 0,13 ND_1 - 0,0054 SKEW) \quad (2.9)$$

gdzie:

$ND_1$  – liczba wjazdów na drodze głównej na długości 76 m od skrzyżowania,

$SKEW$  – kąt przecięcia się dróg liczony jako bezwzględna wartość różnicy pomiędzy kątem  $90^\circ$  a rzeczywistym kątem przecięcia się dróg.

Natomiast poszczególne wskaźniki modyfikacji wypadków AMF (Accident Modification Factors) określają wpływ wybranej i-tej cechy geometrycznej drogi, np. [21]:

- a) szerokości jezdni,
- b) szerokości poboczy,
- c) rodzaju poboczy,
- d) długości krzywych poziomych,
- e) promieni łuków poziomych,
- f) kątów przecięcia się wlotów na skrzyżowaniu,
- g) odległości pomiędzy skrzyżowaniami z sygnalizacją świetlną.

Wartość wskaźnika AMF mniejsza od 1 świadczy, że poziom brd uległ poprawie, natomiast wartość większa od 1, że poziom brd uległ pogorszeniu. Przykładowo wpływ kąta przecięcia się dróg na skrzyżowaniu z wlotem podporządkowanym znakiem B-20 (Stop) jest obliczany następująco [95]:

$$AMF = \exp(0,0040 SKEW) \text{ – w przypadku trzywlotowych skrzyżowań,} \quad (2.10)$$

$$AMF = \exp(0,0054 SKEW) \text{ – w przypadku czterowlotowych skrzyżowań.} \quad (2.11)$$

### **Wykorzystanie w metodach technik komputerowych**

Wykorzystanie technik komputerowych w metodach oceny zagrożenia w ruchu drogowym odnotowuje się praktycznie od początku tworzenia komputerowych baz da-

nych, tj. od roku 1953, kiedy to firma IBM opracowała pierwszy komputer „przystępny dla ludzi” – IBM 701.

W ostatnich latach do oceny zagrożenia w ruchu drogowym zaczęto wykorzystywać systemy GIS, które dają bardzo duże możliwości w zakresie gromadzenia i przetwarzania danych, zarówno o zdarzeniach drogowych, jak i o infrastrukturze drogowej. Umożliwiają one także opracowanie szczegółowych analiz danych, wizualizację danych, gromadzenie danych graficznych, w tym, np. zdjęć zdarzeń drogowych.

Jednym z takich systemów jest system opracowany w Stuttgarcie w 1996 roku [102]. Ocena zagrożenia dokonywana jest tu na podstawie symulacji podróży z punktu A do punktu B po odpowiednich typach ulic i skrzyżowań. Każdy typ ulicy (C), skrzyżowania (K), relacji (F) charakteryzuje się odpowiednim ryzykiem wystąpienia zdarzenia drogowego. Powyższe ryzyko określa się na podstawie zgromadzonych danych o zdarzeniach drogowych i infrastrukturze drogowej w bazie systemu GIS.

W Polsce nad wykorzystaniem technik komputerowych do oceny zagrożenia w ruchu drogowym zaczęto pracować w 1976 roku, kiedy to w Warszawie, w ramach tworzonego Elektronicznego Banku Inżynierii Ruchu (EBIR), wdrożono podsystem EBIR-WYPADKI [93]. Wdrożony system miał umożliwiać lokalizację „czarnych punktów” na sieci ulicznej, analogicznie do metody koncentracji wypadków. Ponadto, dzięki dodatkowym podsystemom miał łączyć informacje o zdarzeniach drogowych z informacjami o natężeniach ruchu i urządzeniach drogowych występujących w analizowanych miejscach. Powyższy podsystem zawierał informacje o wypadkach i kolizjach drogowych pozyskiwane bezpośrednio z Komendy Stołecznej MO. W systemie EBIR układ odniesienia sieci dróg w przestrzeni składał się ze współrzędnych siatki prostokątów w skali 1:500 oraz numerów węzłów sieci w danym prostokącie. Podsystem EBIR-WYPADKI w połączeniu z podsystemem „N” – natężenia ruchu i „Z” – urządzenia drogowe miał przedstawiać pełen obraz warunków i poziomu bezpieczeństwa ruchu w poszczególnych elementach sieci ulic Warszawy. Mimo dużego zainteresowania, jaki wzbudzał system EBIR wśród osób zajmujących się przedmiotową problematyką, nie udało się w pełni zrealizować jego założeń. Aktualnie funkcjonuje jedynie podsystem EBIR-WYPADKI, jednak nie jest on dostosowany do możliwości, jakie daje nam dzisiejsza technika.

W tym samym czasie, kiedy wdrażano EBIR w Warszawie, w Trójmieście trwały prace nad Systemem Elektronicznego Przetwarzania Danych o wypadkach drogowych [69]. Również ten system opierał się na metodzie koncentracji wypadków. Głównym założeniem systemu była szczegółowa lokalizacja zdarzenia, która pozwalała na rejestrację

miejsc niebezpiecznych o zwiększonym zagrożeniu powstania zdarzenia drogowego. Jednak z uwagi na małe zaawansowanie technik komputerowych w tamtym okresie, był to bardzo ubogi system. Możliwość przetwarzania danych ograniczała się do opracowywania prostych charakterystyk, np.:

- a) wypadki na skrzyżowaniach przy nieczynnej sygnalizacji,
- b) wypadki z udziałem pieszych,
- c) „wypadki pod wpływem alkoholu”.

W latach 90. ubiegłego wieku na Politechnice Świętokrzyskiej rozpoczęto prace nad programem komputerowym SYRENA, służącym do rejestracji i analizy danych o zdarzeniach drogowych w miastach. Podstawowe zadania realizowane przez program SYRENA sklasyfikować można w trzech grupach [56]:

- a) charakterystyki liczebności zdarzeń w zależności od ich rodzaju na każdym skrzyżowaniu,
- b) zestawienia liczby zdarzeń drogowych wg lat, miesięcy, dni tygodnia oraz wg dowolnych cech uwzględniających czas i miejsce zdarzenia.

Realizowane tak zestawienia statystyczne służą do dokonywania ocen poziomu zagrożenia w ruchu drogowym.

Program zawiera informacje o zdarzeniach drogowych, charakterystyce geometryczno-ruchowej miejsca zdarzenia i obowiązującym na tym miejscu sposobie sterowania ruchem. Informacje te zapisane są w 12 tabelach, powiązanych ze sobą odpowiednimi relacjami.

Pierwsza w Polsce metoda oceny zagrożenia w ruchu drogowym oparta na systemie GIS została opracowana w 1993 roku w Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. System ten, pod nazwą Informatyczny System Wspomagania Zarządzania Drogami i Ruchem Drogowym” – WZDR, został wdrożony w kilkunastu miastach Polski. Ocena zagrożenia dokonywana jest w tym systemie kilkupłaszczyznowo [72], tj. poprzez:

- a) ocenę stanu zagrożenia odniesioną do całego miasta,
- b) ocenę poziomu zagrożenia w poszczególnych rejonach komunikacyjnych miasta,
- c) ocenę zagrożenia na poszczególnych elementach sieci drogowej,
- d) wybór niebezpiecznych miejsc na sieci drogowej,
- e) analizę zdarzeń drogowych w aspekcie przyczynowo-skutkowym w miejscach niebezpiecznych,

- f) ocenę efektywności podjętych działań na sieci drogowej (budowy lub przebudowy elementów sieci, zmian na nich organizacji ruchu itp.) w celu poprawy brd.

Jako mierniki zagrożenia w ruchu drogowym wykorzystuje się różnorodne wskaźniki, które bliżej zostały opisane w [72]. Jednak zasadniczym wskaźnikiem, na podstawie którego określa się poziom zagrożenia w ruchu drogowym jest syntetyczny wskaźnik zagrożenia  $W_i$ . Uwzględnia on następujące wielkości:

- a) bezwzględną liczbę zdarzeń drogowych,
- b) względną liczbę zdarzeń drogowych określoną w stosunku do natężeń ruchu,
- c) ciężkość zdarzeń drogowych,
- d) liczbę zdarzeń drogowych z pieszymi,
- e) liczbę zdarzeń drogowych z rowerzystami.

Wskaźnik ten definiowany jest w następujący sposób:

$$W_i = \frac{WB1_i}{\overline{WB1}} + \frac{WB2_i}{\overline{WB2}} + \frac{(WP_i + WR_i)}{(\overline{WP} + \overline{WR})} \quad (2.12)$$

gdzie:

$WB1_i$  – wskaźnik względnej liczby zdarzeń drogowych na i-tym elemencie sieci drogowej (ekwiwalentna liczba zdarzeń drogowych odniesiona jest do średniodobowego w roku natężenia ruchu)  $\left[ \frac{\text{ekw.zdarzeń}}{\text{milion} * E * \text{rok}} \right]$ ,

$\overline{WB1}$  – średni wskaźnik względnej liczby zdarzeń drogowych  $WB1$  charakteryzujący wszystkie elementy sieci drogowej tego samego rodzaju (skrzyżowania lub punkty na odcinkach międzywęzłowych) co element oceniany, na którym miały miejsce w dwóch ostatnich latach co najmniej 3 zdarzenia lub jeden wypadek drogowy rocznie,

$WB2_i$  – wskaźnik liczby ekwiwalentnych zdarzeń drogowych na i-tym elemencie sieci drogowej,

$\overline{WB2}$  – średni wskaźnik liczby ekwiwalentnych zdarzeń drogowych  $WB2$  charakteryzujący wszystkie elementy sieci drogowej tego samego rodzaju (skrzyżowania lub punkty na odcinkach międzywęzłowych) co element oceniany, na którym miały miejsce w dwóch ostatnich latach co najmniej 3 zdarzenia lub jeden wypadek drogowy rocznie,

$WP_i$  – wskaźnik zdarzeń drogowych z pieszymi na i-tym elemencie sieci dro-



gowej miasta,

$WR_i$  – wskaźnik zdarzeń drogowych z rowerzystami na  $i$ -tym elemencie sieci drogowej miasta,

$\overline{(WP + WR)}$  – średnia wartość sumy wskaźników WP oraz WR charakteryzujące wszystkie elementy sieci drogowej tego samego rodzaju (skrzyżowania lub punkty na odcinkach międzywęzłowych) co element oceniany, na którym miały miejsce w dwóch ostatnich latach co najmniej 3 zdarzenia lub jeden wypadek drogowy rocznie.

## 2.2 MODELE ZAGROŻENIA W RUCHU DROGOWYM

Modele służące do opisu zagrożenia w ruchu drogowym można klasyfikować według różnych cech.

Najbardziej ogólny podział uzależniony jest od skali ujęcia problemu zagrożenia [40]:

- a) makromodele – to grupa modeli ogólnych, służących do prognozowania liczby, ryzyka i konsekwencji wypadków drogowych na obszarze kraju, regionu lub powiatu w zależności od ogólnych charakterystyk: demograficznych, socjoekonomicznych, obszarowych i transportowych,
- b) mezomodele – to grupa modeli ogólnych, służących do prognozowania liczby, ryzyka i konsekwencji wypadków drogowych na obszarze miasta, gminy lub rejonu miasta w zależności od cech grup uczestników ruchu, używanych środków transportu, charakterystyk obszarowych i transportowych,
- c) mikromodele – to grupa modeli szczegółowych, służących do prognozowania liczby, ryzyka i konsekwencji wypadków drogowych na drogach i ulicach poszczególnych kategorii w zależności od rodzaju obszaru, klasy drogi, ogólnych charakterystyk drogi i parametrów ruchu drogowego.

Natomiast najbardziej popularnym podziałem jest podział modeli według sposobu ujęcia problemu zagrożenia [40]:

- a) modele opisujące zjawisko powstawania wypadków drogowych,
- b) modele konsekwencji wypadków drogowych,
- c) modele ryzyka zdarzenia drogowego, w tym modele liczby zdarzeń lub ofiar zdarzeń drogowych.

## Makromodele

Makromodele wykorzystywane są przede wszystkim przez decydentów na szczeblu krajowym do oceny efektów podjętych działań w celu poprawy brd [40]. Pierwszy makromodel, a zarazem pierwszy model opisujący zagrożenie w ruchu w drogowym, podał w roku 1948, a opublikował rok później, R. Smeed [49]. W swej pracy zaprezentował statystyczny związek pomiędzy liczbą zabitych na drogach danego kraju a liczbą mieszkańców (śmiertelność) i liczbą zarejestrowanych pojazdów mechanicznych (motoryzacja) [7]:

$$D = 0,000099 \cdot N^{0,3377} \cdot P^{0,7323} \quad (2.13)$$

gdzie:

- D – liczba ofiar śmiertelnych w roku,
- N – liczba zarejestrowanych pojazdów,
- P – populacja ludności.

Oprócz modelu Smeeda, przykładem makromodelu może być model uzależniający liczbę ofiar śmiertelnych na 100 mln. Poj. km [59]:

$$\frac{F}{T} = a \cdot M^b \quad (2.14)$$

gdzie:

- M – wskaźnik motoryzacji (liczba pojazdów na 1000 osób),
- F/T – liczba ofiar śmiertelnych na 100 mln. Poj. km.,
- a, b – stałe:

Kraj	a	b
USA	73092	-1,648
Finlandia	50337	-1,744

W Polsce prace nad makromodelami trwają aktualnie w Katedrze Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej [110, 111].

## Mezomodele

Jest to grupa modeli wykorzystywana głównie przez planistów, w celu określania działań programowych i planistycznych realizowanych na obszarach powiatu, województwa, gmin. Są to modele najmniej rozpowszechnione. Przykładem tego modelu może być

model strukturalny, zbudowany w formie iloczynu różnych grup czynników wpływających na zagrożenie powstania zdarzenia drogowego, np. prędkość, natężenie ruchu, geometria drogi itp.:

$$ACC=k \cdot (YR) \cdot (SPEED) \cdot (FLOW) \cdot (GEOMETRY) \cdot (OTHER) \cdot (Residual) \quad (2.15)$$

gdzie:

- k – współczynnik regresji,
- (YR) – liczba lat, do których odniesiona jest analiza zagrożenia,
- (SPEED) – czynniki opisujące wpływ prędkości na liczbę zdarzeń drogowych,
- (FLOW) – czynniki opisujące wpływ cech potoku ruchu na liczbę zdarzeń drogowych,
- (GEOMETRY) – czynniki opisujące wpływ parametrów geometrii dróg na liczbę zdarzeń drogowych,
- (OTHER) – indywidualne czynniki, np. miejsce występowania zdarzeń (centrum miasta, czy poza miastem),
- (Residual) – reszta.

### **Mikromodele**

Mikromodele wykorzystywane są przede wszystkim przez inżynierów w celu określania szczegółowych ocen stanu zagrożenia w ruchu drogowym oraz wpływu poszczególnych czynników na ten stan, a także w celu oceny efektywności zastosowanych środków zaradczych [40]. Przykładami takich modeli są:

- a) modele Kulmali [48], Hauera [34], dotyczące modelowania zagrożenia w ruchu na skrzyżowaniach,
- b) modele Zeggera [106], dotyczące modelowania zagrożenia w ruchu na odcinkach dróg zamiejskich,
- c) modele uwzględniające wpływ prędkości na poziom zagrożenia w ruchu [27, 29, 70],
- d) modele określające liczbę zdarzeń drogowych na skrzyżowaniach z wyspą centralną [73].

### **Modele opisujące zjawisko powstawania wypadków drogowych**

Rekonstrukcja przebiegu zdarzeń drogowych, a w szczególności symulacji ruchu pojazdów przed i po, należy do bardzo złożonych i skomplikowanych zagadnień [98].

Opierając się na podstawowych zasadach mechaniki klasycznej, takich jak: zasada zachowania pędu, momentu pędu, momentu krętu itp. [1], najprostszy model zderzenia drogowego w ruchu płaskim pojazdów można przedstawić następująco [100]:

$$V^+ = [M^+]^{-1} M^- V^- \quad (2.16)$$

gdzie:

$M^+$ ,  $M^-$  – macierze opisujące parametry bezwładnościowe, położenia środka masy oraz współczynników restytucji zderzających się samochodów (A i B) odpowiednio przed zderzeniem ( $M^-$ ) i po zderzeniu ( $M^+$ ),

$$M^+ = \begin{bmatrix} m_A & 0 & 0 & m_B & 0 & 0 \\ 0 & m_A & 0 & 0 & m_B & 0 \\ a_A m_A & -b_A m_A & I_A & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_B m_B & -b_B m_B & I_B \\ -1 & 0 & a_A & 1 & 0 & -a_B \\ 0 & -1 & -b_A & 0 & 1 & b_B \end{bmatrix}$$

$$M^- = \begin{bmatrix} m_A & 0 & 0 & m_B & 0 & 0 \\ 0 & m_A & 0 & 0 & m_B & 0 \\ a_A m_A & -b_A m_A & I_A & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_B m_B & -b_B m_B & I_B \\ e_n & 0 & -a_A e_n & -e_n & 0 & a_B e_n \\ 0 & e_t & b_A e_t & 0 & -e_t & -b_B e_t \end{bmatrix}$$

$V^+$ ,  $V^-$  – wektory opisujące parametry ruchu odpowiednio przed zderzeniem ( $V^-$ ) i po zderzeniu ( $V^+$ ),

$$V^+ = [v_{An}^+ \quad v_{At}^+ \quad \omega_A^+ \quad v_{Bn}^+ \quad v_{Bt}^+ \quad \omega_B^+]^T$$

$$V^- = [v_{An}^- \quad v_{At}^- \quad \omega_A^- \quad v_{Bn}^- \quad v_{Bt}^- \quad \omega_B^-]^T$$

a, b – współrzędne środka masy,

m – masa pojazdów,

e – współczynnik restytucji.

### Modele konsekwencji wypadków drogowych

Zagadnienia związane z uszkodzeniem ciała człowieka były przedmiotem badań już 400 lat p.n.e., kiedy to Hipokrates opisywał obrażenia głowy [100]. Jednakże, za

pierwszego naukowca, który systematycznie badał zagadnienia odporności człowieka na obciążenia występujące podczas nieszczęśliwego zdarzenia uznaje się Sir Hugo de Havena. Stwierdził on, na podstawie analizy wypadków lotniczych w czasie I wojny światowej, że przeżycie katastrofy zależy w dużym stopniu od rodzaju zabezpieczeń, a nie jedynie od szczęśliwego trafu [35].

W wyniku prac nad biomechaniką wprowadzono kryteria na obrażenia poszczególnych części ciała, które są opisane modelami empirycznymi. Najcięższe urazy dotyczą urazów głowy. Są one opisywane poprzez kryterium HIC (Head Injury Criterion), które ustalił J. Versace [94]:

$$HIC = \max \left[ \frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2,5} (t_2 - t_1) \quad (2.17)$$

gdzie:

$(t_2 - t_1)$  – przedział czasu, w którym głowa jest w kontakcie z innym obiektem,

$a(t)$  – przyspieszenie (opóźnienie) środka masy głowy,

$t$  – czas, w sekundach.

Urazy kręgosłupa w wyniku zdarzenia drogowego ocenia się na podstawie kryterium NIC (Neck Injury Criterion) [100]:

$$NIC = 0,2a_{rel} + v_{rel}^2 \quad (2.18)$$

gdzie:

$a_{rel}, v_{rel}$  – względne przyspieszenie i względna prędkość między pierwszym kręgiem piersiowym i pierwszym kręgiem szyjnym.

Ponadto zostały również opracowane modele empiryczne opisujące odległość odrzutu pieszego, w wyniku uderzenia w niego przez samochód, np. wzór opracowany przez J. Searle'a [67]:

$$v = \frac{\sqrt{2g\mu s}}{\cos\theta + \mu \sin\theta} \quad (2.19)$$

gdzie:

$v$  – prędkość odrzutu pieszego [m/s],

$\mu$  – współczynnik tarcia pieszego po podłożu,

- s – całkowita długość odrzutu pieszego, w [m],
- $\theta$  – kąt odrzutu pieszego [°],
- g – przyspieszenie ziemskie [m/s<sup>2</sup>].

### Modele ryzyka zdarzenia drogowego

W modelach tych ryzyko zdarzenia drogowego jest określone za pomocą różnych wskaźników, np. poprzez wspomniane wcześniej:

- a) wskaźnik ryzyka wypadkowego WRW,
- b) stopień niebezpieczeństwa kolizji  $S_k$ ,
- c) uogólniony współczynnik liczby wypadków Babkowa  $K_{wyp}$ .

Najczęściej jednak ryzyko to jest opisane wprost poprzez liczbę zdarzeń drogowych lub ofiar tych zdarzeń. Modele te stanowią najliczniejszą grupę modeli opisujących zagrożenia w ruchu drogowym. Określają one liczbę zdarzeń (najczęściej wypadków drogowych), liczbę osób rannych w wypadkach, liczbę ofiar śmiertelnych w wypadkach itp. W tabeli 2.1 przedstawiono zestawienie tych modeli [10].

**Tabela 2.1.** Modele liczby zdarzeń drogowych oraz ofiar tych zdarzeń (symbolika zastosowana we wzorach zgodna z symboliką przyjętą w opracowaniu źródłowym)

L.p	Postać modelu	Autor (źródło)	Uwagi
1.	$W_p = 0,5 + 3,6 L$ L – długość odcinków drogi w terenie zabudowanym [m]	[98]	Określa liczbę wypadków na 1 mln P*km
2.	$W_p = 1,61 + 0,13 i$ i – pochylenie niwelety drogi [%]	[98]	Określa liczbę wypadków na 1 mln P*km
3.	$LW = 0,1827 \cdot Q^{0,483} \cdot L_p^{0,646} \cdot e^{0,106B_j - 0,016V_{sr}}$ Q – średnioroczne dobowe natężenie ruchu [P/dobę] L <sub>p</sub> – długość przejazdu przez miejscowości [km] B <sub>j</sub> – szerokość jezdni [m] V <sub>sr</sub> – prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym [km/h]	[28]	Określa średnią liczbę wypadków w roku na drogowych przejściach przez małe miejscowości
4.	$LW = 0,0056 \cdot Q^{0,8235} \cdot L^{0,98} \cdot e^{1,521CV}$	[28]	Określa średnią liczbę wypadków

	<p>Q – średnioroczne dobowe natężenie ruchu [P/dobę]  L – długość przejazdu przez miejscowość [km]  CV – współczynnik zmienności prędkości pojazdów osobowych w ruchu swobodnym</p>		w roku na ciągu ulic
5.	$\ln F / C = 18,066 - 0,633 \ln C / P + 6,65 \ln HDI - 11,447 HDI + 0,016 PV$ <p>F/C – liczba ofiar śmiertelnych na 100 000 pojazdów  C/P – liczba pojazdów na 1000 osób  HDI – wskaźnik przyrostu ludności  PV – procent pojazdów innych niż osobowe [%]</p>	C.J. Beste r [12]	Określa liczbę ofiar śmiertelnych na 100 000 pojazdów
6.	$Y = \exp(-7,1977) AADT^{0,9224} CL^{0,8419} \exp(0,0662 SR)$ <p>AAADT – średnioroczne dobowe natężenie ruchu pojazdów [P/dobę]  CL – długość krzywej poziomej [m]  SR – różnica prędkości pojazdów na krzywej w stosunku do prędkości na prostej [km/h]</p>	[26]	Określa liczbę wypadków na dwujezdniowych autostradach na krzywej poziomej w okresie 3 lat
7.	$W = -8,759 - \frac{X_1}{0,001 X_2} + 0,235 X_3 - 0,950 X_4 - 0,444 X_5$ <p>X<sub>1</sub> – średniodobowe natężenie ruchu [P/dobę]  X<sub>2</sub> – długość odcinka [km]  X<sub>3</sub> – szerokość jezdni [m]  X<sub>4</sub> – liczba przejść dla pieszych  X<sub>5</sub> – szerokość chodnika [m]</p>	[60]	Określa liczbę wypadków na odcinku dwujezdniowym w okresie jednego roku
8.	$A = 0,052 Q_e^{0,7} Q_c^{0,4} \exp(-40 C_e + 0,14 e - 0,007 e v - \frac{1}{1 + \exp(4R - 7)} + 0,2 P_m - 0,01 \Theta)$ <p>Q<sub>e</sub> – natężenie ruchu na wlocie [1000 P/dobę]  Q<sub>c</sub> – natężenie ruchu na obwodni ronda [1000 P/dobę]  C<sub>e</sub> – krzywizna wlotu – 1/R<sub>e</sub> [1/m]  R<sub>e</sub> – promień toru ruchu pojazdów na wlocie po najkrótszej ścieżce przejazdu [m]  e – szerokość wlotu [m]  ev – szerokość dojazdu [m]  R – stosunek średnicy zewnętrznej ronda do średnicy wyspy centralnej  P<sub>m</sub> – udział motocykli w ruchu [%]  Θ – kąt do następnego wlotu mierzony w osiach jezdni [°]</p>	[51, 52]	Określa liczbę wypadków w ciągu roku na obwodni ronda przy wlocie
9.	$A = 0,0057 Q_e^{1,7} \exp(20 C_e - 0,1 e)$ <p>Q<sub>e</sub> – natężenie ruchu na wlocie [1000 P/dobę]</p>	[51, 52]	Określa liczbę wypadków w

	<p><math>C_e</math> – krzywizna wlotu – <math>1/R_e</math> [1/m]  <math>R_e</math> – promień toru ruchu pojazdów na wlocie po najkrótszej ścieżce przejazdu [m]  <math>e</math> – szerokość wlotu [m]  <math>R</math> – stosunek średnicy zewnętrznej ronda do średnicy wyspy centralnej</p>		<p>ciągu roku na dojeździe lub wlocie czterowłotowych rond</p>
10.	$A = 0,029 Q_{ep}^{0,5}$ <p><math>Q_{ep} = (Q_e + Q_{ex}) \cdot Q_p</math>  <math>Q_e</math> – natężenie ruchu na wlocie ronda [1000 P/dobę]  <math>Q_{ex}</math> – natężenie ruchu na wylocie ronda [1000 P/dobę]  <math>Q_p</math> – natężenie pieszych na przejściu dla pieszych [1000 os./dobę]</p>	[51, 52]	<p>Określa liczbę wypadków z pieszymi w roku na dojeździe lub wlocie czterowłotowych rond</p>
11.	$Y = 0,4949 - 0,0612 \cdot (RW) + 0,0022(RW)^2$ <p><math>RW</math> – szerokość mostu pomniejszona o szerokość jezdni przed mostem [m]</p>	[91]	<p>Określa liczbę kolizji na milion poj. na obiektach mostowych  <math>R^2=0,81</math></p>
12.	$A = 0,0019 ADT^{0,8824} (0,8786)^W (0,9192)^{PA} (0,9316)^{UP} (1,2365)^H (1,3221)^{TER2}$ <p><math>ADT</math> – średniodobowe natężenie ruchu w obu kierunkach [P/dobę]  <math>W</math> – szerokość pasa ruchu [m]  <math>PA</math> – szerokość pobocza utwardzonego [m]  <math>UP</math> – szerokość nieutwardzonego pobocza [m]  <math>H</math> – uwzględnia rodzaj zagospodarowania pasa rozdziału  <math>TER2</math> – uwzględnia rodzaj terenu</p>	[54]	<p>Określa liczbę zdarzeń na dwujezdniowych drogach zamiejskich w ciągu roku</p>
13.	$A = (1,55 \cdot L \cdot V + 0,014 \cdot D \cdot V - 0,012 \cdot S \cdot V) \cdot 0,978^{(W-30)}$ <p><math>L</math> - długość krzywej [mile]  <math>V</math> – natężenie ruchu w milionach pojazdów w ciągu 5 lat w obu kierunkach [1mln P/5lat]  <math>D</math> - stopień krzywizny [°]  <math>S</math> – zmienna określająca sposób połączenie krzywej z prostą  <math>W</math> – szerokość jezdni na krzywej [m]</p>	[54]	<p>Określa liczbę zdarzeń na krzywej w ciągu 5 lat  <math>R^2=0,35</math></p>
14.	$WK = 10^{0,0006062 \Delta V^2 - 0,006675 \Delta V + 2,23}$ <p><math>\Delta V</math> – różnica prędkości względem prędkości średniej [km/h]</p>	[70]	<p>Określa liczbę zdarzeń na zamiejskich drogach ekspresowych przypadających na <math>10^5</math> pojazdokilometrów</p>



15.	$W = 5,663 * Q^{0,748} L^{0,847} V_{sr}^{-2,492} P V^{0,114} e^{0,038 LSK - 0,056 B_j + 0,023 V_{dop}}$ <p>Q – dobowe natężenie ruchu [P/dobę]  L – długość odcinka drogi [km]  V<sub>sr</sub> – średnia prędkość [km/h]  PV – procentowy udział kierowców przekraczających prędkość dopuszczalną [%]  LSK – liczba skrzyżowań w analizowanej sekcji dróg  B<sub>j</sub> – szerokość jezdni [m]  V<sub>dop</sub> – dopuszczalna prędkość [km/h]</p>	[8]	Określa liczbę wypadków w ciągu roku na odcinku drogi o długości 1 km
16.	$W = k_1 \cdot V_{sr}^\alpha \cdot e^{\beta \cdot CV}$ <p>k<sub>1</sub> – współczynnik zależny od miejsca, długości odcinka, natężenia ruchu itp.  V<sub>sr</sub> – średnia prędkość [km/h]  CV – współczynnik zmienności prędkości  α – stała, wg badań wykonanych na ulicach miast angielskich = 2,25  β – stała, wg badań wykonanych na ulicach miast angielskich = 5,89</p>	[5]	Określa liczbę wypadków na odcinkach dróg miejskich w ciągu jednego roku
17.	$W_s = 0,143V_{dM} + 0,028V_{dEx} - 7,47$ <p>V<sub>dM</sub> – limit prędkości na terenach zabudowy [km/h]  V<sub>dEx</sub> – limit prędkości na drogach ekspresowych [km/h]</p>	[25]	Określa wskaźnik liczby ofiar śmiertelnych na 10 <sup>8</sup> pojazdokilometrów na drogach ekspresowych
18.	$A = 0,0045(q_r Q)^{0,5} + 0,0075(q_l Q)^{0,5}$ <p>Q – natężenie ruchu na skrzyżowaniu typu T [P/dobę]  q<sub>r</sub> – sumaryczne natężenie ruchu relacji prawoskrętu z drogi głównej i lewoskrętu w drogę główną [P/dobę]  q<sub>l</sub> – sumaryczne natężenie ruchu relacji lewoskrętu z drogi głównej i prawoskrętu w drogę główną [P/dobę]</p>	[19]	Określa liczbę wypadków na skrzyżowaniach typu T w Anglii i Walii w ciągu roku
19.	$AF = (5,978 \cdot 10^{-7}) \cdot (V^{1,573} e^{4,427 Cv}) \cdot (Q^{0,543} Pt^{0,304} Pm^{0,084}) \cdot (e^{0,059 NJ - 2,877 Pk}) \cdot (e^{0,510 L + 0,323 B + 5,871 Ps})$ <p>V – prędkość średnia [km/h]  <math>Cv = \frac{\sigma}{V}</math>; σ - odchylenie standardowe prędkości [km/h]  Q – średnioroczny dobowy ruch [P/dobę]  Pt – dobowy ruch pieszy w poprzek drogi głównej [os./dobę]  Pm – dobowy ruch pieszy w poprzek drogi podrzędnej [os./dobę]</p>	[9]	Określa liczbę wypadków na sieci ulic miejskich w Anglii w ciągu roku

	<p>NJ – liczba skrzyżowań z drogami podrzędnymi                  Pk – udział ulic z zatokami postojowymi                  L – zmienna uwzględniająca położenie analizowanego obszaru;                  2 jeżeli analizowany obszar zlokalizowany jest w Londynie, w przeciwnym przypadku = 1                  B – zmienna uwzględniająca charakter analizowanego elementu;                  1 jeżeli analizy dotyczą drogi, w przeciwnym przypadku = 0                  Ps – udział pojazdów użyteczności publicznej w ruchu drogowym [%]</p>		
20.	$A = 0,014V^{1,13}P^{0,53}$ <p>V – średnioroczne dobowe natężenie ruchu pojazdów łącznie na skrzyżowaniu [P/dobę]                  P – natężenie ruchu pieszych na skrzyżowaniu w godzinach 7.00 - 19.00 [os./dobę]</p>	[32]	Określa liczbę wypadków z pieszymi na 4-włotowych skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną w ciągu roku
21.	$A = 0,043V^{0,737}P^{0,543}$ <p>V – średnioroczne dobowe natężenie ruchu pojazdów łącznie na skrzyżowaniu [P/dobę]                  P – natężenie ruchu pieszych na skrzyżowaniu w godzinach 7.00 - 19.00 [os./dobę]</p>	[87]	Określa liczbę wypadków z pieszymi na 3-włotowych skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną w ciągu roku
22.	$AR_{cyclist} = 0,0494Q_{motorv}^{0,52}Q_{cyclist}^{-0,35}$ <p><math>Q_{motorv}</math> – średniodobowe natężenie ruchu pojazdów łącznie na skrzyżowaniu [P/dobę]  <math>Q_{cyclist}</math> – średniodobowe natężenie ruchu rowerzystów łącznie na skrzyżowaniu [row./dobę]</p>	[14]	Określa liczbę zdarzeń z rowerzystami na skrzyżowaniach miejskich w Szwecji na 1 milion rowerzystów
23.	$AR_{cyclist} = 0,0000180Q_{motorv}^{0,52}Q_{cyclist}^{0,65}$ <p><math>Q_{motorv}</math> – średniodobowe natężenie ruchu pojazdów łącznie na skrzyżowaniu [P/dobę]  <math>Q_{cyclist}</math> – średniodobowe natężenie ruchu rowerzystów łącznie na skrzyżowaniu [row./dobę]</p>	[15]	Określa liczbę zdarzeń z rowerzystami na rondach miejskich w Szwecji na 1 milion rowerzystów
24.	$Acc = a \cdot (I_P + I_S)^b \cdot \left( \frac{I_S}{(I_P + I_S)} \right)^c$ <p><math>I_P</math> – natężenia ruchu pojazdów na drodze głównej [P/dobę]</p>	[16]	Określa liczbę zdarzeń na skrzyżowaniach miejskich w ciągu roku

	<p><math>I_S</math> – natężenia ruchu pojazdów na drodze podrzędnej [P/dobę]</p> <p>a, b, c – współczynniki uzależnione od liczby wlotów, rodzaju organizacji ruchu oraz prędkości na jezdniach np.:</p> <p>skrzyżowania 3-wlotowe w Szwecji (limit prędkości – 50km/h):  <math>a = 0,000000450</math>; <math>b = 1,45</math>; <math>c = 0,50</math></p> <p>skrzyżowania 3-wlotowe w Danii (limit prędkości – 50km/h):  <math>a = 0,00000298</math>; <math>b = 0,81</math>; <math>c = 0,52</math></p>		
25.	$PEDCNF = 1,307 PDVHEN^{0,500} EXP(-0,028MJSA)$ <p>PDVHEN – sumaryczne natężenia ruchu pojazdów wjeżdżających i opuszczających skrzyżowanie na wszystkich wlotach i natężenie ruchu pieszych na przejściach</p> <p>MJSA – średnia prędkość pojazdów swobodnych na drodze głównej [km/h]</p>	[50]	Określa całkowitą liczbę zdarzeń z pieszymi na czterowlotowych skrzyżowaniach w Szwecji
26.	$Y = e^{-5,073} (X_1)^{0,635} (X_2)^{0,294} \exp(-0,969X_3) \exp(-0,518X_4) (X_5)^{-0,091} \exp(0,340X_6) \exp(0,087X_7) \exp(-0,331X_8) \exp(-0,175X_9)$ <p><math>X_1</math> – średniodobowe natężenie ruchu pojazdów na dr. głównej [P/dobę]</p> <p><math>X_2</math> – średniodobowe natężenie ruchu pojazdów na dr. podrzędnej [P/dobę]</p> <p><math>X_3</math> – zmienna uwzględniająca obecność na skrzyżowaniu lewoskrętów; przyjmuje wartość równą 1 jeżeli zakazany jest lewoskręt na którymś z wlotów drogi głównej oraz 0 w przeciwnym przypadku</p> <p><math>X_4</math> – zmienna uwzględniająca dostępność przyległego terenu do wlotu; przyjmuje wartość równą 1 jeżeli jest pełne ograniczenie dostępności oraz 0 w przeciwnym przypadku</p> <p><math>X_5</math> – średnia szerokość jezdni na wlocie głównym [m]</p> <p><math>X_6</math> – zmienna uwzględniająca liczbę pasów ruchu na wprost na skrzyżowaniu; przyjmuje 1 jeżeli droga główna posiada trzy lub mniej przełotowych pasów ruchu w obu kierunkach oraz 0 w przeciwnym przypadku</p> <p><math>X_7</math> – zmienna uwzględniająca liczbę pasów ruchu na wprost na skrzyżowaniu; przyjmuje wartość 1 jeżeli droga główna posiada 4 lub 5 przełotowych pasów ruchu w obu kierunkach oraz 0 w przeciwnym przypadku</p> <p><math>X_8</math> – zmienna uwzględniająca kanalizację ruchu dla relacji prawoskrętnych; przyjmuje wartość równą 1 jeżeli brak jest kanalizacji ruchu dla pasów w prawo oraz 0 w przeciwnym przypadku</p> <p><math>X_9</math> – zmienna uwzględniająca obecność oświetlenia na skrzyżowaniu;</p>	[33]	Określa liczbę zdarzeń na skrzyżowaniach 4 - wlotowych w obszarach miejskich z wlotami podporządkowanymi znakiem STOP w ciągu 3 lat

	przyjmuje wartość 1 jeżeli brak jest oświetlenia oraz 0 w przeciwnym przypadku		
27.	$N_{bi} = \exp(-11,28 + 0,79 \ln ADT_1 + 0,49 \ln ADT_2 + 0,19RHRI + 0,28RT)$ <p>ADT<sub>1</sub> – średniodobowe natężenie ruchu pojazdów na drodze głównej [P/dobę]  ADT<sub>2</sub> – średniodobowe natężenie ruchu pojazdów na drodze podrzędnej [P/dobę]  RHRI – zmienna określająca rodzaj pobocza, przyjmuje wartość od 1 do 7 w zależności od rodzaju pobocza drogi  RT – zmienna uwzględniająca obecność na wlocie wydzielonych pasów dla prawoskrętów; przyjmuje wartość równą 1 jeżeli na drodze głównej występują pasy dla prawoskrętów oraz 0 w przeciwnym przypadku</p>	[96, 97]	Określa liczbę zdarzeń w ciągu roku na trzywlotowych drogowych skrzyżowaniach z wlotami podporządkowanymi znakiem STOP (Minnesota)
28.	$Y = \exp(-12,504 + 0,8872Llen + 0,6675Ladt - 0,11Lp)$ <p>Llen – log(1000 * L)  L – długość odcinka w milach  Ladt = log (AADT)  Lp – szerokość jezdni [m]  AADT – średnioroczne dobowe natężenie ruchu pojazdów [P/dobę]</p>	[31]	Określa liczbę zdarzeń na dwujezdniowych ulicach miejskich w okresie 4 lat
29.	$N = 0,000783(V_m)^{0,455}(V_c)^{0,633}$ <p>V<sub>m</sub> – średniodobowe natężenie ruchu na drodze głównej [P/dobę]  V<sub>c</sub> – średniodobowe natężenie ruchu na drodze podrzędnej [P/dobę]</p>	[95]	Określa liczbę zdarzeń drogowych na skrzyżowaniach miejskich w roku (McDonald – 1966)
30.	$W = 0,4 \cdot 10^{-5} X_1^2 + 0,5 \cdot 10^{-5} X_2^2 + 0,3 \cdot 10^{-5} X_3^2 + 0,033X_4 - 0,022X_6 + 0,055X_{10} + 0,581X_{11} - 4,36$ <p>X<sub>1</sub> – natężenie ruchu na wlocie [P/h]  X<sub>2</sub> – natężenie ruchu w prawo [P/h]  X<sub>3</sub> – natężenie ruchu na skrzyżowaniu [P/h]  X<sub>4</sub> – kąt zwrotu wlotu [°]  X<sub>6</sub> – widoczność przy dojeździe [m]  X<sub>10</sub> – długość skrzyżowania [m]  X<sub>11</sub> – pochylenie podłużne wlotu [%]</p>	[73]	Określa liczbę zdarzeń w roku na wlocie i w płaszczyźnie kolizji skrzyżowania o ruchu okrężnym
31.	$W = aX_1 + 0,019X_2$	[72]	Określa liczbę zdarzeń w roku na odcinku pomiędzy

$X_1$ – natężenie ruchu pojazdów [P/dobę] $X_2$ – natężenie ruchu tramwajowego [t/h] $a$ – zmienna określająca sposób trasowania torów tramwajowych przez skrzyżowanie: przy symetrycznie usytuowanym torowisku tramwajowym: $a=0,0007$ ; przy niecentralnie usytuowanym torowisku tramwajowym: $a=0,0016$	wlotami na skrzyżowaniu o ruchu okrężnym
Oznaczenia: $R^2$ – współczynnik determinacji	

### 2.3 KIERUNKI ROZWOJU METOD OCENY I MODELI ZAGROŻENIA W RUCHU DROGOWYM

Pierwsze analizy związane z zagrożeniem w ruchu drogowym powstały równocześnie z pojawieniem się pierwszego pojazdu i zarazem pierwszej kolizji drogowej. Kolizja ta wydarzyła się w 1769 roku i była związana z pokazowym przejazdem parowego pojazdu N. J. Cugnota ulicami Paryża. Analizy przyczyny najechania na kamienną ścianę doprowadziły do korekty konstrukcji układu kierowniczego [100].

Jednak systematyczne podejście do problemu zagrożenia w ruchu drogowym nastąpiło na przełomie lat 40. XX wieku.

Rozwój metod oceny i modeli zagrożenia nierozzerwalnie związany jest z możliwościami technicznymi, jakie niesie ze sobą rozwój cywilizacyjny, a przede wszystkim z możliwościami przechowywania, gromadzenia i analiz danych o zdarzeniach drogowych. Nie może dziwić fakt, iż pierwsze modele opisujące zagrożenie w ruchu drogowym określały tylko liczbę ofiar śmiertelnych i to w ujęciu makro (patrz wzór 2.13). Przede wszystkim brakowało odpowiednich baz danych, które by umożliwiły analitykom badanie wszystkich czynników mających wpływ na zdarzenie drogowe oraz badanie wszystkich zdarzeń drogowych, a nie tylko tych z ofiarami śmiertelnymi. W miarę rozwoju techniki, a szczególnie komputeryzacji, następował również rozwój modeli i tym samym metod oceny zagrożenia w ruchu drogowym. Widać to chociażby w najprostszej metodzie – tzw. koncentracji wypadków, która doczekała się „wersji komputerowej”.

Aktualnie przy poszukiwaniu modeli zagrożenia w ruchu drogowym zaczęto uwzględniać coraz więcej czynników związanych ze środowiskiem drogi, które mają wpływ na powstawanie zdarzeń drogowych. Zasadniczy kierunek rozwoju wyznaczają dzisiaj modele, które ujmują zagadnienie zagrożenia w ruchu drogowym w sposób kom-

plementarny, tak jak np. modele opracowane w Stanach Zjednoczonych, bazujące na wskaźnikach modyfikacji wypadków AMF.

W metodach z kolei najbardziej istotny jest rozwój metod oparty na systemach komputerowych, co wynika z:

- a) możliwości gromadzenia i przetwarzania ogromnej liczby danych,
- b) bardzo szybkiej i dokładnej realizacji analiz,
- c) automatyzacji analiz,
- d) dowolnej wizualizacji wyników analiz.

Przykładem takiego systemu jest między innymi system WZDR opracowany w Katedrze Budownictwa Drogowego ATR w Bydgoszczy.

Do prawidłowej budowy komplementarnych modeli i metod zagrożenia w ruchu drogowym niezbędne jest dysponowanie dokładnymi danymi opisującymi zarówno same zdarzenia drogowe, jak i cechy środowiska drogi, w którym te zdarzenia mają miejsce. Szczególnego znaczenia nabiera więc odpowiednia wiarygodność danych, a zwłaszcza dokładne umiejscowienie zdarzenia drogowego. W tym celu trwają prace nad wykorzystaniem do lokalizacji zdarzeń drogowych techniki GPS. Takie prace pilotażowe obecnie w Polsce realizuje Katedra Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej wspólnie z Katedrą Geodezji Satelitarnej i Nawigacji Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego [89] oraz Akademią Techniczno-Rolniczą w Bydgoszczy.

### 3. OPIS SYSTEMU WZDR

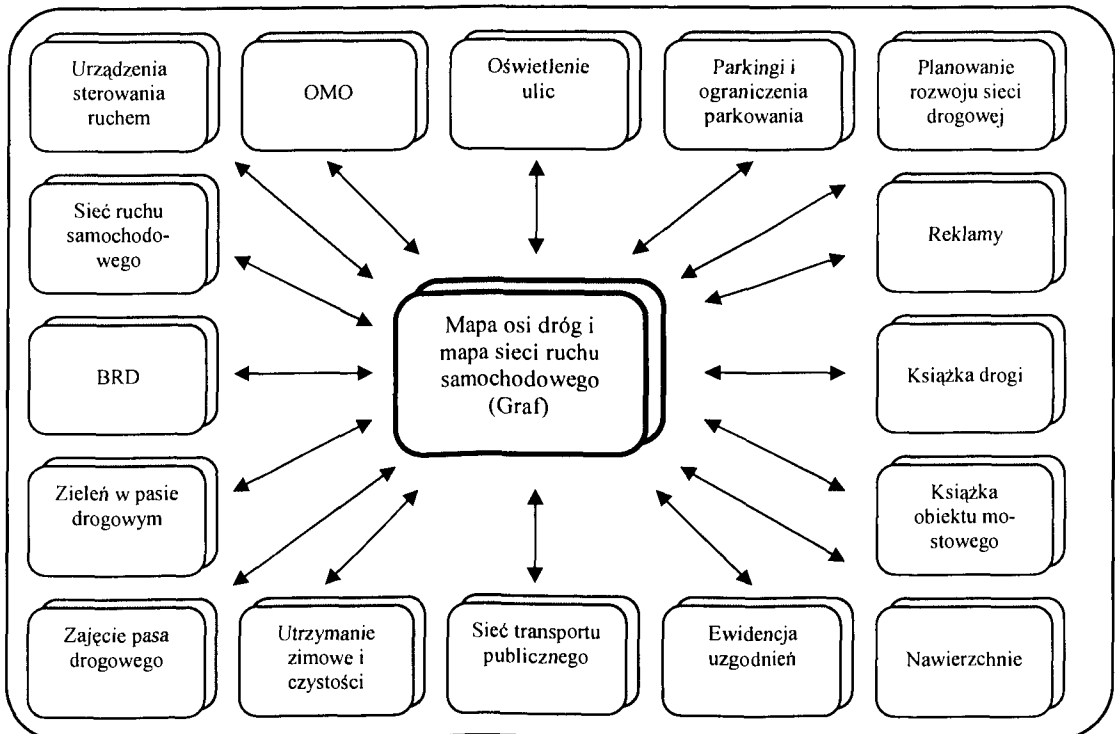
#### 3.1 OGÓLNA KONSTRUKCJA SYSTEMU

System WZDR został zbudowany na bazie następującego oprogramowania środowiskowego [72, 78, 84]:

- a) MicroStation J/V8 – program firmy Bentley Systems do tworzenia graficznej bazy danych,
- b) Oracle – program do obsługi relatywnej bazy danych,
- c) Windows P/2003 – środowisko pracy wszystkich aplikacji,
- d) Microsoft Office – pakiet biurowy wykorzystywany do tworzenia raportów wyników analiz.

W zakres oprogramowania systemu wchodzi, obok programów środowiskowych, także tematyczne aplikacje i biblioteki WZDR do tworzenia graficzno-opisowej bazy danych i analiz danych, opracowanych przez autorów systemu [76]. W skład tych aplikacji wchodzi również aplikacja będąca przedmiotem niniejszej rozprawy, służąca do prognozowania liczby zdarzeń drogowych na elementach sieci ulic.

System WZDR składa się z 16 podsystemów (rys. 3.1). Każdy z podsystemów tworzy pewną całość i dotyczy ściśle wybranego zagadnienia związanego z zarządzaniem siecią uliczną lub siecią dróg (patrz rys. 3.1).



Rys. 3.1. Ogólny schemat konstrukcji informatycznego systemu WZDR

Poszczególne podsystemy tematyczne są ze sobą powiązane poprzez mapę sieci ruchu samochodowego, co umożliwia wzajemną współpracę oraz pełną wymianę informacji między pojedynczymi podsystemami. Dzięki temu na poszczególnych etapach analiz możliwe jest pozyskanie pełnej informacji o sieci oraz o ruchu drogowym [74].

Podstawowym elementem systemu jest model sieci drogowej, będący matematycznym opisem sieci dróg i ulic analizowanego obszaru. Sieć drogowo-uliczna SDU reprezentowana jest w modelu przez graf skierowany (patrz rys. 3.2) zdefiniowany jako [23, 42, 47, 101]:

$$SDU = (G, \{f_i\}, \{h_j\}) \quad (3.1)$$

gdzie:

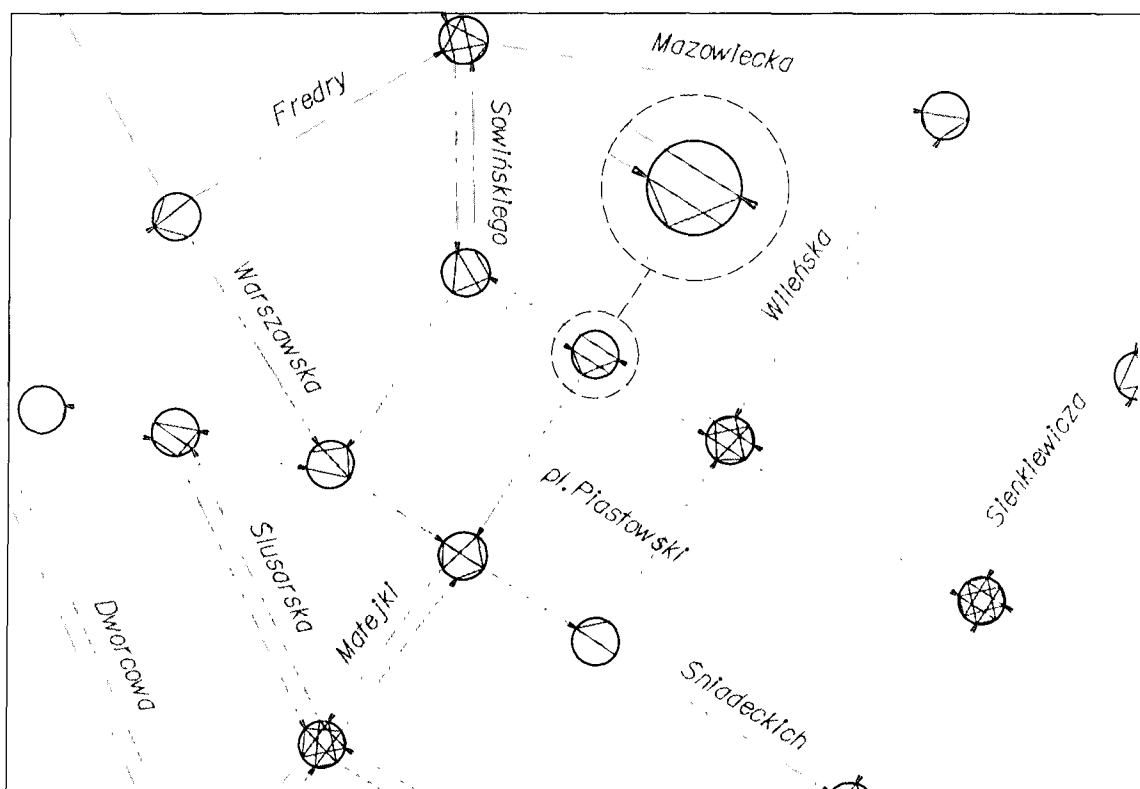
$G=(N,L)$  – graf skierowany,

$N$  – niepusty, skończony zbiór wierzchołków (węzłów),

$L$  – niepusty zbiór uporządkowanych wierzchołków, zwanych łukami (odcinkami międzywęzłowymi) grafu,

$\{f_i\}$  – rodzina elementów  $f_i$  charakteryzujących wierzchołki ze zbioru  $N$ ,

$\{h_j\}$  – rodzina elementów  $h_j$  charakteryzujących łuki ze zbioru  $L$ .



Rys. 3.2. Fragment grafu sieci ulicznej miasta Bydgoszczy [11]



Każdy element zbioru N opisany jest poprzez zbiór  $\{f_i\}$  określający jego cechy. Należą do nich między innymi:

- a) opis numeru węzła WNo,
- b) opis współrzędnych ortogonalnych WSP\_X i WSP\_Y lokalizacji węzła w lokalnym układzie współrzędnych analizowanego obszaru,
- c) opis nazwy węzła WN,
- d) wartość promienia skrętu w prawo  $R_P = \{r_1, r_2, r_3, r_4\}$ , gdzie poszczególne  $r_i \in R$ ,
- e) wartość promienia skrętu w lewo  $R_L = \{r_1, r_2, r_3, r_4\}$ , gdzie poszczególne  $r_i \in R$ ,
- f) wartość pochylenia podłużnego poszczególnych wlotów,
- g) wartości natężeń poszczególnych relacji ruchu,
- h) wartość powierzchni kolizji,
- i) szerokości wlotów oraz pasów ruchu,
- j) wartości kątów przecięć poszczególnych jezdni na skrzyżowaniach,
- k) liczba punktów kolizji.

Analogicznie każdy element zbioru L opisany jest poprzez zbiór  $\{h_j\}$  określający jego cechy. Należą do nich między innymi:

- a) opis numeru łuku ONo,
- b) nazwa łuku ON,
- c) numer wierzchołka początkowego OWo,
- d) numer wierzchołka końcowego OWk,
- e) długość łuku L,
- f) wartość natężeń ruchu kołowego,
- g) wartości szerokości pasów ruchu,
- h) pochylenie podłużne ulicy.

Zastosowanie powyższej konstrukcji umożliwia w dowolny sposób scalanie lub grupowanie danych, np.:

- a) oddzielnie do każdej drogi,
- b) w odniesieniu do wybranych odcinków charakteryzujących się określoną zmienną, np. szerokość jezdni 5,0 m,
- c) w odniesieniu do określonego typu skrzyżowania,
- d) w odniesieniu do określonego typu segmentu skrzyżowania.

Każdy podsystem składa się z trzech zasadniczych bloków:

- a) zbierania i aktualizacji danych,
- b) bazy danych,
- c) analiz danych.

Blok zbierania i aktualizacji danych obejmuje pozyskiwanie, gromadzenie oraz aktualizowanie danych. Blok bazy danych obejmuje przechowywanie zebranych informacji. Natomiast blok analizy danych obejmuje przetwarzanie zgromadzonych informacji i różne analizy istotne z punktu widzenia zarządzania drogami i ruchem drogowym.

## **3.2 PODSYSTEM BRD**

### **Blok zbierania i aktualizacji danych**

Podstawowym źródłem informacji o zdarzeniach drogowych w systemie WZDR-BRD są dokumentacje zdarzeń drogowych (łącznie z dokumentacją fotograficzną, filmową, szkicem itp.) prowadzone przez Policję oraz zakłady ubezpieczeń na terenie objętym systemem. Informacje o zdarzeniach drogowych są przygotowywane w zakładach ubezpieczeń na odpowiednim formularzu, tzw. zgłoszenia szkody [61], a w przypadku Policji - na karcie zdarzenia drogowego [41, 68].

### **Blok bazy danych**

Blok bazy danych podsystemu WZDR-BRD składa się z trzech grup elementów:

- a) graficznych (numeryczne mapy zdarzeń drogowych),
- b) opisowych (tabele zawierające szczegółowy opis zdarzenia),
- c) pomocniczych – katalogi oraz aplikacje ułatwiające wprowadzanie i przeglądanie danych.

Mapa zdarzeń drogowych danego roku (patrz rys. 3.3) wykonana jest na bazie mapy sytuacyjnej o dokładności skali 1:500. Przedstawione są na niej, za pomocą odpowiednio przyjętych oznaczeń, wszystkie zdarzenia drogowe, które miały miejsce w danym obszarze w ciągu danego roku.



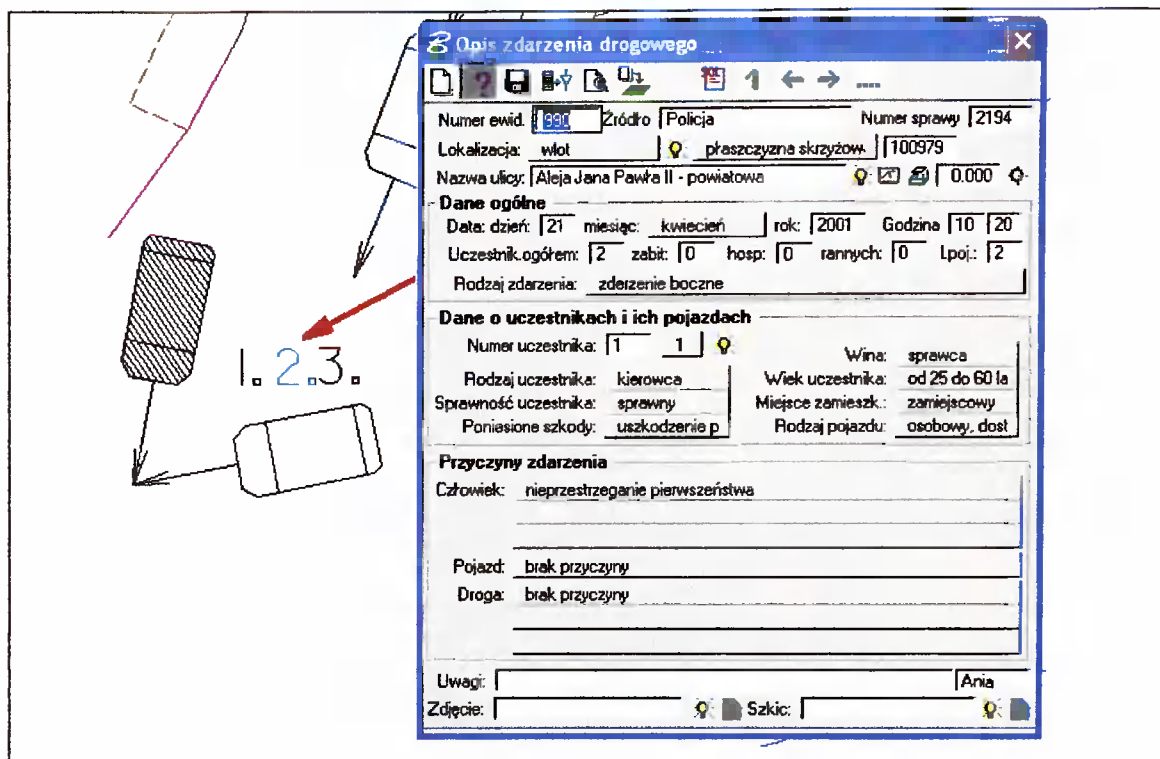
Rys. 3.3. Przykładowe mapy zdarzeń drogowych [11]

Poszczególne symbole obrazujące zdarzenie drogowe przedstawiają [85]:

- a) rodzaj pojazdu, ewentualnie uczestnika zdarzenia,
- b) rodzaj zdarzenia drogowego,
- c) skutki zdarzenia,
- d) sprawców zdarzenia.

Każda liczba zapisana przy określonym typie zdarzenia określa pojedyncze zdarzenie i jest zarazem łącznikiem graficznej mapy zdarzeń drogowych z bazą opisową [77].

Na rysunku 3.4 przedstawiono przykładowy fragment mapy zdarzeń drogowych wraz z fragmentem opisu konkretnego zdarzenia drogowego [11].



Rys. 3.4. Fragment mapy zdarzeń drogowych wraz z fragmentem opisu wybranego zdarzenia drogowego

W celu ułatwienia tworzenia mapy zdarzeń drogowych opracowano katalog zdarzeń drogowych oraz specjalne aplikacje programowe ułatwiające wprowadzanie danych do bazy.

Omawiana baza umożliwia pełen przegląd informacji w niej zawartych. Pozwala dokonywać, poprzez różnego rodzaju kryteria zadane przez osobę pracującą z bazą, segregacji danych o zdarzeniach mających miejsce w określonym punkcie miasta, w określonym czasie, pozwala szybko lokalizować zdarzenia określonego typu lub z określonym skutkiem (kolizje, wypadki drogowe, wypadki z osobami śmiertelnymi itp.).

### Blok analiz danych

Zgromadzone w podsystemie dane dotyczące zdarzeń drogowych stanowią podstawę analiz zagrożenia w ruchu drogowym, które można podzielić na pięć grup:

- ogólna ocena zagrożenia na sieci drogowej,
- ocena zagrożenia w ruchu drogowym w poszczególnych rejonach komunikacyjnych miasta,
- szczegółowa ocena stanu zagrożenia na poszczególnych elementach sieci drogowej,
- wybór miejsc szczególnie niebezpiecznych na sieci drogowej,

e) ocena efektywności podjętych działań w zakresie poprawy brd.

Szczegółowe charakterystyki zagrożenia w ruchu drogowym odniesione są do poszczególnych elementów sieci drogowej. Do oceny tego zagrożenia wykorzystywane są między innymi następujące wskaźniki [75]:

- a) względnej liczby zdarzeń drogowych,
- b) liczby ekwiwalentnych zdarzeń,
- c) ciężkości zdarzeń,
- d) koncentracji zdarzeń drogowych,
- e) liczby zdarzeń drogowych z dziećmi,
- f) liczby zdarzeń drogowych z pieszymi,
- g) liczby zdarzeń drogowych z rowerzystami,
- h) zmian liczby ekwiwalentnych zdarzeń drogowych,
- i) zmian liczby wypadków,
- j) jednorodności zdarzeń drogowych,
- k) syntetyczny wskaźnik bezpieczeństwa ruchu drogowego  $W_i$  (patrz rozdz. 2.1, wzór (2.12)).

Ekwiwalentne zdarzenie drogowe określa kolizje o przeciętnych stratach materialnych. Dane zdarzenie przelicza się na liczbę ekwiwalentnych zdarzeń w sposób następujący:

$$x_i = \eta_{Z,i} \cdot q_Z + \eta_{H,i} \cdot q_H + \eta_{R,i} \cdot q_R + \eta_{P,i} \cdot q_P \quad [\text{ekw. zdarzeń}] \quad (3.2)$$

gdzie:

$\eta_{Z,i}, \eta_{H,i}, \eta_{R,i}, \eta_{P,i}$  – liczba odpowiednio: ofiar śmiertelnych, osób ciężko rannych, osób lekko rannych oraz liczba uszkodzonych pojazdów w wyniku zdarzenia,

$q_Z, q_H, q_R, q_P$  – wagi poszczególnych jednostkowych skutków zdarzeń drogowych: ofiary śmiertelnej ( $q_Z = 17,0$ ), osoby ciężko rannej ( $q_H = 6,0$ ), osoby lekko rannej ( $q_R = 2,5$ ), pojazdu uczestniczącego w danym zdarzeniu (w wypadku  $q_P = 0,75$ , w kolizji  $q_P = 0,50$ ); powyższe wagi wyrażają względny koszt poniesiony z tytułu wystąpienia określonych skutków zdarzenia drogowego w stosunku do kosztów przeciętnej kolizji dro-

gowej (ekwiwalentnego zdarzenia drogowego).

Ocenę efektywności działań modernizacyjnych na danej sieci drogowej wykonuje się na podstawie specjalnej procedury, opracowanej przez autorów systemu, umożliwiającej oszacowanie, przy danym poziomie ufności, stopnia zmian poziomu brd w danym miejscu sieci drogowej [75, 79, 81].

Ocena ta jest dokonywana w oparciu o tzw. wskaźnik zmian poziomu zagrożenia w ruchu drogowym  $WZ_i$  oraz wskaźnik efektywności ekonomicznej.

Wskaźnik zmian poziomu zagrożenia obliczamy według wzoru:

$$WZ_i = \frac{W_{i(t+1,t+2)}}{W_{i(t-1,t-2)}} \quad (3.3)$$

gdzie:

- $t$  – rok przebudowy lub okres przyjęty do analizy porównawczej,
- $W_{i(t+1,t+2)}$  – wskaźnik zagrożenia w ruchu drogowym na  $i$ -tym elemencie sieci drogowej obliczamy na podstawie danych o zdarzeniach drogowych z okresu co najmniej dwóch lat po przebudowie lub po okresie przyjętym do analizy porównawczej – patrz wzór (2.12),
- $W_{i(t-1,t-2)}$  – wskaźnik zagrożenia w ruchu drogowym na  $i$ -tym elemencie sieci drogowej obliczamy na podstawie danych o zdarzeniach drogowych z okresu co najmniej dwóch lat poprzedzających przebudowę lub okres przyjęty do analizy porównawczej – patrz wzór (2.12).

Natomiast wskaźnik efektywności ekonomicznej  $E$ , służący do oceny efektywności podjętych działań z ekonomicznego punktu widzenia, można obliczyć ze wzoru [72]:

$$E = \frac{k_k}{KM} \left( \frac{\overline{WB2_M}}{WB2_o} \cdot WB2_o - WB2_M \right) \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^i} \quad (3.4)$$

gdzie:

- $KM$  – koszty podjętych działań na analizowanym elemencie sieci [zł],
- $r$  – stopa procentowa (dyskontowa) [%],
- $n$  – liczba lat bilansu ekonomicznego (obliczanych korzyści) [lat],
- $k_k$  – przeciętny koszt kolizji drogowej (dwóch uszkodzonych w kolizji pojazdów) określony do cen roku obliczeniowego [zł],

$WB_{2O}, WB_{2M}$  – wartości wskaźnika liczby ekwiwalentnych zdarzeń drogowych na analizowanym elemencie sieci drogowej, odpowiednio przed rozpoczęciem działań i po ich zakończeniu  $\left[ \frac{\text{ekw.zdarzeń}}{\text{rok}} \right]$ ,

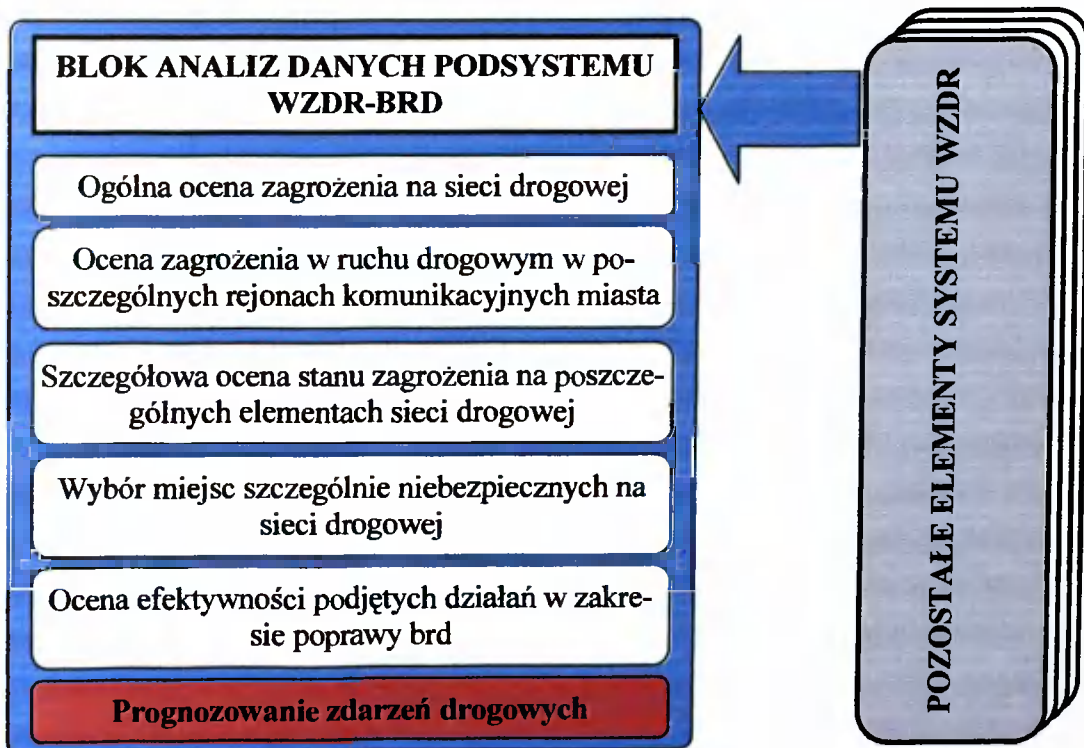
$\overline{WB}_{2O}, \overline{WB}_{2M}$  – średnie wartości wskaźnika liczby ekwiwalentnych zdarzeń drogowych na wszystkich elementach sieci drogowej danego analizowanego rodzaju (na skrzyżowaniu lub odcinkach międzywęzłowych), odpowiednio przed rozpoczęciem działań i po ich zakończeniu  $\left[ \frac{\text{ekw.zdarzeń}}{\text{rok}} \right]$ .

## 4. OGÓLNY OPIS METODY SZACOWANIA LICZBY ZDARZEŃ DROGOWYCH

### Istota metody

Przeznaczeniem przedstawionej w niniejszej rozprawie metody jest automatyczne (za pomocą odpowiednich aplikacji programowych) szacowanie zagrożenia w ruchu drogowym na dowolnym elemencie sieci drogowej miasta. Metoda ta ma między innymi stanowić odpowiednie narzędzie umożliwiające sprawdzanie poprawności rozwiązań projektowych pod względem poziomu zagrożenia w ruchu drogowym, co ma szczególne znaczenie w procesie audytu brd [58, 90].

Istotą metody, odróżniającej ją od wielu innych, jest oparcie jej konstrukcji o system GIS (Geographical Information System - definiowany jako „system wspomagania decyzji związanych z interaktywnym przetwarzaniem danych przestrzennych w celu rozwiązywania problemów”) [20]. W tym celu wykorzystano komplementarny system informatyczny WZDR (Wspomaganie Zarządzania Drogami i Ruchem Drogowym) i stworzony w tym systemie nowy moduł w bloku analiz, pod nazwą „Prognozowanie zdarzeń drogowych” – patrz rys. 4.1.



Oznaczenia:

 – moduł stanowiący przedmiot niniejszej pracy

Rys. 4.1. Schemat nowego bloku analiz podsystemu BRD



W proponowanej metodzie zagrożenie w ruchu drogowym obliczane jest na podstawie modeli liczby zdarzeń drogowych różnego rodzaju na poszczególnych jednorodnych, z punktu widzenia przebiegu procesu ruchu, segmentach skrzyżowań i odcinków międzywęzłowych sieci drogowej danego miasta.

Aby zapewnić adekwatność modeli do zmieniającego się z upływem lat stanu zagrożenia w ruchu drogowym w danym mieście, modele te są aktualizowane w systemie za pomocą odpowiedniej aplikacji programowej. Zmiany te wynikają między innymi z rozwoju motoryzacji, przebudowy elementów sieci drogowej, zmiany stosowanych środków organizacji ruchu, zmiany zachowań uczestników ruchu itp. Aktualizacja modeli polega na wykonaniu analizy regresji i korelacji w systemie WZDR, przy założeniu niezmiennych ogólnych postaci funkcji liczby zdarzeń drogowych danego rodzaju ostatnio opracowanych modeli dla analizowanego miasta. Podstawą wykonania analizy regresji i korelacji są dane o zdarzeniach drogowych z okresu ostatnich 5 lat oraz odpowiednie do tego okresu dane o cechach drogowo-ruchowych. Zbiór zmiennych niezależnych w modelach nie jest zamknięty. Można go powiększyć o dalsze zmienne, jeżeli oczywiście zajdzie taka potrzeba i jeżeli zostaną one wprowadzone do bazy danych.

Ideą metody jest również jej indywidualny charakter dla każdego miasta, w związku z opracowanymi oryginalnymi dla danego miasta modelami szacowania liczby zdarzeń drogowych. Zapewnia to uwzględnienie specyfiki danego miasta pod względem przebiegu ruchu i poziomu zagrożenia dla jego uczestników oraz większą dokładność analiz.

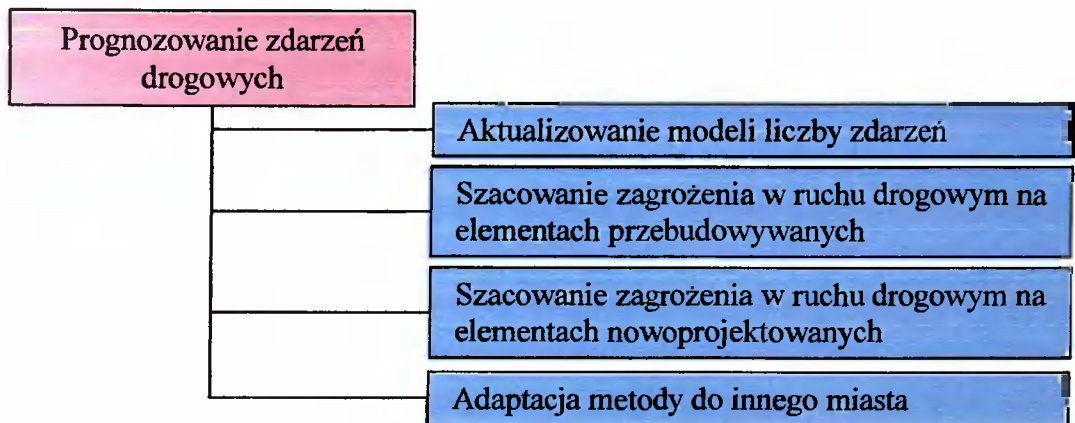
Opracowane nowe procedury w podsystemie BRD dają także możliwość stosunkowo prostej adaptacji modeli z jednego miasta do drugiego miasta. Procedura ta podobna jest do opisywanej wcześniej procedury uaktualniania modeli. Polega ona na automatycznym wykonaniu w systemie analiz regresji i korelacji przy wykorzystaniu ogólnych postaci funkcji poszczególnych modeli opracowanych dla miasta, których modele są adaptowane. W analizach tych wykorzystywane są historyczne dane o zdarzeniach drogowych w wybranym mieście (z okresu co najmniej 5 lat) oraz szczegółowe charakterystyki dotyczące infrastruktury drogowej i ruchu drogowego, zawarte w systemie WZDR dla tego miasta. Przy poszukiwaniu modeli możliwe jest uwzględnienie nowych zmiennych niezależnych, jeśli w analizie korelacji wpływ tych zmiennych na liczbę zdarzeń drogowych okaże się statystycznie istotny.

Poszczególne modele liczby zdarzeń drogowych dla pierwszego miasta, dla którego wdrażana jest metoda, to jest dla Bydgoszczy, zostały pierwotnie opracowane na podsta-

wie analizy regresji i korelacji za pomocą programu Statistica. Dzięki odpowiedniej aplikacji, opracowanej przez autora, bezpośrednio w systemie WZDR tworzony był plik wejściowy do tego programu, zawierający opis zmiennych zależnych i niezależnych, niezbędny do wykonania tych analiz.

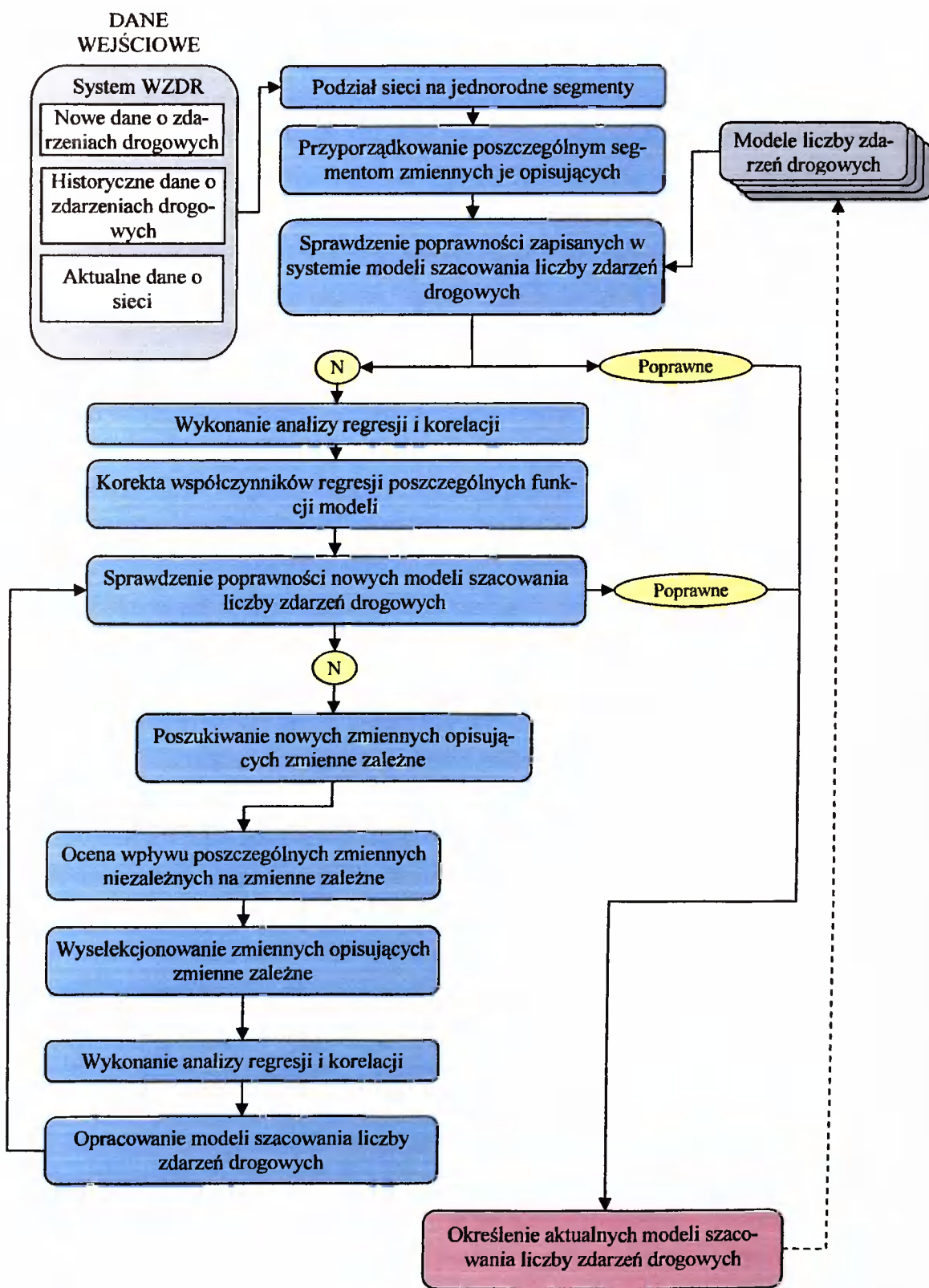
### Podstawowe elementy metody

Nowy moduł systemu WZDR „Prognozowanie zdarzeń drogowych” składa się z czterech ścieżek analiz – patrz rys. 4.2. Schematy tych ścieżek przedstawiono na rys. 4.3 ÷ 4.6.

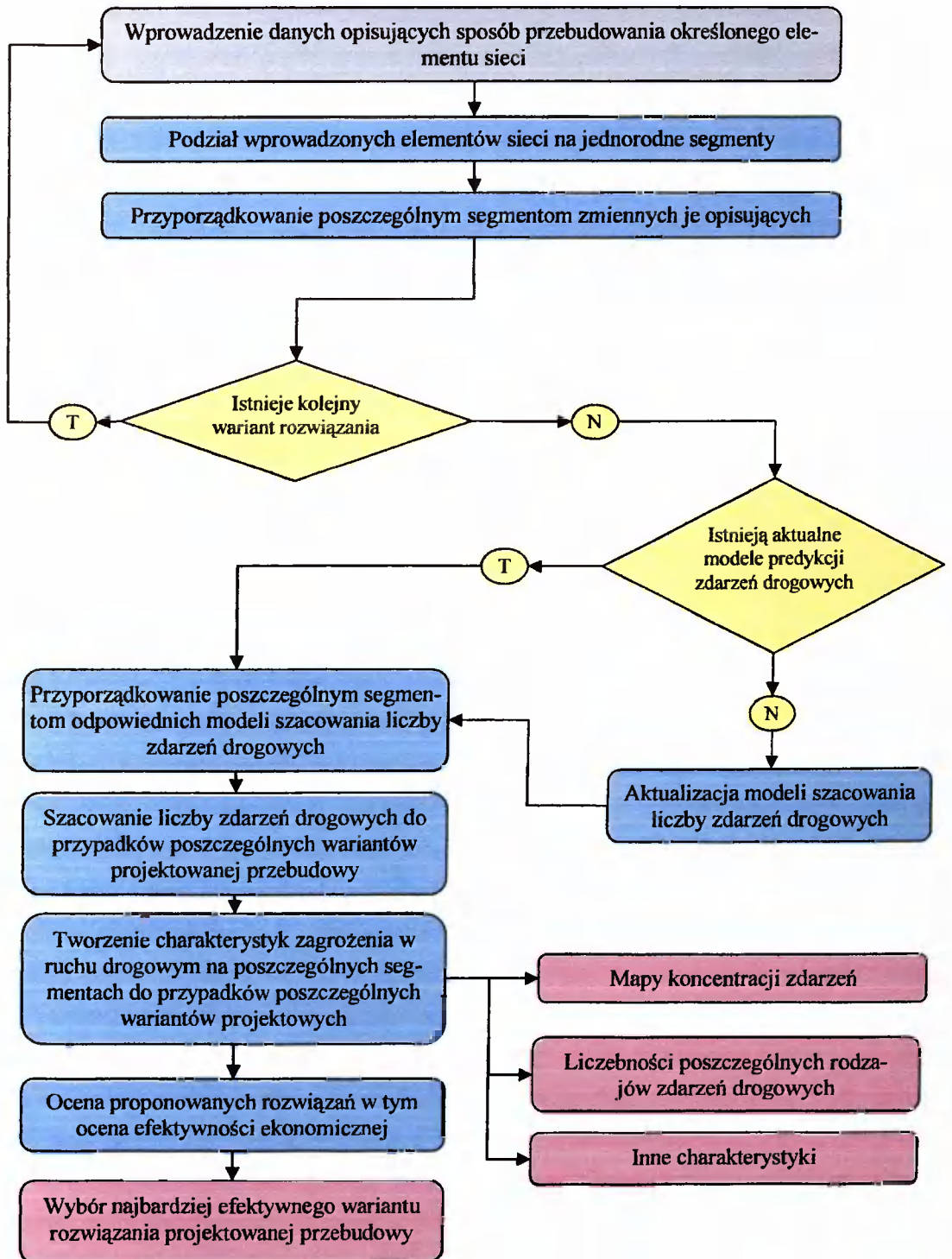


Rys. 4.2. Ścieżki analiz realizowane za pomocą nowego modułu systemu WZDR pod nazwą „Prognozowanie zdarzeń drogowych”

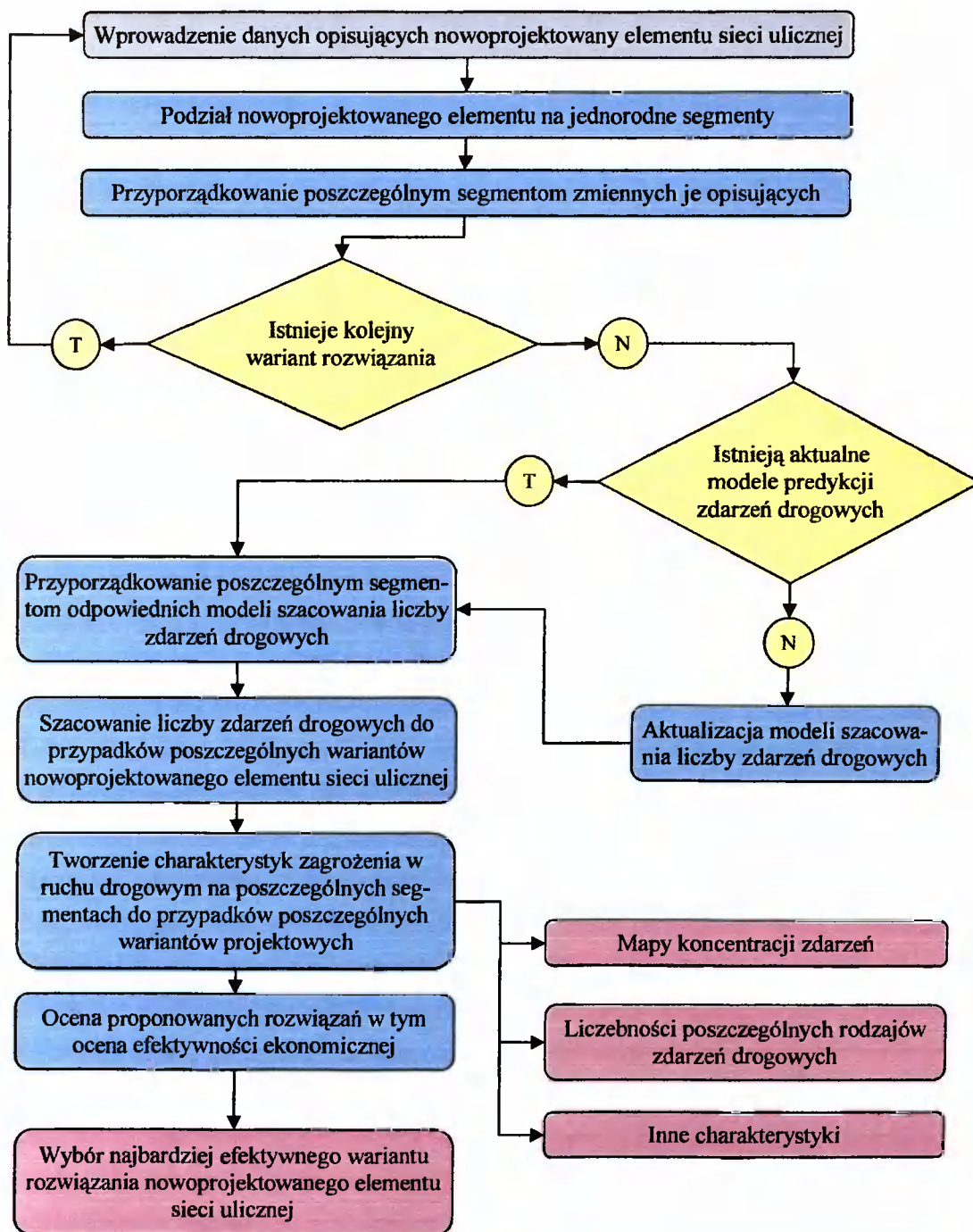
W przyszłości przewiduje się, żeby moduł „Prognozowanie zdarzeń drogowych” rozbudować o następną ścieżkę analiz, której zadaniem byłoby prognozowanie zagrożenia w ruchu drogowym na poszczególnych elementach sieci drogowej miasta na lata przyszłe. Prognozy dotyczące liczby zdarzeń drogowych będą wykonywane za pomocą szeregów czasowych. Natomiast prognozy wartości natężeń ruchu będą realizowane przy wykorzystaniu programów komputerowych służących do tworzenia macierzy i rozkładu ruchu na sieć uliczną, tj.: Visem PTV [63], Visum PTV [62]. Pliki wejściowe do powyższych programów zostały już opracowane dla miasta Bydgoszczy i Torunia [82, 83].



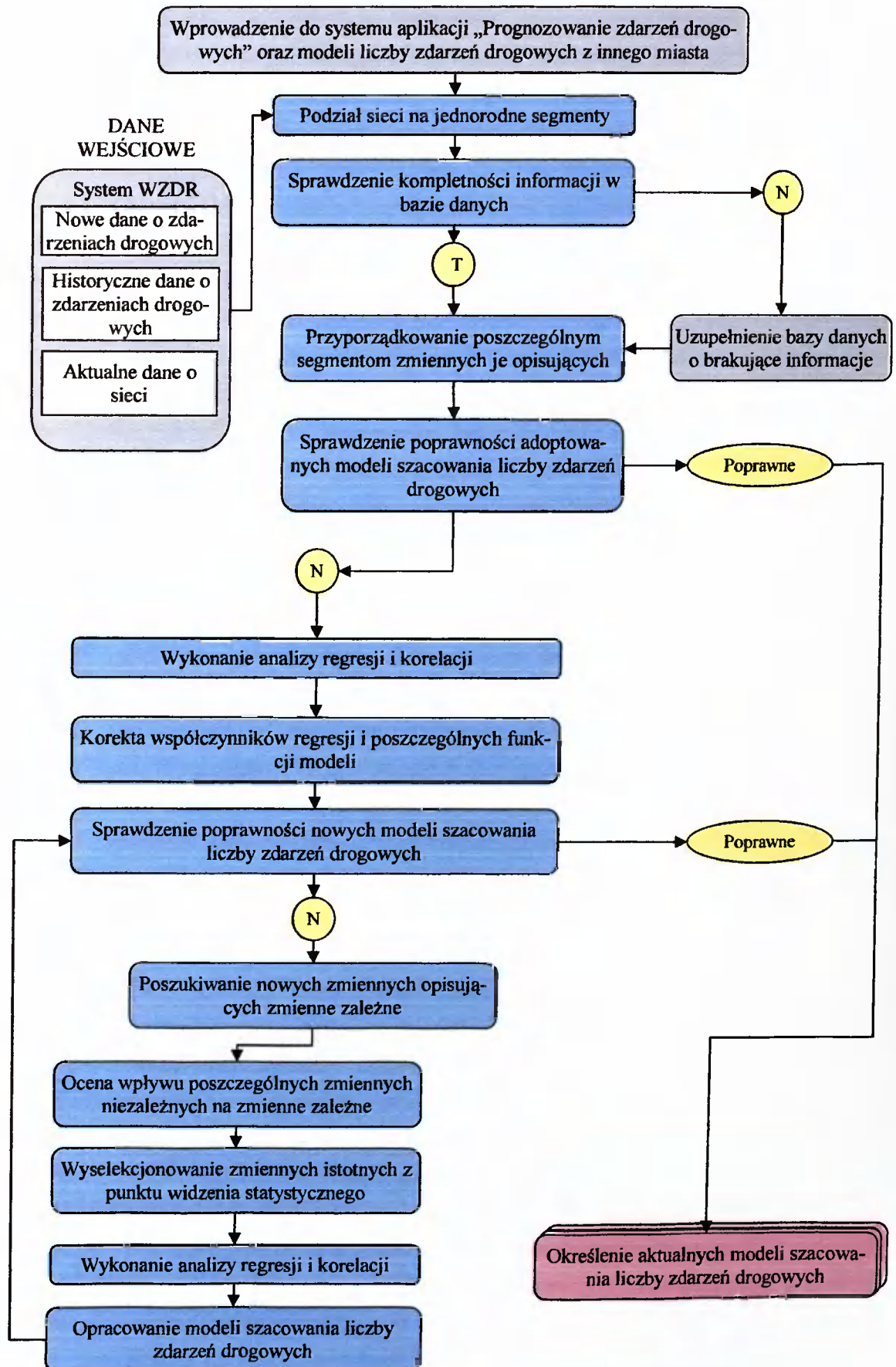
Rys. 4.3. Schemat ideowy ścieżki aktualizacji modeli szacowania liczby zdarzeń drogowych



Rys. 4.4. Schemat ideowy ścieżki szacowania stanu zagrożenia w ruchu drogowym na przebudowywanych elementach sieci ulicznej



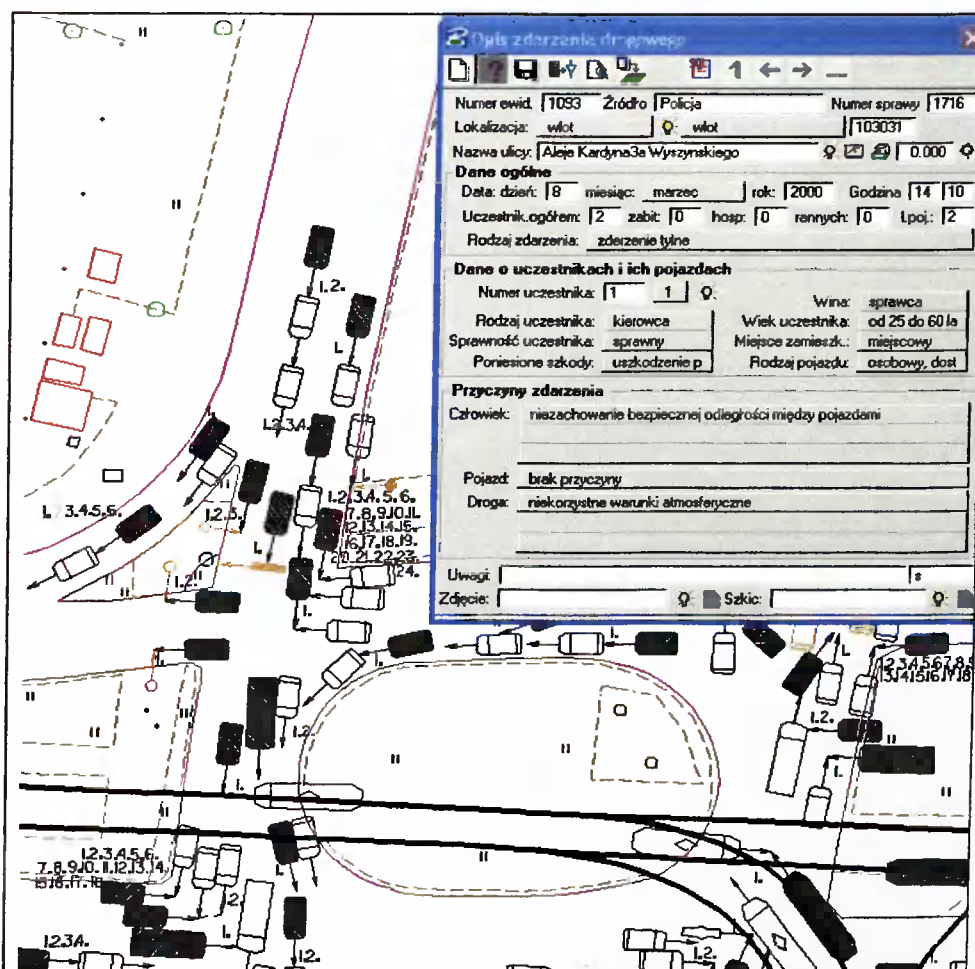
Rys. 4.5. Schemat ideowy ścieżki szacowania stanu zagrożenia w ruchu drogowym na nowoprojektowanych elementach sieci ulicznej



Rys. 4.6. Schemat ideowy ścieżki adaptacji metody do innego miasta

## Wykorzystanie w metodzie systemu WZDR

System WZDR, jak już wspomniano, oparty jest na grafowej sieci drogowej danego miasta, która jest bezpośrednio połączona z opisową bazą danych. Każde zdarzenie drogowe, które zostało wprowadzone do bazy WZDR, jest ściśle przyporządkowane do sieci grafowej danego obszaru, dzięki czemu każde zdarzenie ma przyporządkowaną dokładną lokalizację w przestrzeni danego terenu oraz w systemie WZDR (patrz rys. 4.7). Analogicznie połączone są z bazą systemu dane dotyczące zarówno cech drogi jak i ruchu (patrz rys. 4.8 i 4.9). Umożliwia to powiązanie poszczególnych danych ze sobą, np. liczbę zdarzeń drogowych na danym elemencie z cechami danego elementu (tj. promieniami skrzyżtu, szerokością pasów ruchu, powierzchnią kolizji itp.). Powiązanie to jest niezbędne do tworzenia tzw. macierzy zmiennych niezależnych i zależnych opisującej poszczególne segmenty skrzyżowań i odcinków międzywęzłowych – patrz tabeli 4.1. Na podstawie tych macierzy realizować można niezbędne w metodzie analizy statystyczne.



Rys. 4.7. Fragment mapy zdarzeń drogowych wraz z tabelą bazy danych zawierającą informacje o zdarzeniach drogowych

Tabela 4.1. Fragment macierzy zmiennych zależnych i niezależnych poszczególnych segmentów skrzyżowania

Nr wlotu	Informacje o skrzyżowaniu*				Zmienne zależne										Zmienne niezależne											
	Skrzyżowanie ulic	Wlot od ulicy	Rodzaj podporządkowania	Typ skrzyżowania	ZD	ZE	ZW	ZTXA	ZBXA	ZPXA	koljna zmienna zależna	PO	PL	PW	PR	PRWY	RP	RL	RLP	RPWY	I	WP	SL	SP	koljna zmienna niezależna	
1.					9	8,5	0	4	3	0		1	0,33	0,33	0,33	0	8	7	3	0	1,2	4,0	29	250		
2.					5	5	0	0	5	0		1	0,33	0,33	0,33	0	7	8,6	17,5	0	2,83	3,0	14	29		
3.					10	15,75	1	1	8	6,75		2	0,5	1,5	0	0,5	0	11,14	0	5,86	1,49	3,2	31	300		
4.					4	6,25	1	0	3	0		1	0,5	0	0,5	0,5	11,94	10,5	14,5	12,5	-3,93	5,4	23	34		
5.					4	16	2	2,5	0	13,5		2	0	1,5	0,5	0,5	6	0	0	15,6	-1,36	3,4	300	25		
6.					6	8,25	1	2,5	2	3,25		1	0,5	0,5	0	0,5	0	7,5	0	11,55	0,57	3,3	30	300		
7.					10	9,5	0	0	9	0		1	0,5	0	0,5	1	4,42	7,5	0	10	-0,57	2,9	27	29		
8.					14	46,75	4	3	4,5	16,75		1	0	0,5	0,5	0,5	4,92	0	10,5	15	-1,89	3,0	300	29		
9.					6	18	2	2,5	2	13,5		1	0,5	0,5	0	0	0	8,4	0	0	-0,89	2,9	24	300		
10.					4	4	0	0	4	0		1	0,5	0	0,5	0	5,18	8,4	0	0	-1,13	4,1	32	25		
11.					12	32	3	7	2	21		1	0	0,5	0,5	0,5	8,17	0	0	6	0,77	3,2	190	33		
12.					39	72,75	7	23,5	19,5	29,25		2	0	1,5	0,5	0,5	3	0	8	5,5	0,56	3,6	300	29		
13.					14	23,5	2	9,5	4	10		3	1	2	0	0	0	14,1	7,9	0	-0,55	3,3	48	300		
14.					9	10	0	7	3	0		1	0	0,5	0,5	0,5	3	0	0	12,43	-1,6	4,4	300	25		
15.					5	9,5	2	0	3	3,25		1	0,5	0	0,5	0	3,88	8,2	13,3	0	-0,39	2,7	25	29		
16.					10	12,25	1	4	5	3,25		2	0	1,5	0,5	0,33	4,58	0	18,5	24,22	-0,3	3,3	42	26		
....																										

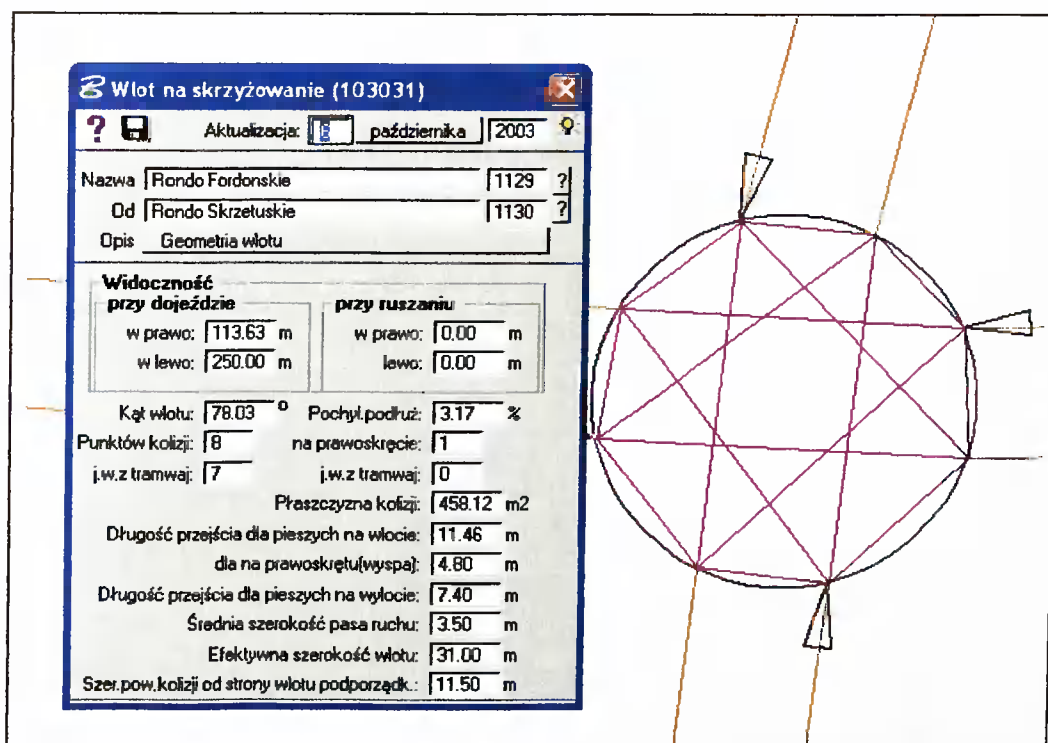
\* - z uwagi na możliwości edytorskie (zbyt długie nazwy) nie wypełniono w tabeli kolumn dotyczących danych o skrzyżowaniu - objaśnienie oznaczeń zmiennych przedstawiono w rozdziale 5.



W procesie analiz wykorzystana jest pełna baza danych systemu WZDR:

a) opis geometrii; np.:

- wartości promieni skreću,
- wielkość powierzchni kolizji,
- pochylenia podłużne wlotów,
- liczba potencjalnych punktów kolizji,
- długość przejścia dla pieszych (przejście zasadnicze oraz na wydzielonej jezdni dla prawoskrętów),
- widoczność na zatrzymaniu w lewo i w prawo,
- szerokość wlotu,
- krzywizna toru jazdy na wprost,
- wartość kąta przecięcia się poszczególnych potoków ruchu,
- liczba pasów dla poszczególnych relacji,

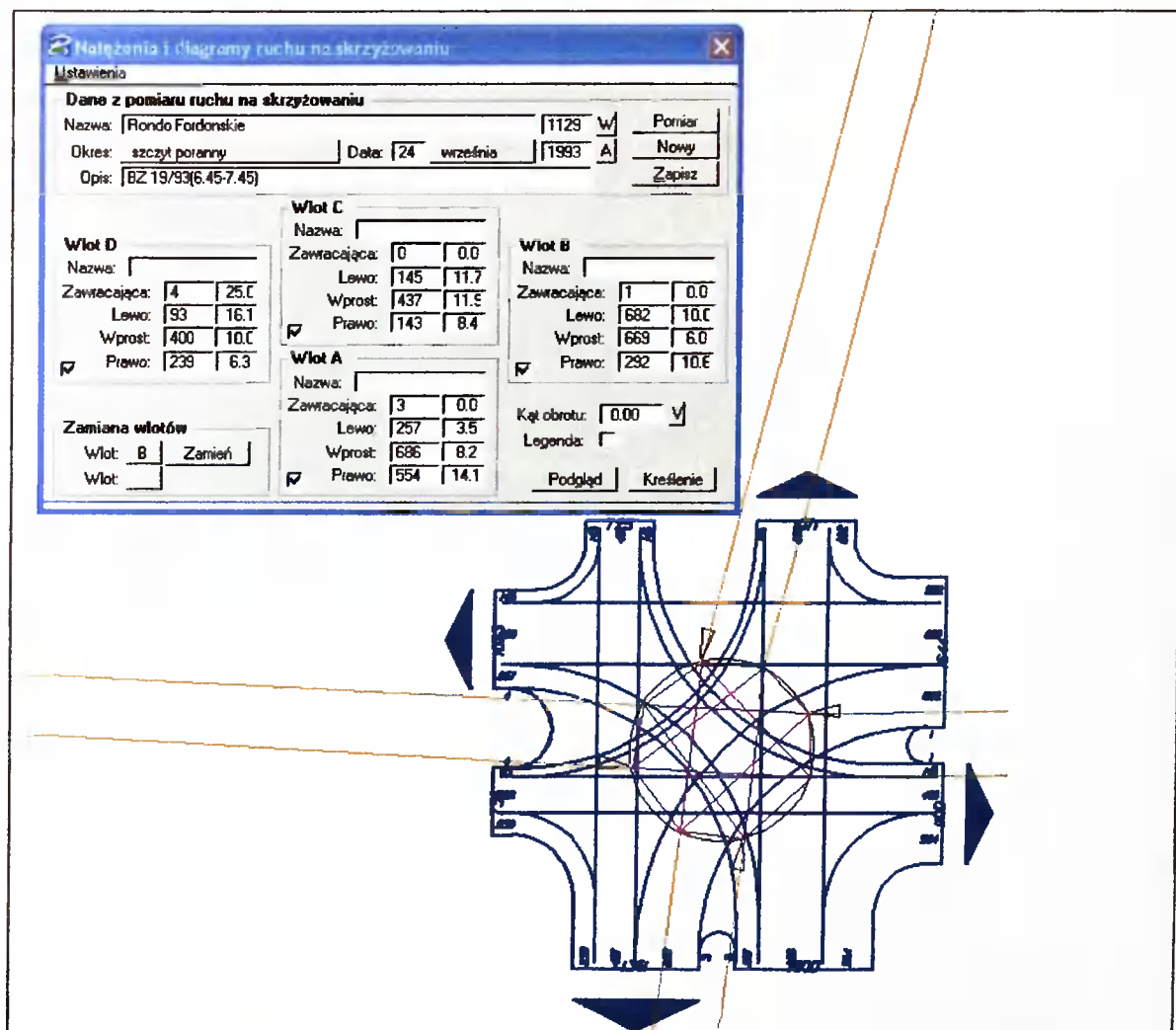


Rys. 4.8. Fragment sieci grafowej wraz z tabelą bazy danych zawierającą informacje o skrzyżowaniu

b) charakterystyka ruchu; np.:

- wartość natężenia ruchu na wlocie skrzyżowania,
- wartość natężeń ruchu strumieni kolizyjnych,
- wartość natężeń ruchu strumieni nadrzędnych,
- wartość natężeń ruchu strumieni podrzędnych,

- wartość natężeń ruchu pieszych,
- udział pojazdów ciężkich na wlocie,
- udział pojazdów ciężkich w potoku kolizyjnym,
- udział pojazdów ciężkich w potoku nadrzędnym,
- udział pojazdów ciężkich w potoku podporządkowanym,



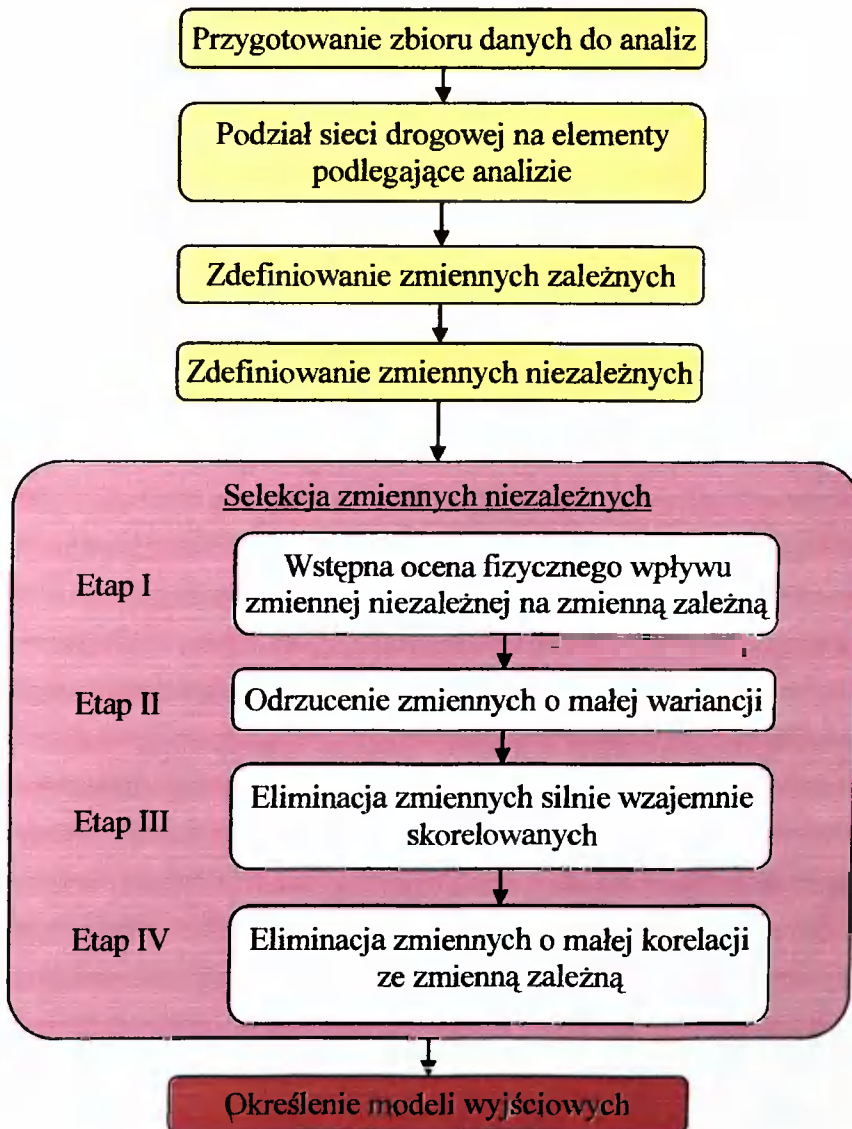
Rys. 4.9. Fragment sieci grafowej wraz z tabelą bazy danych zawierającą informacje o natężeniach ruchu kołowego

- c) dane dotyczące zdarzeń drogowych; np.:
- liczba wszystkich zdarzeń drogowych,
  - liczba zdarzeń ekwiwalentnych,
  - liczba bocznych zderzeń pojazdów,
  - liczba zdarzeń drogowych z udziałem pieszych,
  - liczba zdarzeń drogowych z udziałem rowerzystów,
  - liczba zdarzeń drogowych z udziałem pojazdów szynowych,
  - liczba tylnych zderzeń pojazdów.

## 5. OPRACOWANIE WYBRANYCH MODELI LICZBY ZDARZEŃ DROGOWYCH

Do opracowania wyjściowych modeli liczby zdarzeń drogowych wybrano Bydgoszcz. Bydgoszcz była pierwszym miastem, w którym wdrożono system WZDR, stąd można było dysponować bogatą bazą danych o zdarzeniach drogowych (10 letnią) oraz o infrastrukturze drogowej.

Prace zmierzające do zdefiniowania modeli opisujących liczbę zdarzeń drogowych odbywały się według schematu przedstawionego na rys. 5.1.



Rys. 5.1. Schemat prowadzenia analiz poszukiwania modeli liczby zdarzeń drogowych

## 5.1 WSTĘPNY ETAP ANALIZ

### Przygotowanie zbioru danych w celu opracowania wyjściowych modeli

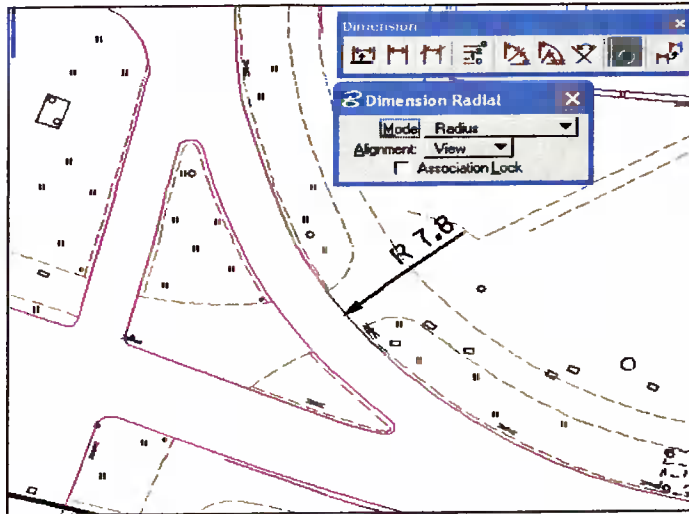
Poszukiwanie przedmiotowych modeli wymagało bardzo wielu szczegółowych danych, w tym następujących parametrów:

- a) natężenia ruchu kołowego,
- b) natężenia ruchu pieszych,
- c) wartości promieni skrętów,
- d) powierzchni kolizji,
- e) kąta przecięcia osi krzyżujących się ulic,
- f) pochylenia jezdni na wlotach,
- g) szerokości pasów ruchu,
- h) pola widoczność przy dojeździe do skrzyżowania,
- i) długości przejść dla pieszych,
- j) liczby punktów kolizji,
- k) wartości krzywizn kanałów ruchu na skrzyżowaniach itd.

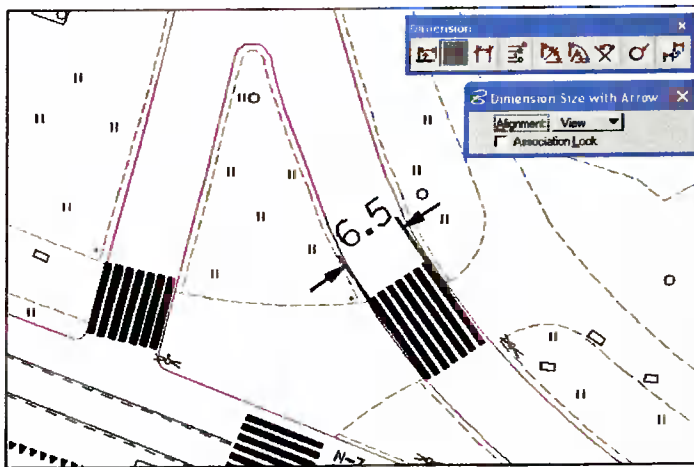
Zdecydowana większość danych zawarta była w bazie danych systemu WZDR-Bydgoszcz. Wartości pozostałych zmiennych, tzn.: promieni skrętów, powierzchni kolizji, pochyień jezdni, szerokości pasów, kątów przecięcia się osi ulic, długości przejść dla pieszych itp. zostały określone przy wykorzystaniu odpowiednich programów, aplikacji i zasobów bazy danych systemu WZDR. Na przykład poszczególne cechy geometryczne mierzone posługując się środowiskowym programem systemu WZDR – MicroStation (patrz rys. 5.2, 5.3, 5.4).

W ramach badań terenowych dokonano tylko pomiarów prędkości ruchu swobodnego na poszczególnych wlotach skrzyżowań. Z uwagi na bardzo dużą liczbę punktów pomiarowych prędkości ruchu swobodnego określano również metodą analityczną [72].

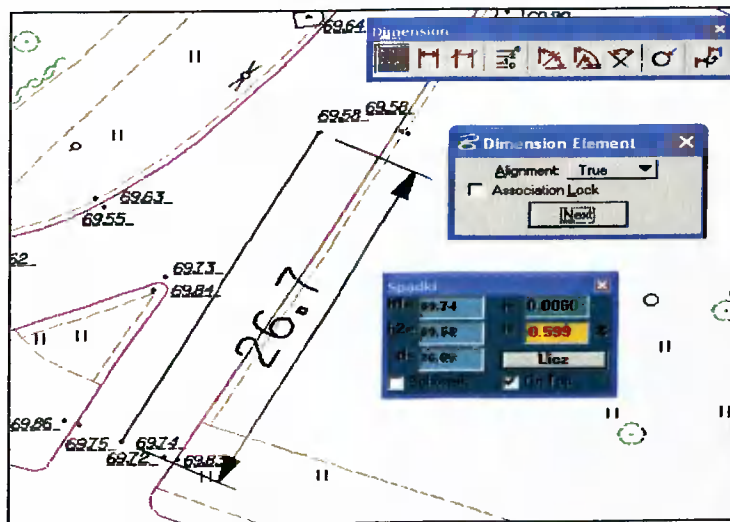
Łącznie wykonano analizy obejmujące około 1500 skrzyżowań i około 350 km odcinków ulic.



Rys. 5.2. Fragment mapy topograficznej miasta Bydgoszczy oraz moduł do pomiaru wartości łuku kołowego



Rys. 5.3. Fragment mapy topograficznej miasta Bydgoszczy z włączonym plikiem referencyjnym organizacji ruchu oraz moduł do pomiaru odległości między dwoma punktami



Rys. 5.4. Fragment mapy topograficznej miasta Bydgoszczy oraz moduł do określania wartości pochylenia podłużnego

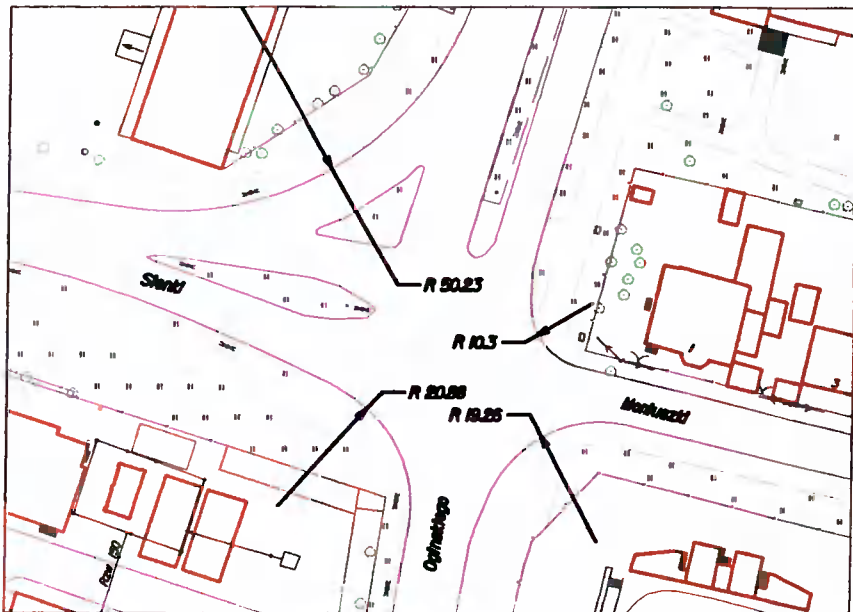
### **Podział sieci drogowej na elementy podlegające analizie**

Bardzo ważnym etapem przy poszukiwaniu modeli było określenie właściwego podziału sieci ulic na elementy jednorodne pod względem sposobu i jednoznaczności oddziaływania poszczególnych cech tych elementów na liczbę zdarzeń drogowych danego rodzaju. Od podziału tego zależy bowiem w bardzo dużym stopniu dokładność opracowywanych modeli.

W pierwszym podejściu rozważono standardowy podział przyjmowany przy definiowaniu większości modeli, a mianowicie na następujące elementy:

- a) skrzyżowania (w tym ewentualnie dalszy podział na typy skrzyżowań),
- b) odcinki międzywęzłowe (w tym ewentualnie dalszy podział na typy odcinków międzywęzłowych).

Taki podział odpowiadał także naturalnemu układowi grafu, który dzieli się na wierzchołki (w sieci ulic odpowiada to skrzyżowaniom) i łuki (które obrazują odcinki ulic). Niestety nie zapewniał on jednak uzyskania odpowiednich dokładności modeli oraz satysfakcjonującego opisu przyczynowo-skutkowego zdarzeń drogowych. Przykładowo, na skrzyżowaniu czterowłotowym występują cztery zmienne opisujące promienie skrętu w prawo. Wartości te mogą być bardzo zróżnicowane, od wartości bardzo małych do bardzo dużych. Każdy z tych promieni może być usytuowany w innym segmencie skrzyżowania i może dotyczyć innych strumieni ruchu (podrzędnych i nadrzędnych), o różnym natężeniu ruchu i udziale pojazdów ciężkich – patrz rys. 5.5. Wobec tego takie same wartości wymienionych cech, ale w innej konfiguracji, mogą generować zupełnie inną liczbę zdarzeń drogowych. W analizie regresji, w której rozpatrywano by całe skrzyżowanie, jest bardzo trudno zapisać zmienne niezależne, które by tę specyfikę uwzględniało. Ponadto, liczba zmiennych potrzebna do opisu takiego skrzyżowania byłaby przy tym bardzo duża. Niezbędne byłoby także uwzględnienie w funkcjach regresji wzajemnych relacji między niektórymi zmiennymi niezależnymi. Uzyskanie więc funkcji modelu o zadowalającym poziomie ufności wymagałoby ogromnej liczby danych, niemożliwej do pozyskania przy analizie jednego miasta. Konsekwencją takiego podejścia byłaby więc niska dokładność modeli.



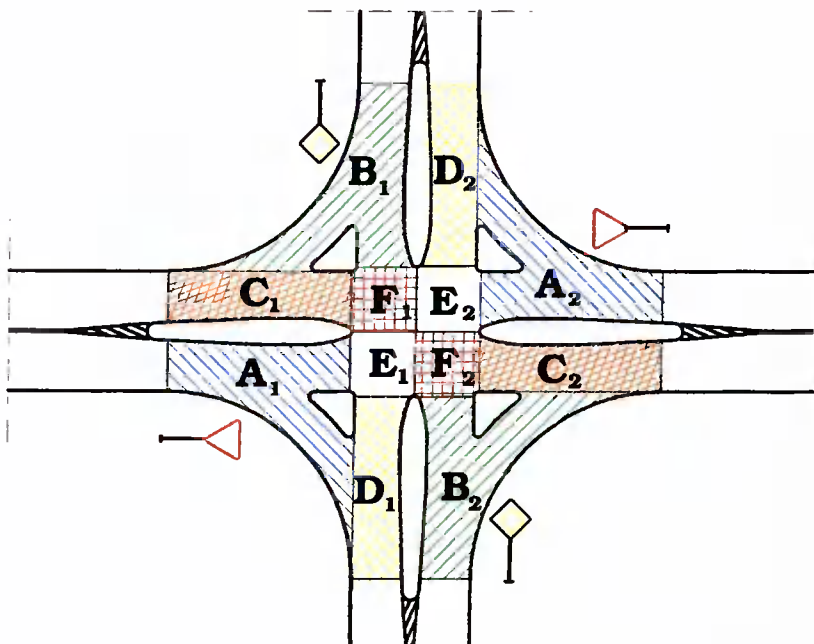
Rys. 5.5. Geometria skrzyżowania ulic Moniuszki – Ogińskiego – Sieńki w Bydgoszczy [11]

Analogicznie przedstawia się sytuacja w odniesieniu do wielu innych zmiennych opisujących skrzyżowanie.

Mając na uwadze powyższe wady standardowego podziału sieci, postanowiono do analiz przyjąć odpowiednio dobrane segmenty skrzyżowania i odcinka międzywęzłowego. Wybór tych segmentów uzależniony był głównie od warunku zapewnienia jednorodnego i jednoznacznego sposobu oddziaływania cech każdego z nich na liczbę zdarzeń drogowych danego rodzaju. W wyniku szczegółowej analizy przyjęto następujący podział:

1. Skrzyżowania – patrz rys. 5.6:
  - a) wlot podporządkowany – bezpośredni obszar przed linią zatrzymań, wliczając strefę segregacji ruchu (A),
  - b) wlot z pierwszeństwem jazdy – bezpośredni obszar przed linią wyznaczoną przez krawężniki jezdni ulicy podporządkowanej, wliczając strefę segregacji ruchu (B),
  - c) wylot wlotu podporządkowanego – bezpośredni obszar za skrzyżowaniem na pasach ruchu w kierunku od skrzyżowania, będący przedłużeniem wlotu ulicy podporządkowanej (C),
  - d) wylot wlotu z pierwszeństwem jazdy – bezpośredni obszar za skrzyżowaniem na pasach ruchu w kierunku od skrzyżowania, będący przedłużeniem wlotu ulicy nadrzędnej (D),

- e) płaszczyzna kolizji wlotu podporządkowanego – płaszczyzna na skrzyżowaniu utworzona w miejscu przecinania się kolizyjnych strumieni ruchu położona przy wlocie ulicy podporządkowanej (E),
- f) płaszczyzna kolizji wlotu z pierwszeństwem jazdy – płaszczyzna na skrzyżowaniu utworzona w miejscu przecinania się kolizyjnych strumieni ruchu położona przy wlocie ulicy nadrzędnej (F).



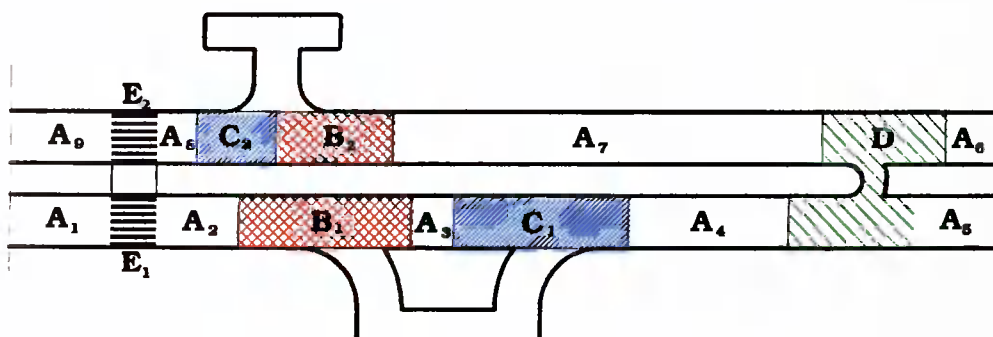
Rys. 5.6. Schemat podziału skrzyżowania na segmenty jednorodne

2. Odcinki międzywęzłowe – patrz rys. 5.7:

- a) odcinek pomiędzy punktami kolizji – odcinek ulicy, na którym brak jest skrzyżowań, wjazdów i wyjazdów z obiektów oraz innych włączeń do ruchu lub wyłączeń z ruchu (A),
- b) wjazd do obiektu – fragment ulicy bezpośrednio przylegający do jezdni służącej do wjazdu do obiektu (B),
- c) wyjazd z obiektu - fragment ulicy bezpośrednio przylegający do jezdni służącej do wyjazdu z niego (C),
- d) płaszczyzna do zawracania - płaszczyzna na odcinku międzywęzłowym utworzona w pasie rozdziału i przeznaczona do zawracania wraz z przyległymi do niej płaszczyznami jezdni zasadniczych (D),



- e) przejście dla pieszych na odcinku międzywęzłowym – przejście dla pieszych położone na odcinku pomiędzy skrzyżowaniami i przyległy do niego obszar jezdni i chodnika (E).



Rys. 5.7. Schemat podziału odcinka międzywęzłowego na segmenty jednorodne

### Zdefiniowanie zmiennych zależnych

Zgodnie z przyjętym wcześniej założeniem (rozdz. 1), poszukiwanie modeli ograniczono do skrzyżowań niesterowanych sygnalizacją świetlną. Przyjęte do analiz zmienne zależne wraz z wielkością prób zestawiono w tabeli 5.1. Natomiast na rys. 5.8 i 5.9 przedstawiono odpowiednio częstość i zsumowaną częstość występowania na skrzyżowaniu konkretnych rodzajów zdarzeń drogowych.

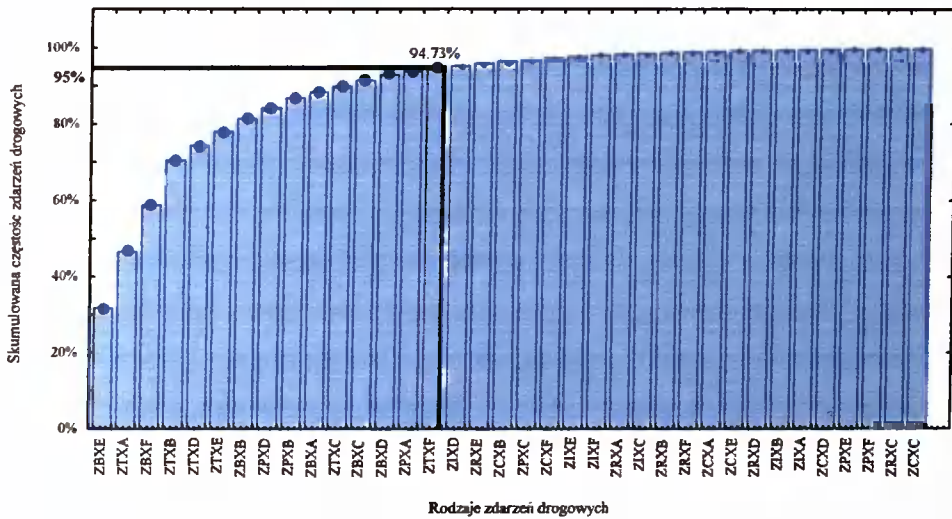
Tabela 5.1. Zestawienie zmiennych zależnych [11]

Lp.	Rodzaj zmiennej zależnej	Jednostka	Rodzaj segmentu skrzyżowania	Przyjęte oznaczenie zmiennej zależnej	Liczebność zdarzeń	
					W okresie 1997 – 2001 <sup>(*)</sup> [zdarzenia]	W okresie 2002-2003 <sup>(**)</sup> [zdarzenia]
1.	Tylne zderzenia pojazdów	[ekw. zdarzeń/5 lat]	włot podporządkowany	ZTXA	2351	386
			włot z pierwszeństwem jazdy	ZTXB	2698	495
			wylot włotu podporządkowanego	ZTXC	259	20
			wylot włotu z pierwszeństwem jazdy	ZTXD	568	85
			plaszczyna kolizji włotu podporządkowanego	ZTXE	588	70
			plaszczyna kolizji włotu z pierwszeństwem jazdy	ZTXF	410	39

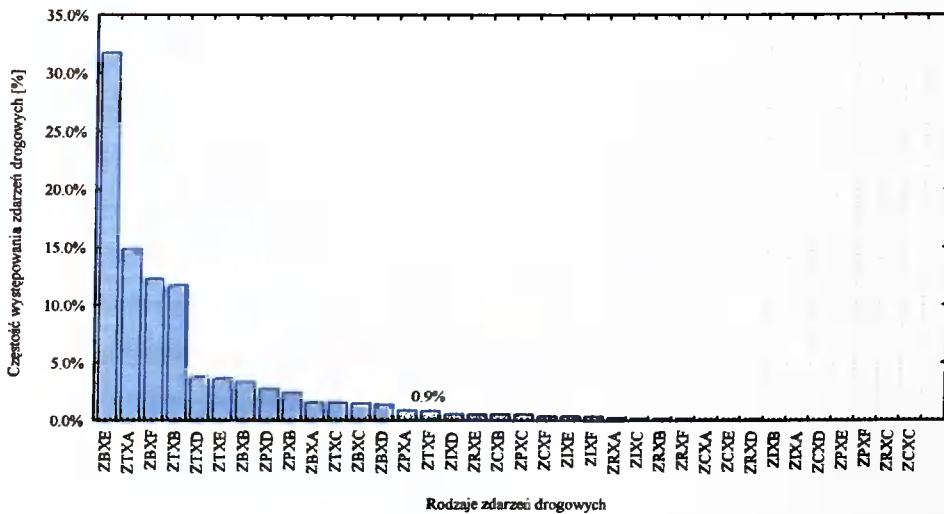
2.	Boczne zderzenia pojazdów	[ekw. zdarzeń/5 lat]	włot podporządkowany	ZBXA	381	65
			włot z pierwszeństwem jazdy	ZBXB	738	111
			wylot wlotu podporządkowanego	ZBXC	190	38
			wylot wlotu z pierwszeństwem jazdy	ZBXD	246	25
			płaszczyzna kolizji wlotu podporządkowanego	ZBXE	5305	731
			płaszczyzna kolizji wlotu z pierwszeństwem jazdy	ZBXF	2472	318
3.	Czołowe zderzenia pojazdów	[ekw. zdarzeń/5 lat]	włot podporządkowany	ZCXA	51	21
			włot z pierwszeństwem jazdy	ZCXB	194	69
			wylot wlotu podporządkowanego	ZCXC	7	6
			wylot wlotu z pierwszeństwem jazdy	ZCXD	17	4
			płaszczyzna kolizji wlotu podporządkowanego	ZCXE	41	14
			płaszczyzna kolizji wlotu z pierwszeństwem jazdy	ZCXF	89	26
4.	Najechanie na pieszego	[ekw. zdarzeń/5 lat]	włot podporządkowany	ZPXA	161	36
			włot z pierwszeństwem jazdy	ZPXB	463	67
			wylot wlotu podporządkowanego	ZPXC	84	15
			wylot wlotu z pierwszeństwem jazdy	ZPXD	405	69
			płaszczyzna kolizji wlotu podporządkowanego	ZPXE	74	1
			płaszczyzna kolizji wlotu z pierwszeństwem jazdy	ZPXF	88	3
5.	Najechanie na rowerzystę	[ekw. zdarzeń/5 lat]	włot podporządkowany	ZRXA	50	12
			włot z pierwszeństwem jazdy	ZRXB	58	11
			wylot wlotu podporządkowanego	ZRXC	16	3
			wylot wlotu z pierwszeństwem jazdy	ZRXD	26	8
			płaszczyzna kolizji wlotu podporządkowanego	ZRXE	115	14
			płaszczyzna kolizji wlotu z pierwszeństwem jazdy	ZRXF	65	2
6.	Inne zdarzenia drogowe	[ekw. zdarzeń/5 lat]	włot podporządkowany	ZIXA	2	10
			włot z pierwszeństwem jazdy	ZIXB	7	19
			wylot wlotu podporządkowanego	ZIXC	44	6
			wylot wlotu z pierwszeństwem jazdy	ZIXD	149	45
			płaszczyzna kolizji wlotu podporządkowanego	ZIXE	1	17
			płaszczyzna kolizji wlotu z pierwszeństwem jazdy	ZIXF	43	16

(\*) dane odnoszące się do lat 1997 – 2001 posłużyły do budowy modeli

(\*\*) dane odnoszące się do roku 2002 i 2003 posłużyły do testowania dokładności modeli



Rys. 5.8. Skumulowana częstość występowania poszczególnych zdarzeń drogowych na skrzyżowaniach



Rys. 5.9. Częstość występowania poszczególnych zdarzeń drogowych na skrzyżowaniach

Jak widać na rysunkach 5.8 i 5.9 dominującym rodzajem zdarzeń na skrzyżowaniach są zderzenia boczne pojazdów na płaszczyźnie kolizji przed wlotem podporządkowanym (ZBXE). Stanowią one prawie jedną trzecią wszystkich zdarzeń (31,77%). Proporcjonalnie duży udział wykazują ponadto zderzenia tylne pojazdów na wlotach podporządkowanych (ZTXA – 14,83%), zderzenia boczne na płaszczyźnie kolizji przed wlotem nadrzędnym (ZBXF – 13,31%), zderzenia tylne na wlocie z pierwszeństwem jazdy (ZTXB – 11,75%).

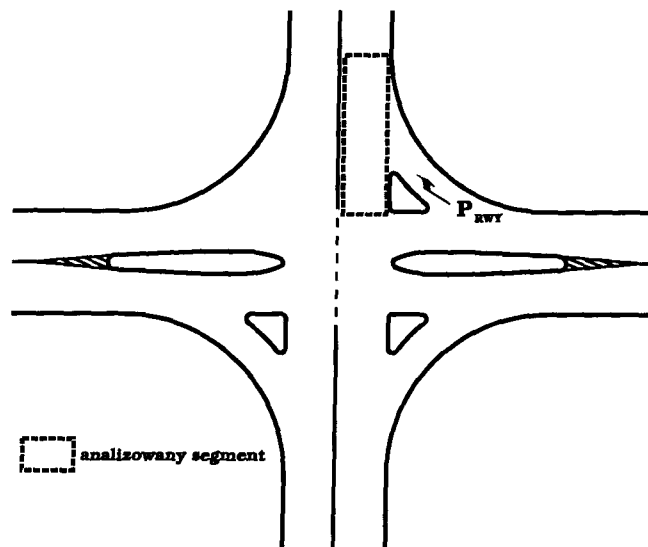
Z uwagi na układ liczebności poszczególnych rodzajów zdarzeń, w dalszych analizach rozpatrywano jedynie 15 pierwszych najczęściej występujących rodzajów zdarzeń.

Stanowiły one łącznie prawie 95% wszystkich zdarzeń drogowych występujących na skrzyżowaniach w Bydgoszczy.

## 5.2 WYBÓR ZMIENNYCH NIEZALEŻNYCH

Na etapie wstępnej analizy jako zmienne niezależne przyjęto następujące cechy drogi oraz ruchu opisujące poszczególne segmenty skrzyżowania:

1. Liczba pasów ruchu:
  - a) liczba pasów ruchu na wlocie  $P_O$ ; określa ona całkowitą liczbę pasów ruchu na wlocie skrzyżowania,
  - b) liczba pasów ruchu na wlocie wykorzystywanych przez pojazdy wykonujące manewr lewoskrętu  $P_L$ ; liczba ta stanowi sumę wskaźników wykorzystania poszczególnych pasów ruchu na skrzyżowaniu przez pojazdy skręcające w lewo: w przypadku, gdy z danego pasa korzystają tylko pojazdy skręcające w lewo wskaźnik wykorzystania wynosi 1, jeżeli z danego pasa korzystają dodatkowo pojazdy jeszcze innej relacji to wskaźnik dla danego pasa wynosi 0,5, natomiast jeżeli z danego pasa ruchu korzystają pojazdy zarówno skręcające w lewo, w prawo, jak i jadące na wprost – wskaźnik wynosi 0,3 – patrz tabl. 5.2,
  - c) liczba pasów ruchu na wlocie wykorzystywanych przez pojazdy jadące na wprost  $P_W$ ; określa się ją analogicznie jak zmienną  $P_L$  (patrz tabl. 5.2),
  - d) liczba pasów ruchu na wlocie wykorzystywanych przez pojazdy wykonujące manewr prawoskrętu  $P_R$ ; określa się ją analogicznie jak zmienną  $P_L$  – patrz tabl. 5.2,
  - e) liczba pasów ruchu wykorzystywanych przez pojazdy wykonujące manewr prawoskrętu z wlotu sąsiedniego usytuowanego po prawej stronie analizowanego wlotu  $P_{RWY}$  – patrz rys. 5.10.



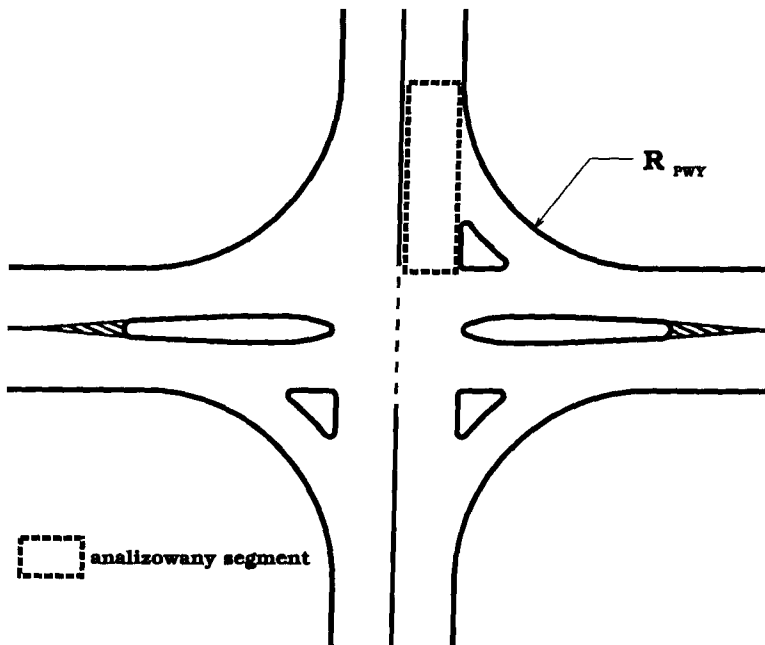
Rys. 5.10. Schemat przyjętej definicji  $P_{RWY}$

Tabela 5.2. Przykładowe wartości  $P_O$ ,  $P_L$ ,  $P_W$ ,  $P_R$

Schemat podziału pasów na wlocie	Wartości danej zmiennej			
	$P_O$	$P_L$	$P_W$	$P_R$
	3	1	1	1
	3	1,5	0,5	1
	3	0,5	2,0	0,5
	4	2,3	0,3	1,3
	2	1,5	0	0,5

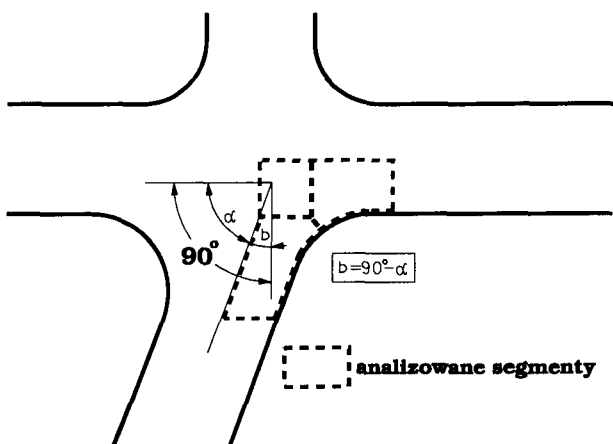
2. Promień skrętu:

- a) promień skrętu w prawo  $R_P$ ; określa promień łuku krawędzi jezdni do skrętu w prawo z rozpatrywanego wlotu; w przypadku krzywych koszowych  $R_P$  przyjmuje wartość średniej ważonej poszczególnych promieni, gdzie wagą jest kąt środkowy poszczególnych łuków,
- b) promień skrętu w lewo  $R_L$ ; określa promień łuku kołowego wyznaczonego przez kanał ruchu pojazdów wykonujących manewr lewoskrętu z danego wlotu,
- c) promień skrętu w lewo z wlotu przeciwnego  $R_{LP}$ ; określa promień łuku kołowego wyznaczonego przez kanał ruchu pojazdów wykonujących manewr lewoskrętu z wlotu leżącego naprzeciwko wlotu badanego,
- d) promień skrętu w prawo z wlotu poprzecznego  $R_{PWY}$ ; określa się go analogicznie jak promień  $R_P$ ; dotyczy jednak łuku z wlotu zlokalizowanego z prawej strony analizowanego segmentu – patrz rys. 5.11.



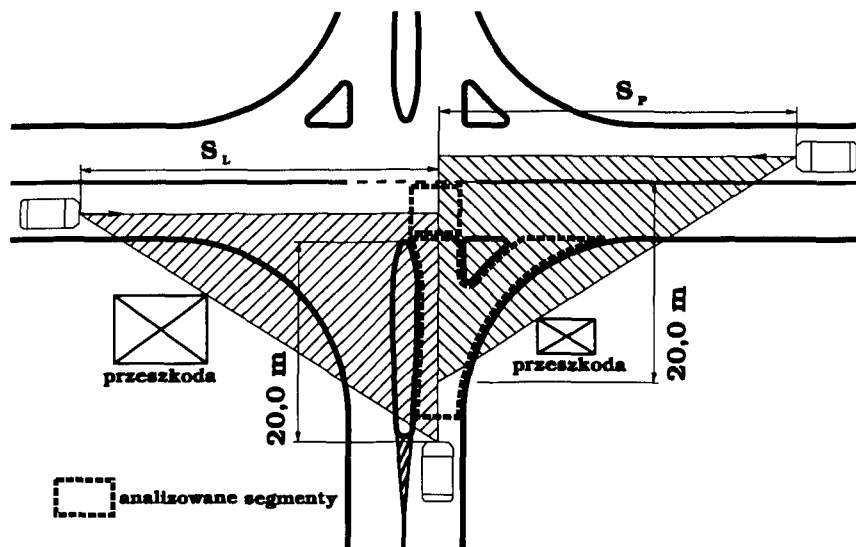
Rys. 5.11. Schemat przyjętej definicji promienia skrętu w prawo z wlotu poprzecznego

- 3. Kąt przecięcia osi danego wlotu z osią krzyżującego się wlotu sąsiedniego  $\beta$ ; określa różnicę pomiędzy kątem prostym a kątem utworzonym pomiędzy osiami wlotu analizowanego i sąsiedniego położonego z lewej strony – patrz rys. 5.12.



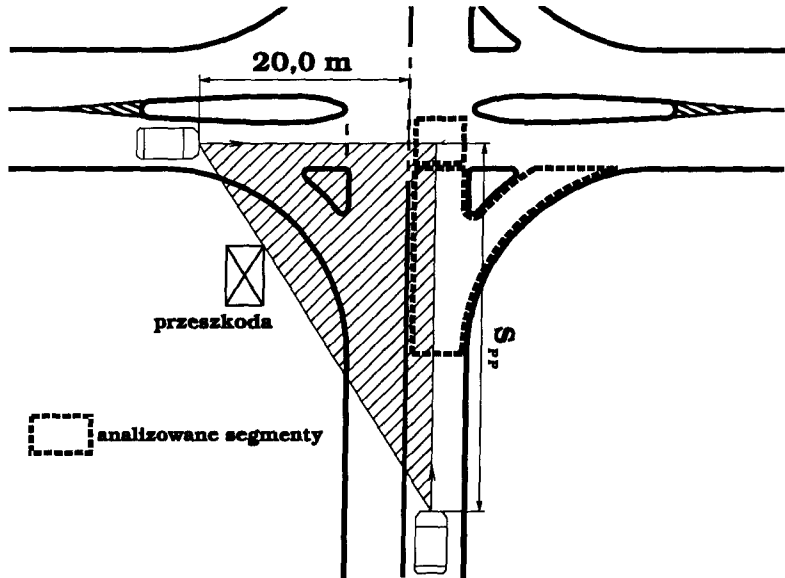
Rys. 5.12. Schemat przyjętej definicji kąta przecięcia osi krzyżujących się sąsiednich wlotów na skrzyżowaniu

4. Pochylenie jezdni na wlocie I; określa średnie pochylenie podłużne jezdni na wlocie skrzyżowania na odcinku o długości 50 m przed jezdnią poprzeczną (wartość ujemna oznacza spadek wlotu w kierunku skrzyżowania, natomiast wartość dodatnia oznacza spadek wlotu od skrzyżowania).
5. Szerokość pasa ruchu  $W_P$ ; określa średnią szerokość pasa ruchu na wlocie skrzyżowania.
6. Widoczność:
  - a) widoczność przy dojeździe w lewo  $S_L$ ; określa odległość widoczności odcinka sąsiedniego wlotu położonego z lewej strony; jest ona mierzona wzdłuż drogi poprzecznej dla analizowanego segmentu; odległość drugiego boku pola widoczności wynosi 20 m – patrz rys. 5.13,
  - b) widoczność przy dojeździe w prawo  $S_P$ ; wyznacza się ją analogicznie jak  $S_L$  ale w prawo – patrz rys. 5.13,



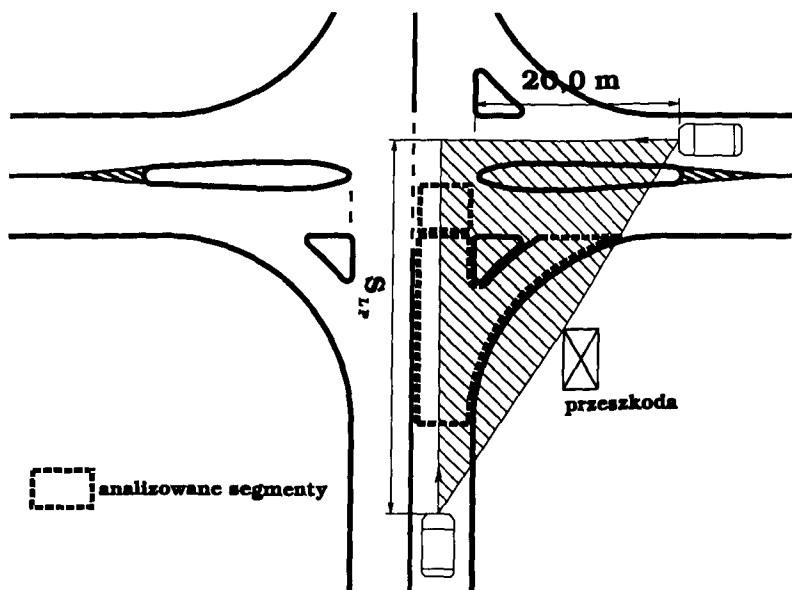
Rys. 5.13. Schemat przyjętych definicji widoczności

- c) widoczność przy dojeździe w prawo z lewego wlotu poprzecznego  $S_{PP}$ ; określa odległość widoczności w prawo na sąsiednim wlocie położonym z lewej strony analizowanego segmentu; odległość ta mierzona jest wzdłuż ulicy, na której zlokalizowany jest analizowany segment; odległość drugiego boku pola widoczności wynosi 20 m – patrz rys. 5.14.



Rys. 5.14. Schemat przyjętej definicji widoczności  $S_{PP}$

- d) widoczność przy dojeździe w lewo z prawego wlotu poprzecznego  $S_{LP}$ ; określa ona odległość widoczności w lewo na sąsiednim wlocie położonym z prawej strony do analizowanego segmentu; mierzona jest ona wzdłuż ulicy, na której zlokalizowany jest analizowany segment; odległość drugiego boku pola widoczności wynosi 20 m – patrz rys. 5.15.

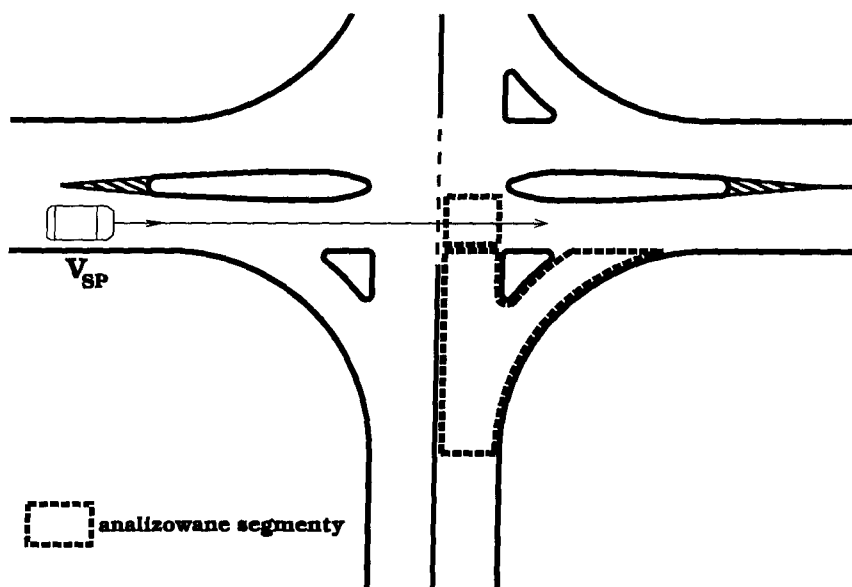


Rys. 5.15. Schemat przyjętej definicji widoczności  $S_{LP}$



7. Prędkości pojazdów:

- a) prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym w odległości 50 m od wlotu skrzyżowania  $V_{SR}$ ; określana jest ona na podstawie wyników badań terenowych lub na podstawie zależności empirycznej [72],
- b) prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie poprzecznym  $V_{SP}$ ; określana jest ona na wlocie poprzecznym położonym po lewej stronie wlotu analizowanego i w odległości 50 m od tego wlotu - patrz rys. 5.16,



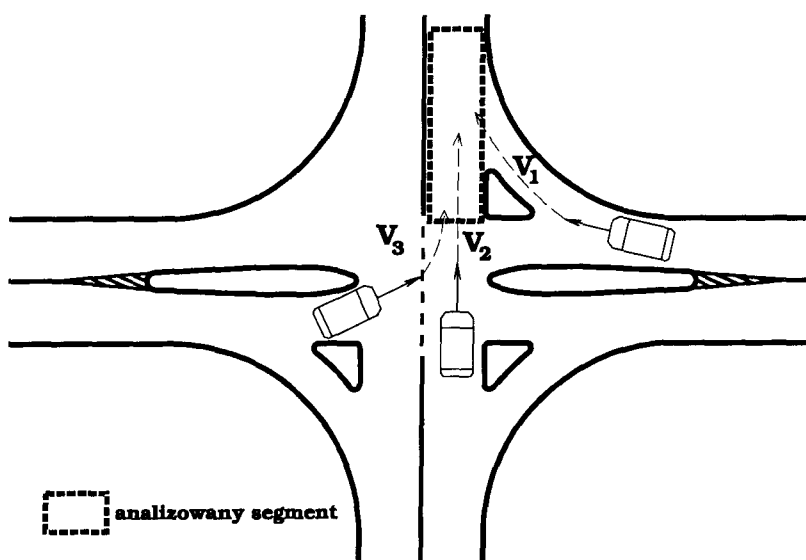
Rys. 5.16. Schemat przyjętej definicji prędkości  $V_{SP}$

- c) średnia prędkość pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wylocie  $V_{WY}$  - patrz rys. 5.17:

$$V_{WY} = \frac{V_1 \cdot Q_1 + V_2 \cdot Q_2 + V_3 \cdot Q_3}{Q_1 + Q_2 + Q_3} \quad (5.1)$$

gdzie:

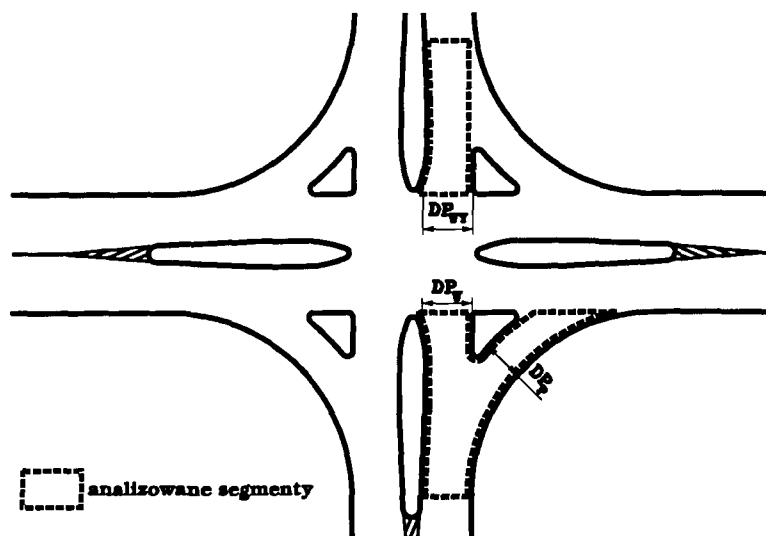
- $V_1, V_2, V_3$  - prędkości pojazdów na wylocie odpowiednio: skręcających w prawo, jadących prosto i skręcających w lewo,
- $Q_1, Q_2, Q_3$  - natężenia ruchu strumieni pojazdów odpowiednio: skręcających w prawo, jadących prosto i skręcających w lewo.



Rys. 5.17. Schemat przyjętej definicji prędkości  $V_{WY}$

8. Długości przejścia dla pieszych:

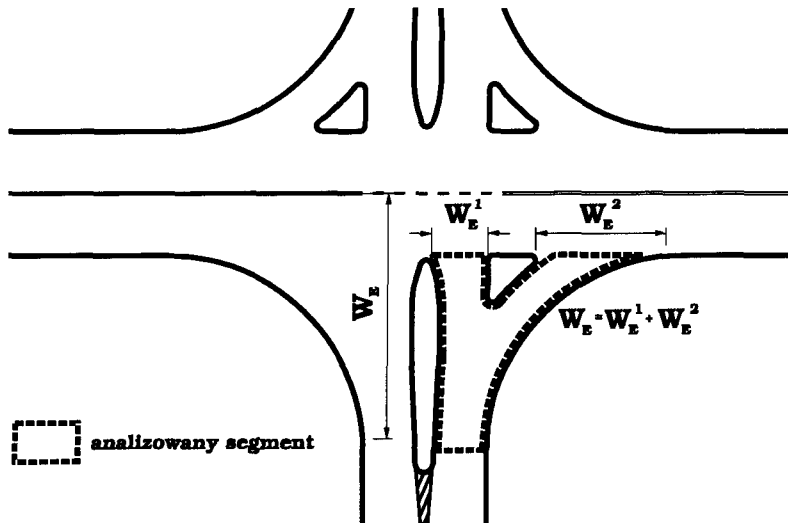
- a) długość przejścia dla pieszych na wlocie  $DP_W$  – patrz rys. 5.18,
  - b) długość przejścia dla pieszych na wydzielonej jezdni dla prawoskrętów  $DP_P$  – patrz rys. 5.18,
  - c) długość przejścia dla pieszych na wylocie  $DP_{WY}$  – patrz rys. 5.18;
- wszystkie długości przejścia mierzone są pomiędzy krawędziami jezdni.



Rys. 5.18. Schemat przyjętych definicji długości przejść dla pieszych

9. Efektywna szerokość wlotu  $W_E$ ; wyraża długość krawędzi jezdni poprzecznej do wlotu, liczonej od skrajnego wewnętrznego pasa ruchu na wlocie do końca łuku do skrętu w prawo. W przypadku występowania trójkątnej wysepki ka-

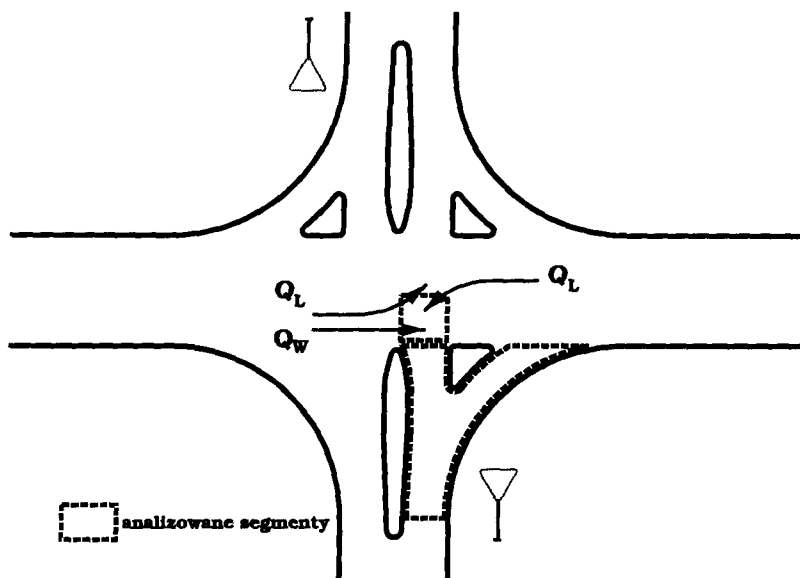
nalizującej ruch efektywną szerokość wlotu pomniejsza się o długość, równoległego do liczonej krawędzi, boku wysepki – patrz rys. 5.19.



Rys. 5.19. Ilustracja efektywnej szerokości wlotu przyjętej w analizach

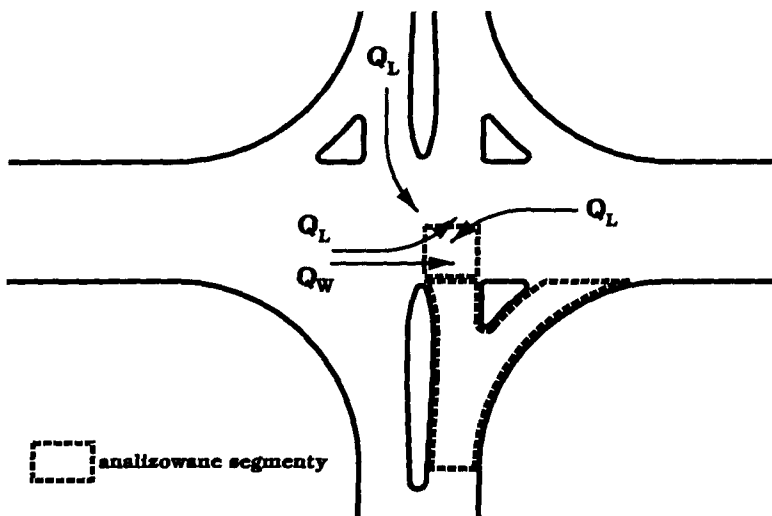
10. Powierzchnia kolizji  $P_K$ ; definicję powierzchni kolizji przyjęto zgodnie z „Wytycznymi projektowania skrzyżowań drogowych” [103].
11. Liczba punktów kolizji; definicję punktów kolizji przyjęto zgodnie z „Wytycznymi projektowania skrzyżowań drogowych” [103]:
  - a) liczba punktów kolizji w płaszczyźnie kolizji  $L_{PK}$ ,
  - b) liczba punktów kolizji na wlocie skrzyżowania  $L_{PKW}$ ,
  - c) liczba punktów kolizji z tramwajami  $L_{PKT}$ ,
  - d) liczba punktów kolizji pojazdów, wykonujących skręt w prawo na wlocie z tramwajami  $L_{PKWT}$ .
12. Krzywizna kanału ruchu jazdy na wprost na skrzyżowaniu  $K_W$ ,
13. Szerokość powierzchni kolizji  $W_{PK}$ ; mierzona jest ona od strony relacji podporządkowanej.
14. Natężenie ruchu pojazdów:
  - a) średniodobowe natężenie ruchu pojazdów na wlocie  $Q$ ,
  - b) średniodobowe natężenie ruchu pojazdów relacji w lewo na wlocie  $Q_L$ ,
  - c) średniodobowe natężenie ruchu pojazdów relacji na wprost na wlocie  $Q_W$ ,
  - d) średniodobowe natężenie ruchu pojazdów relacji w prawo na wlocie  $Q_P$ ,
  - e) średniodobowe natężenie ruchu pojazdów relacji nadrzędnych w potokach przejeżdżających przez płaszczyznę kolizji  $Q_N$ ; określa sumaryczne średniodobowe natężenie ruchu pojazdów relacji które przejeżdżają przez po-

wierzchnię kolizji, a które są nadrzędne w stosunku do relacji na analizowanym wlocie – patrz rys. 5.19,



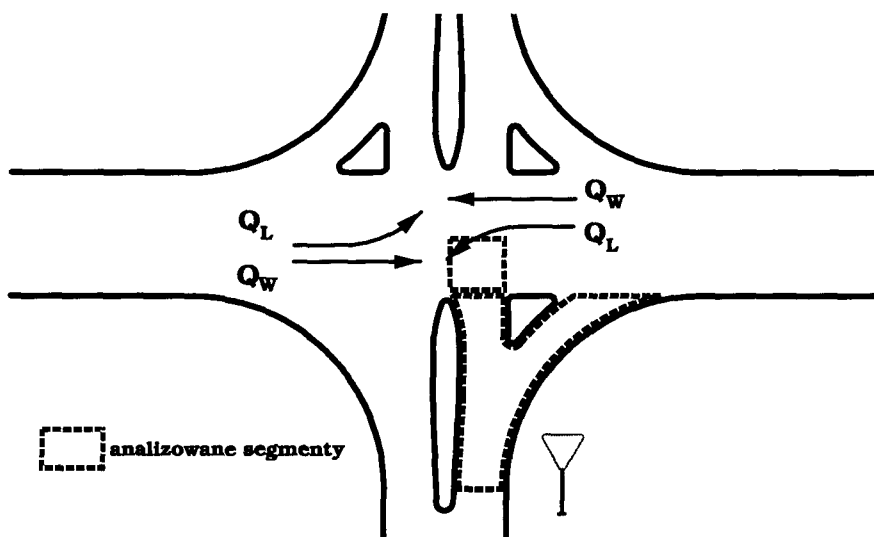
Rys. 5.19. Relacje входящие в состав отношений nadrzędnych в плоскости коллизии положеным перед анализованным влетом

- f) średniodobowe natężenie ruchu pojazdów relacji kolizyjnych  $Q_K$ ; określa sumaryczne średniodobowe natężenie ruchu pojazdów relacji, które są kolizyjne w stosunku do relacji na analizowanym wlocie – patrz rys. 5.20,



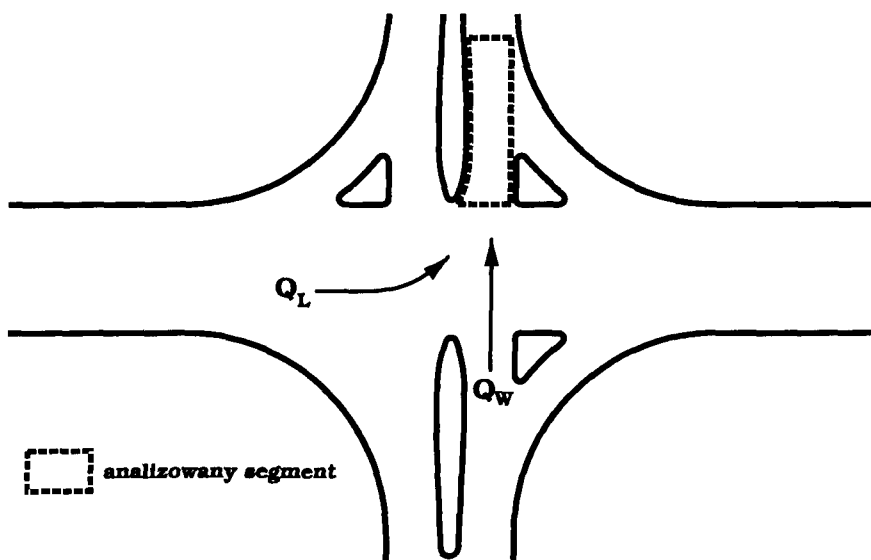
Rys. 5.20. Relacje входящие в состав отношений коллизyjnych в отношении relacji на анализованном влетом

- g) średniodobowe natężenie ruchu pojazdów relacji nadrzędnych  $Q_{NW}$ , określa sumaryczne średniodobowe natężenie ruchu pojazdów relacji nadrzędnych w stosunku do relacji analizowanego wlotu – patrz rys. 5.21,



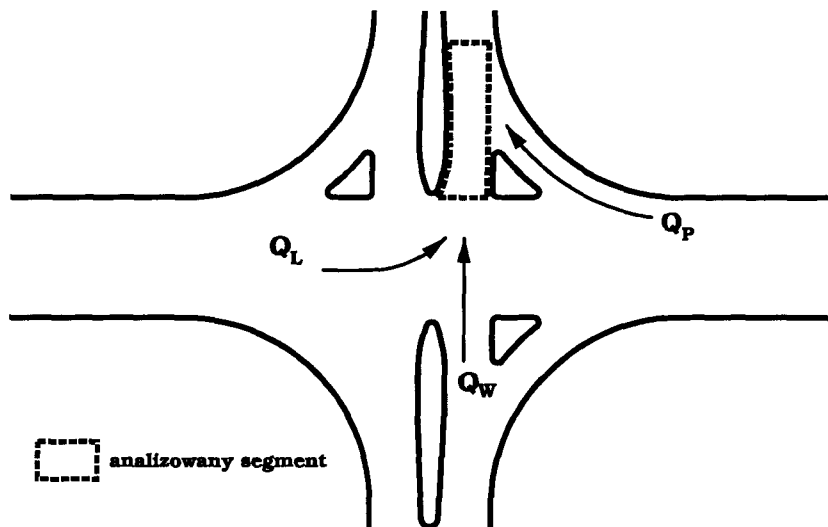
Rys. 5.21. Relacje wchodzące w skład relacji nadrzędnych w stosunku do relacji analizowanego wlotu

- h) średniodobowe natężenie ruchu pojazdów na wylocie zjeżdżających z zasadniczej płaszczyzny skrzyżowania –  $Q_{KW}$ , określa sumaryczne średniodobowe natężenie ruchu pojazdów na wylocie relacji zjeżdżających z zasadniczej płaszczyzny skrzyżowania – patrz rys. 5.22,



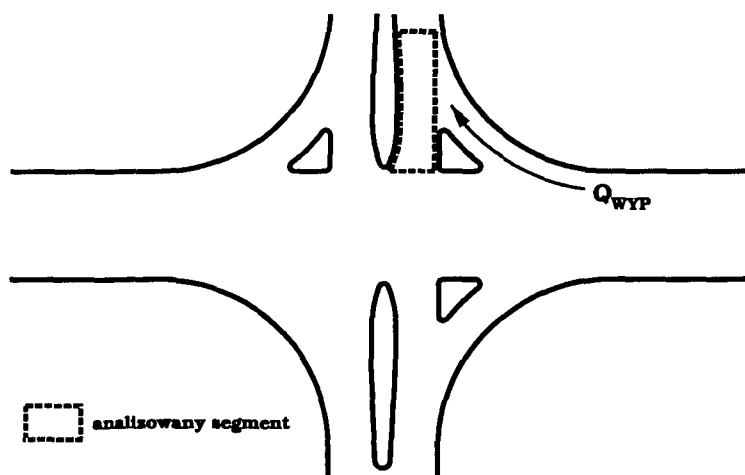
Rys. 5.22. Relacje na zasadniczej płaszczyźnie skrzyżowania wchodzące w skład potoku pojazdów na wylocie skrzyżowania

- i) średniodobowe natężenie ruchu pojazdów na wylocie skrzyżowania –  $Q_{WY}$ ; określa ono sumaryczne średniodobowe natężenie ruchu pojazdów na wylocie ze skrzyżowania – patrz rys. 5.23,



Rys. 5.23. Relacje wchodzące w skład potoku pojazdów na wylocie skrzyżowania

- j) średniodobowe natężenie ruchu pojazdów skręcających w prawo z wlotu poprzecznego; dotyczy ono pojazdów wykonujących manewr prawoskrętu z wlotu zlokalizowanego z prawej strony analizowanego segmentu –  $Q_{WYP}$  – patrz rys. 5.24,

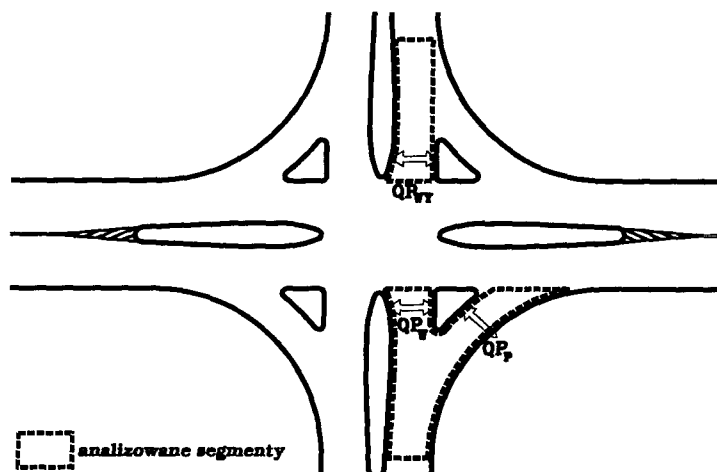


Rys. 5.24. Graficzna definicja potoku pojazdów skręcających w prawo z wlotu poprzecznego

- k) średniodobowe całkowite natężenie ruchu pojazdów na skrzyżowaniu –  $Q_c$ .
15. Udział pojazdów ciężkich:
- a) udział pojazdów ciężkich w płaszczyźnie kolizji –  $U_{PCS}$ ,
  - b) udział pojazdów ciężkich na wlocie do którego przyporządkowany jest analizowany segment –  $U_{PCW}$ .

16. Natężenie ruchu pieszych:

- a) natężenie ruchu pieszych na wlocie –  $QP_w$ ,
- b) natężenie ruchu pieszych na wydzielonej jezdni dla prawoskrętów na wlocie –  $QP_p$ ,
- c) natężenie ruchu pieszych na wlocie skrzyżowania –  $QP_{wy}$ ; patrz rys. 5.25.



Rys. 5.25. Graficzna definicja natężeń ruchu pieszych

W tabeli 5.3 przedstawiono zestawienie poszczególnych zmiennych niezależnych oraz zakres uzyskanych wartości tych zmiennych w analizach.

**Tabela 5.3.** Zakres zmienności przyjętych po wstępnej selekcji zmiennych niezależnych

L.p.	Zmienna	Jednostka	Przyjęty symbol do dalszej analizy	Symbol stosowany w programie Statistica	Zakres zmienności	
					od	do
1.	Liczba pasów ruchu na wlocie	szt.	$P_o$	PO	1	4
2.	Liczba pasów dla relacji w lewo	szt.	$P_L$	PL	0	2
3.	Liczba pasów dla relacji na wprost	szt.	$P_w$	PW	0	2
4.	Liczba pasów dla relacji w prawo	szt.	$P_R$	PR	0	2
5.	Liczba pasów dla relacji w prawo z wlotu poprzecznego	szt.	$P_{RWY}$	PRWY	0	1
6.	Promień skrętu w prawo	m	$R_p$	RP	0	128,58
7.	Promień skrętu w lewo	m	$R_L$	RL	0	150
8.	Promień skrętu w lewo z wlotu przeciwnego	m	$R_{LP}$	RLP	0	150
9.	Promień skrętu w prawo z wlotu poprzecznego	m	$R_{PWY}$	RPWY	0	128,58
10.	Odchylenie kąta przecięcia osi krzyżujących się jezdni ruchu od $90^\circ$	°	$\beta$	KAT	-79,43	72,55
11.	Pochylenie jezdni na wlocie	%	I	I	-8,16	15
12.	Szerokość pasa ruchu	m	$W_p$	WP	2,18	9,31
13.	Widoczność przy dojeździe w lewo	m	$S_L$	SL	5,4	300

14.	Widoczność przy dojeździe w prawo	m	S <sub>P</sub>	SP	4,14	300
15.	Widoczność przy dojeździe w prawo z wlotu poprzecznego	m	S <sub>PP</sub>	SPP	0	250
16.	Widoczność przy dojeździe w lewo z wlotu poprzecznego	m	S <sub>LP</sub>	SLP	0	250
17.	Prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie	km/h	V <sub>SR</sub>	VSR	33,3	100,7
18.	Prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie poprzecznym	km/h	V <sub>SP</sub>	VSP	0	95
19.	Średnia prędkość ważona pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie	km/h	V <sub>WY</sub>	VWY	0	100
20.	Długość przejścia dla pieszych na wlocie	m	DP <sub>W</sub>	DPW	0	18,46
21.	Długość przejścia dla pieszych na wydzielonej jezdni dla prawoskrętów	m	DP <sub>P</sub>	DPP	0	10,15
22.	Długość przejścia dla pieszych na wylocie	m	DP <sub>WY</sub>	DPWY	0	17,94
23.	Efektywna szerokość wlotu	m	W <sub>E</sub>	WE	2,95	66,79
24.	Powierzchnia kolizji	m <sup>2</sup>	P <sub>K</sub>	PK	0	908,68
25.	Liczba punktów kolizji na płaszczyźnie kolizji.	szt.	L <sub>PK</sub>	LPK	0	15
26.	Liczba punktów kolizji na wylocie	szt.	L <sub>PKW</sub>	LPKW	0	3
27.	Liczba punktów kolizji z tramwajem	szt.	L <sub>PKT</sub>	LPKT	0	18
28.	Liczba punktów kolizji relacji w prawo z tramwajem	szt.	L <sub>PKWT</sub>	LPKWT	0	2
29.	Krzywizna jazdy na wprost na skrzyżowaniu	l/m	K <sub>W</sub>	KW	0	0,0649
30.	Szerokość powierzchni kolizji od strony relacji podporządkowanej	m	W <sub>PK</sub>	WPK	0	33,51
31.	Natężenie ruchu pojazdów na wlocie	P/dobę	Q	Q	25	39463
32.	Natężenie ruchu pojazdów na wlocie w lewo	P/dobę	Q <sub>L</sub>	QL	0	28834
33.	Natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost	P/dobę	Q <sub>W</sub>	QW	0	38536
34.	Natężenie ruchu pojazdów na wlocie w prawo	P/dobę	Q <sub>P</sub>	QP	0	10124
35.	Natężenie ruchu pojazdów relacji nadrzędnych w płaszczyźnie kolizji	P/dobę	Q <sub>N</sub>	QN	0	40365
36.	Natężenie ruchu pojazdów kolizyjnych	P/dobę	Q <sub>K</sub>	QK	0	40365
37.	Natężenie ruchu pojazdów relacji nadrzędnych dla wlotu	P/dobę	Q <sub>NW</sub>	QNW	0	72763
38.	Natężenie ruchu pojazdów relacji kolizyjnych dla prawoskrętów	P/dobę	Q <sub>KW</sub>	QKW	0	38536
39.	Natężenie ruchu pojazdów na wylocie ze skrzyżowania	P/dobę	Q <sub>WY</sub>	QWY	12	38866
40.	Natężenie ruchu pojazdów na wlocie poprzecznym w prawo	P/dobę	Q <sub>WYP</sub>	QWYP	0	1164
41.	Całkowite natężenie ruchu pojazdów na skrzyżowaniu	P/dobę	Q <sub>C</sub>	QC	609	82172
42.	Udział pojazdów ciężkich na skrzyżowaniu	%	U <sub>PCS</sub>	UPCS	0	24,76
43.	Udział pojazdów ciężkich na wlocie	%	U <sub>PCW</sub>	UPCW	0	25,27
44.	Natężenie ruchu pieszych na wlocie zasadniczym	os./h	QP <sub>W</sub>	QPW	0	4153
45.	Natężenie ruchu pieszych na wydzielonej jezdni dla prawoskrętów	os./h	QP <sub>P</sub>	QPP	0	1500
46.	Natężenie ruchu pieszych na wylocie	os./h	QP <sub>WY</sub>	QPWY	0	4153



### 5.3 SELEKCJA ZMIENNYCH NIEZALEŻNYCH

Kolejnym krokiem analizy była etapowa selekcja zmiennych niezależnych. Selekcja zmiennych niezależnych obejmowała następujące etapy:

1. Pierwszy etap – przyporządkowanie poszczególnym zmiennym zależnym zmiennych niezależnych mogących, z fizycznego punktu widzenia, mieć wpływ na daną zmienną zależną.
2. Drugi etap – wykluczenie zmiennych wykazujących zbyt mały rozrzut wartości wśród analizowanych danych.
3. Trzeci etap – wykluczenie zmiennych wykazujących silną wzajemną korelację.
4. Czwarty etap – wykluczenie zmiennych wykazujących zbyt słabą korelację ze zmienną zależną.

#### Pierwszy etap selekcji

W pierwszym etapie selekcji dokonano fizycznej oceny wpływu poszczególnych zmiennych niezależnych na zmienne zależne. W wyniku tej analizy wyselekcjonowano zmienne niezależne mogące mieć wpływ na konkretne zmienne zależne – patrz tabela 5.4.

**Tabela 5.4.** Wykaz zmiennych niezależnych mogących mieć wpływ na poszczególne zmienne zależne.

Lp.	Zmienna zależna	Zmienna niezależna
1.	ZTXA	$P_O, P_L, P_W, P_R, R_P, R_L, R_{LP}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, S_{PP}, V_{SR}, V_{SP}, DP_W, DP_P, W_E, P_K, L_{PK}, L_{PKT}, L_{PKWT}, K_W, W_{PK}, Q, Q_L, Q_W, Q_P, Q_N, Q_K, Q_{NW}, Q_{KW}, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}, QP_W, QP_P$
2.	ZTXB	$P_O, P_L, P_W, P_R, R_P, R_L, R_{LP}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, S_{PP}, V_{SR}, V_{SP}, DP_W, DP_P, W_E, P_K, L_{PK}, L_{PKT}, L_{PKWT}, K_W, W_{PK}, Q, Q_L, Q_W, Q_P, Q_K, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}, QP_W, QP_P,$
3.	ZTXC	$P_O, P_L, P_W, P_{RWY}, R_L, R_{LP}, R_{RWY}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, V_{SR}, V_{SP}, V_{WY}, DP_{WY}, P_K, L_{PK}, L_{PKW}, K_W, Q, Q_L, Q_W, Q_N, Q_K, Q_{NW}, Q_{WY}, Q_{WYP}, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}, QP_{WY}$
4.	ZTXD	$P_O, P_L, P_W, P_{RWY}, R_L, R_{RWY}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, V_{SR}, V_{WY}, DP_{WY}, P_K, L_{PK}, L_{PKW}, K_W, Q, Q_L, Q_W, Q_K, Q_{WY}, Q_{WYP}, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}, QP_{WY}$
5.	ZTXE	$P_O, P_L, P_W, P_R, R_P, R_L, R_{LP}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, V_{SR}, V_{SP}, W_E, P_K, L_{PK}, L_{PKW}, L_{PKT}, K_W, W_{PK}, Q, Q_L, Q_W, Q_P, Q_N, Q_K, Q_{NW}, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}, QP_W$
6.	ZTXF	$P_O, P_L, P_W, P_R, R_P, R_L, R_{LP}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, S_{PP}, V_{SR}, V_{SP}, W_E, P_K, L_{PK}, L_{PKW}, L_{PKT}, K_W, W_{PK}, Q, Q_L, Q_W, Q_P, Q_K, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}$

7.	ZBXA	$P_O, P_L, P_W, P_R, R_P, R_L, R_{LP}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, S_{PP}, V_{SR}, V_{SP}, DP_W, DP_P, W_E, P_K, L_{PK}, L_{PKT}, L_{PKWT}, K_W, W_{PK}, Q, Q_L, Q_W, Q_P, Q_N, Q_K, Q_{NW}, Q_{KW}, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}, QP_W, QP_P$
8.	ZBXB	$P_O, P_L, P_W, P_R, R_P, R_L, R_{LP}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, S_{PP}, V_{SR}, V_{SP}, DP_W, DP_P, W_E, P_K, L_{PK}, L_{PKT}, L_{PKWT}, K_W, W_{PK}, Q, Q_L, Q_W, Q_P, Q_K, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}, QP_W, QP_P$
9.	ZBXC	$P_O, P_L, P_W, P_{RWY}, R_L, R_{LP}, R_{RWY}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, V_{SR}, V_{SP}, V_{WY}, DP_{WY}, P_K, L_{PK}, L_{PKW}, K_W, Q, Q_L, Q_W, Q_N, Q_K, Q_{NW}, Q_{WY}, Q_{WYP}, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}, QP_{WY}$
10.	ZBXD	$P_O, P_L, P_W, P_{RWY}, R_L, R_{RWY}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, V_{SR}, V_{WY}, DP_{WY}, P_K, L_{PK}, L_{PKW}, K_W, Q, Q_L, Q_W, Q_K, Q_{WY}, Q_{WYP}, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}, QP_{WY}$
11.	ZBXE	$P_O, P_L, P_W, P_R, R_P, R_L, R_{LP}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, V_{SR}, V_{SP}, W_E, P_K, L_{PK}, L_{PKW}, L_{PKT}, K_W, W_{PK}, Q, Q_L, Q_W, Q_P, Q_N, Q_K, Q_{NW}, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}, QP_W$
12.	ZBXF	$P_O, P_L, P_W, P_R, R_P, R_L, R_{LP}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, S_{PP}, V_{SR}, V_{SP}, W_E, P_K, L_{PK}, L_{PKW}, L_{PKT}, K_W, W_{PK}, Q, Q_L, Q_W, Q_P, Q_K, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}$
13.	ZPXA	$P_O, P_L, P_W, P_R, R_P, R_L, R_{LP}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, S_{PP}, V_{SR}, V_{SP}, DP_W, DP_P, W_E, P_K, L_{PK}, L_{PKT}, L_{PKWT}, K_W, W_{PK}, Q, Q_L, Q_W, Q_P, Q_N, Q_K, Q_{NW}, Q_{KW}, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}, QP_W, QP_P$
14.	ZPXB	$P_O, P_L, P_W, P_R, R_P, R_L, R_{LP}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, S_{PP}, V_{SR}, V_{SP}, DP_W, DP_P, W_E, P_K, L_{PK}, L_{PKT}, L_{PKWT}, K_W, W_{PK}, Q, Q_L, Q_W, Q_P, Q_K, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}, QP_W, QP_P$
15.	ZPXD	$P_O, P_L, P_W, P_{RWY}, R_L, R_{RWY}, \beta, I, W_P, S_L, S_P, V_{SR}, V_{WY}, DP_{WY}, P_K, L_{PK}, L_{PKW}, K_W, Q, Q_L, Q_W, Q_K, Q_{WY}, Q_{WYP}, Q_C, U_{PCS}, U_{PCW}, QP_{WY}$

### Drugi etap selekcji

Do dokonania selekcji zmiennych niezależnych w drugim etapie wykorzystano współczynnik zmienności [55]:

$$v_i = \frac{s_i}{\bar{x}_i} \quad (5.2)$$

gdzie:

$s_i$  – odchylenie standardowe zmiennej  $X_i$ ,

$\bar{x}_i$  – wartość średnia zmiennej  $X_i$ .

Powyższy współczynnik został obliczony do wszystkich zmiennych niezależnych. Jako wartość graniczną współczynnika zmienności przyjęto wartość 0,1 [55].

W tabeli 5.5 przedstawiono zmienne niezależne nieprzydatne do budowy modeli w odniesieniu do konkretnych zmiennych zależnych z uwagi na zbyt niską wartość współczynnika zmienności.

**Tabela 5.5.** Zmienne niezależne o zbyt małej zmienności

Lp.	Zmienna zależna	Zmienna niezależna	Współczynnik zmienności
1.	ZPXF	DP <sub>P</sub>	<0,1
2.	ZPXF	L <sub>PKWT</sub>	<0,1
3.	ZPXF	QP <sub>P</sub>	<0,1

### Trzeci etap selekcji

Trzeci etap selekcji obejmował analizę poziomu korelacji występujących pomiędzy wszystkimi parami zmiennych niezależnych. Silne wzajemne skorelowanie zmiennych niezależnych powoduje zjawisko katalizy, czyli wzrost współczynnika korelacji wielorakiej wynikający nie z faktu odpowiednio dobranych zmiennych niezależnych oraz poprawnie zbudowanego modelu regresji, lecz w wyniku wzajemnego skorelowania zmiennych objaśniających [2, 55].

W tabeli 5.6 przedstawiono zmienne niezależne wykazujące silne wzajemne skorelowanie. W analizach tych uznano, iż silna korelacja między zmiennymi występuje wtedy, kiedy współczynnik korelacji  $R \geq 0,70$ .

**Tabela 5.6.** Wykaz zmiennych niezależnych opisujących poszczególne segmenty skrzyżowania, które okazały się silnie skorelowane z innymi zmiennymi niezależnymi

A) Segmenty: A, C, E

		Zmienne niezależne										
		P <sub>O</sub>	P <sub>W</sub>	P <sub>K</sub>	Q	Q <sub>W</sub>	Q <sub>K</sub>	Q <sub>N</sub>	Q <sub>NW</sub>	Q <sub>KW</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>WY</sub>
Zmienne niezależne	P <sub>O</sub>	X	0,80	0,80	0,84	0,75						
	P <sub>W</sub>	0,80	X		0,76	0,82						0,82
	P <sub>K</sub>	0,80		X								
	Q	0,84	0,76		X	0,88						0,80
	Q <sub>W</sub>	0,75	0,82		0,88	X						0,94
	Q <sub>K</sub>						X	0,98	0,92	0,94	0,82	
	Q <sub>N</sub>						0,98	X	0,96	0,94	0,78	
	Q <sub>NW</sub>						0,92	0,95	X	0,93		
	Q <sub>KW</sub>						0,94	0,94	0,93	X		
	Q <sub>C</sub>						0,84	0,78			X	
Q <sub>WY</sub>		0,82		0,80	0,94						X	

B) Segmenty: B, D, F

		Zmienne niezależne					
		P <sub>O</sub>	P <sub>W</sub>	Q	Q <sub>W</sub>	Q <sub>C</sub>	Q <sub>WY</sub>
Zmienne niezależne	P <sub>O</sub>	<del> </del>	0,82	<del> </del>	<del> </del>	<del> </del>	<del> </del>
	P <sub>W</sub>	0,82	<del> </del>	<del> </del>	<del> </del>	<del> </del>	<del> </del>
	Q	<del> </del>	<del> </del>	<del> </del>	0,97	0,93	0,97
	Q <sub>W</sub>	<del> </del>	<del> </del>	0,97	<del> </del>	0,91	0,99
	Q <sub>C</sub>	<del> </del>	<del> </del>	0,93	0,91	<del> </del>	0,92
	Q <sub>WY</sub>	<del> </del>	<del> </del>	0,97	0,99	0,92	<del> </del>

**Czwarty etap selekcji**

Czwarty etap selekcji zmiennych niezależnych polegał na wyeliminowaniu z analizy tych zmiennych niezależnych, które wykazują niski poziom korelacji pomiędzy poszczególnymi wyselekcjonowanymi zmiennymi niezależnymi a wybranymi zmiennymi zależnymi. W analizie tej przyjęto, że niski poziom korelacji występuje wówczas, jeśli współczynnik korelacji  $R < 0,20$ .

W tabeli 5.7 przedstawiono zmienne niezależne, które pozostały po trzecim etapie selekcji i które wykazywały wpływ na zmienne zależne.

**Tabela 5.7.** Zmienne niezależne wykazujące korelację ze zmienną zależną

Lp.	Zmienna zależna	Zmienna niezależna	Współczynnik korelacji
1	2	3	4
1.	ZTXA - Tylne ekwiwalentne zderzenie pojazdów na wlocie podporządkowanym	Liczba pasów ruchu na wlocie - P <sub>O</sub>	0,72
		Liczba pasów dla relacji w lewo - P <sub>L</sub>	0,41
		Liczba pasów dla relacji na wprost - P <sub>W</sub>	0,67
		Liczba pasów dla relacji w prawo - P <sub>R</sub>	0,35
		Promień skrętu w prawo - R <sub>P</sub>	0,43
		Promień skrętu w lewo - R <sub>L</sub>	0,28
		Promień skrętu w lewo z wlotu przeciwnego - R <sub>LP</sub>	0,29
		Widoczność przy dojeździe w lewo - S <sub>L</sub>	0,25
		Prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie - V <sub>SR</sub>	0,64
		Długość przejścia dla pieszych na wydzielonej jezdni dla prawoskrętów - DP <sub>P</sub>	0,44
		Efektywna szerokość wlotu - W <sub>E</sub>	0,31
		Powierzchnia kolizji - P <sub>K</sub>	0,56
		Liczba punktów kolizji z tramwajem - L <sub>PKT</sub>	0,43
		Szerokość powierzchni kolizji od strony relacji podporządkowanej - W <sub>PK</sub>	0,40

		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie - Q	0,68
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie w lewo - $Q_L$	0,46
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost - $Q_W$	0,61
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie w prawo - $Q_P$	0,56
		Natężenie ruchu pojazdów relacji nadrzędnych w płaszczyźnie kolizji - $Q_N$	0,37
		Natężenie ruchu pojazdów kolizyjnych - $Q_K$	0,46
		Natężenie ruchu pojazdów relacji nadrzędnych dla wlotu - $Q_{NW}$	0,31
		Całkowite natężenie ruchu pojazdów na skrzyżowaniu - $Q_C$	0,64
		Udział pojazdów ciężkich na wlocie - $U_{PCW}$	0,30
		Natężenie ruchu pieszych na wydzielonej jezdni dla prawoskrętów - $Q_{Pp}$	0,42
2.	ZTXB - Tylne ekwiwalentne zderzenie pojazdów na wlocie nadrzędnym	Liczba pasów ruchu na wlocie - $P_O$	0,26
		Liczba pasów dla relacji na wprost - $P_W$	0,42
		Widoczność przy dojeździe w lewo - $S_L$	0,34
		Widoczność przy dojeździe w prawo z wlotu poprzecznego - $S_{PP}$	0,29
		Prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie - $V_{SR}$	0,50
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie - Q	0,70
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost - $Q_W$	0,75
		Całkowite natężenie ruchu pojazdów na skrzyżowaniu - $Q_C$	0,67
		Udział pojazdów ciężkich na wlocie - $U_{PCW}$	0,47
		Natężenie ruchu pieszych na wlocie zasadniczym - $Q_{Pw}$	0,29
3.	ZTXC - Tylne ekwiwalentne zderzenie pojazdów na wylocie wlotu podporządkowanego	Liczba pasów ruchu na wlocie - $P_O$	0,57
		Liczba pasów dla relacji w lewo - $P_L$	0,41
		Liczba pasów dla relacji na wprost - $P_W$	0,53
		Promień skrętu w prawo z wlotu poprzecznego - $R_{PwY}$	0,53
		Widoczność przy dojeździe w lewo - $S_L$	0,38
		Prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie - $V_{SR}$	0,51
		Średnia prędkość ważona pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wylocie - $V_{WY}$	0,26
		Powierzchnia kolizji - $P_K$	0,37
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie - Q	0,41
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie w lewo - $Q_L$	0,21
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost - $Q_W$	0,54
		Natężenie ruchu pojazdów relacji nadrzędnych w płaszczyźnie kolizji - $Q_N$	0,53
		Natężenie ruchu pojazdów kolizyjnych - $Q_K$	0,61
		Natężenie ruchu pojazdów relacji nadrzędnych dla wlotu - $Q_{NW}$	0,49
		Całkowite natężenie ruchu pojazdów na skrzyżowaniu - $Q_C$	0,59
		Udział pojazdów ciężkich na wlocie - $U_{PCW}$	0,61
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie poprzecznym w prawo - $Q_{WYP}$	0,65
		Natężenie ruchu pojazdów na wylocie ze skrzyżowania - $Q_{WY}$	0,67
4.	ZTXD - Tylne ekwiwalentne zderzenie pojazdów na wylocie wlotu nadrzędnego	Liczba pasów ruchu na wlocie - $P_O$	0,26
		Liczba pasów dla relacji na wprost - $P_W$	0,47
		Prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie - $V_{SR}$	0,53
		Średnia prędkość ważona pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wylocie - $V_{WY}$	0,54
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie - Q	0,60
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost - $Q_W$	0,64
		Całkowite natężenie ruchu pojazdów na skrzyżowaniu - $Q_C$	0,65
		Udział pojazdów ciężkich na wlocie - $U_{PCW}$	0,53
		Natężenie ruchu pieszych na wylocie - $Q_{PwY}$	0,40

5.	ZTXE - Tylne ekwiwalentne zderzenie pojazdów na płaszczyźnie kolizji wlotu podporządkowanego	Natężenie ruchu pojazdów na wylocie ze skrzyżowania - $Q_{WY}$	0,66
		Liczba pasów ruchu na wlocie - $P_o$	0,64
		Liczba pasów dla relacji w lewo - $P_L$	0,48
		Liczba pasów dla relacji na wprost - $P_W$	0,66
		Widoczność przy dojeździe w lewo - $S_L$	0,65
		Prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie - $V_{SR}$	0,59
		Powierzchnia kolizji - $P_K$	0,61
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie - $Q$	0,59
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost - $Q_W$	0,65
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie w lewo - $Q_L$	0,39
		Natężenie ruchu pojazdów kolizyjnych - $Q_K$	0,25
		Całkowite natężenie ruchu pojazdów na skrzyżowaniu - $Q_C$	0,51
		Udział pojazdów ciężkich na wlocie - $U_{PCW}$	0,47
Natężenie ruchu pieszych na wylocie - $QP_{WY}$	0,36		
6.	ZTXF - Tylne ekwiwalentne zderzenie pojazdów na płaszczyźnie kolizji przyporządkowanej do wlotu nadrzędnego	Prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie poprzecznym - $V_{SP}$	0,31
		Powierzchnia kolizji - $P_K$	0,24
		Liczba punktów kolizji z tramwajem - $L_{PKT}$	0,31
7.	ZBXA – Boczne ekwiwalentne zderzenie pojazdów na wlocie podporządkowanym	Liczba pasów ruchu na wlocie – $P_o$	0,54
		Liczba pasów dla relacji w lewo - $P_L$	0,42
		Liczba pasów dla relacji na wprost - $P_W$	0,47
		Promień skrętu w prawo - $R_P$	0,33
		Prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie - $V_{SR}$	0,34
		Efektywna szerokość wlotu - $W_E$	0,47
		Powierzchnia kolizji - $P_K$	0,40
		Liczba punktów kolizji z tramwajem - $L_{PKT}$	0,39
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie - $Q$	0,64
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie w lewo - $Q_L$	0,56
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost - $Q_W$	0,48
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie w prawo - $Q_P$	0,36
		Natężenie ruchu pojazdów relacji nadrzędnych w płaszczyźnie kolizji - $Q_N$	0,34
		Natężenie ruchu pojazdów kolizyjnych - $Q_K$	0,39
Całkowite natężenie ruchu pojazdów na skrzyżowaniu - $Q_C$	0,53		
Udział pojazdów ciężkich na wlocie - $U_{PCW}$	0,72		
8.	ZBXB – Boczne ekwiwalentne zderzenie pojazdów na wlocie nadrzędnym	Liczba punktów kolizji z tramwajem - $L_{PKT}$	0,43
9.	ZBXC – Boczne ekwiwalentne zderzenie pojaz-	Krzywizna jazdy na wprost na skrzyżowaniu - $K_W$	0,58
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie - $Q$	0,23
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost - $Q_W$	0,33
		Natężenie ruchu pojazdów relacji nadrzędnych w płaszczyźnie kolizji - $Q_N$	0,26

	dów na wylocie wlotu podporządkowanego	Natężenie ruchu pojazdów kolizyjnych - $Q_K$	0,28
		Natężenie ruchu pojazdów relacji nadrzędnych dla wlotu - $Q_{NW}$	0,28
		Całkowite natężenie ruchu pojazdów na skrzyżowaniu - $Q_C$	0,26
		Natężenie ruchu pieszych na wylocie - $Q_{P_{WY}}$	0,24
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie poprzecznym w prawo - $Q_{WYP}$	0,26
		Natężenie ruchu pojazdów na wylocie ze skrzyżowania - $Q_{WY}$	0,42
10.	ZBXD – Boczne ekwiwalentne zderzenie pojazdów na wylocie wlotu nadrzędnego	Udział pojazdów ciężkich na skrzyżowaniu - $U_{PCS}$	0,34
11.	ZBXE – Boczne ekwiwalentne zderzenie pojazdów na płaszczyźnie kolizji wlotu podrzędnego	Liczba pasów ruchu na wlocie - $P_O$	0,79
		Liczba pasów dla relacji w lewo - $P_L$	0,50
		Liczba pasów dla relacji na wprost - $P_W$	0,71
		Liczba pasów dla relacji w prawo - $P_R$	0,33
		Promień skrętu w prawo - $R_P$	0,31
		Promień skrętu w lewo - $R_L$	0,27
		Widoczność przy dojeździe w lewo - $S_L$	0,30
		Prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie - $V_{SR}$	0,60
		Efektywna szerokość wlotu - $W_E$	0,29
		Powierzchnia kolizji - $P_K$	0,60
		Liczba punktów kolizji z tramwajem - $L_{PKT}$	0,33
		Szerokość powierzchni kolizji od strony relacji podporządkowanej - $W_{PK}$	0,33
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie - $Q$	0,68
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie w lewo - $Q_L$	0,56
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost - $Q_W$	0,64
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie w prawo - $Q_P$	0,31
		Natężenie ruchu pojazdów relacji nadrzędnych w płaszczyźnie kolizji - $Q_N$	0,29
		Natężenie ruchu pojazdów kolizyjnych - $Q_K$	0,37
Natężenie ruchu pojazdów relacji nadrzędnych dla wlotu - $Q_{NW}$	0,22		
Całkowite natężenie ruchu pojazdów na skrzyżowaniu - $Q_C$	0,58		
Udział pojazdów ciężkich na wlocie - $U_{PCW}$	0,33		
12.	ZBXF – Boczne ekwiwalentne zderzenie pojazdów na płaszczyźnie kolizji przyporządkowanej do wlotu nadrzędnego	Liczba pasów dla relacji w lewo - $P_L$	0,24
		Promień skrętu w prawo - $R_P$	0,34
		Prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie poprzecznym - $V_{SP}$	0,56
		Efektywna szerokość wlotu - $W_E$	0,27
		Powierzchnia kolizji - $P_K$	0,54
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie w lewo - $Q_L$	0,23
		Natężenie ruchu pojazdów kolizyjnych - $Q_K$	0,24
13.	ZPXA - Zdarzenia z udziałem pieszych na wlo-	Liczba pasów ruchu na wlocie - $P_O$	0,55
		Liczba pasów dla relacji w lewo - $P_L$	0,42
		Liczba pasów dla relacji na wprost - $P_W$	0,47
		Liczba pasów dla relacji w prawo - $P_R$	0,33
		Widoczność przy dojeździe w lewo - $S_L$	0,41

	cie podporządkowanym	Prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie - $V_{SR}$	0,34
		$DP=(DPW+DPP)$	0,39
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie - $Q$	0,42
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie w lewo - $Q_L$	0,23
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost - $Q_W$	0,52
		Całkowite natężenie ruchu pojazdów na skrzyżowaniu - $Q_C$	0,51
		Udział pojazdów ciężkich na wlocie - $U_{PCW}$	0,45
		Natężenie ruchu pieszych na wlocie zasadniczym - $QP_W$	0,36
14.	ZPXB - Zdarzenia z udziałem pieszych na wlocie nadrzędnym	Liczba pasów ruchu na wlocie - $P_O$	0,42
		Liczba pasów dla relacji na wprost - $P_W$	0,44
		Prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie poprzecznym - $V_{SR}$	0,67
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie - $Q$	0,56
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost - $Q_W$	0,57
		Całkowite natężenie ruchu pojazdów na skrzyżowaniu - $Q_C$	0,54
		Udział pojazdów ciężkich na wlocie - $U_{PCW}$	0,30
		Natężenie ruchu pieszych na wlocie zasadniczym - $QP_W$	0,47
15.	ZPXD - Zdarzenia z udziałem pieszych na wylocie wlotu nadrzędnego	Liczba pasów ruchu na wlocie - $P_O$	0,34
		Liczba pasów dla relacji na wprost - $P_W$	0,40
		Prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie - $V_{SR}$	0,36
		Średnia prędkość ważona pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wylocie - $V_{WY}$	0,66
		Długość przejścia dla pieszych na wylocie - $DP_{WY}$	0,21
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie - $Q$	0,47
		Natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost - $Q_W$	0,47
		Całkowite natężenie ruchu pojazdów na skrzyżowaniu - $Q_C$	0,53
		Natężenie ruchu pojazdów na wylocie ze skrzyżowania - $Q_{WY}$	0,50
Natężenie ruchu pieszych na wylocie - $QP_{WY}$	0,67		

## 5.4 OKREŚLENIE WYJŚCIOWYCH MODELI

Przy poszukiwaniu wyjściowych modeli posłużono się wielowymiarową analizą regresji z wykorzystaniem pakietu Statistica [71], która jest zalecana przy określaniu mikromodeli [40]. W analizach założono stosowanie liniowej postaci funkcji z użyciem nieliniarnych zależności poszczególnych zmiennych niezależnych [29].

$$y_i = \sum_{j=1}^n \beta_j \cdot g(x_j) + e_i \quad (5.3)$$

gdzie:

- $y_i$  – zmienna zależna opisująca liczbę zdarzeń i-tego rodzaju,
- $\beta_j$  – współczynnik kierunkowy przy zmiennej niezależnej „j” szacowany w oparciu o kryterium najmniejszej sumy kwadratów różnic pomiędzy wartościami estymowanymi i rejestrowanymi,
- $x_j$  – zmienna niezależna o indeksie „j”,



- $g(x_j)$  – funkcja danej zmiennej niezależnej  $x_j$ ,
- $e_i$  – stały współczynnik regresji ustalany analogicznie jak współczynniki  $\beta$ ,
- $n$  – liczba zmiennych niezależnych.

Powyżej przedstawiona postać funkcji daje z jednej strony dobry opis wpływu poszczególnych czynników (o dużym procencie wyjaśnienia zjawiska) oraz z drugiej – komunikatywną konstrukcję wzoru umożliwiającą w przyszłości stosunkowo prostą jego korektę i rozszerzenie o kolejne zmienne niezależne, np. w przypadku uaktualnianiu funkcji. Problem ten jest bardzo istotny z punktu widzenia przyjętej metody szacowania liczby zdarzeń drogowych.

W pierwszym kroku analiz rozpatrywano wpływ pojedynczych czynników na zmienne zależne. Starano się określić rodzaj występującej zależności. Następnie posługując się metodą krokową [2] – budowano konkretne modele w odniesieniu do danych pakietów zmiennych zależnych. W tabeli 5.8 zestawiono przyjęte ostateczne modele liczby zdarzeń drogowych.

**Tabela 5.8.** Opracowane wyjściowe modele opisujące poszczególne rodzaje zdarzeń wraz z ocenami ich zgodności

Lp.	Zmienna zależna	Jednostki	Postać funkcji	Współczynnik korelacji	Współczynnik determinacji
1.	ZTXA	[ekw. zdarzeń/5 lat]	$= (-5,253) + 0,00005 * V_{SR}^3 + 0,09408 * R_P - 0,203 * U_{PCW} + 0,00015 * Q_K + 0,00185 * Q_P + 0,00088 * Q_L + 1,0637 * L_{PKT} + 0,00247 * R_L + 0,00093 * Q_W - 0,26337 * W_{PK}$	0,85	0,73
2.	ZTXB		$= (-5,0505) - 1,4993 * P_O^{PL} + 0,00088 * V_{SR}^2 + 0,00111 * (SQRT((Q_W+Q_L)*Q_{PW})) + 0,00059 * Q_W + 0,02504 * U_{PCW}^2$	0,83	0,69
3.	ZTXC		$= (1,406486) + 0,000179 * Q_{WY} + 0,002977 * Q_{WYP} + 0,000437 * R_{PWY}^2 - 0,00991 * V_{WY} - 0,000042 * Q_K - 0,72345 * P_W + 0,068102 * U_{PCW}$	0,80	0,65

4.	ZTXD	$= (-6,25485) + 0,0009 * \text{SQRT}(Q_{WY} * Q_{P_{WY}}) + 0,00084 * V_{WY}^2 + 0,00012 * Q_{WY} + 0,00739 * P_W + 0,45617 * U_{PCW}$	0,81	0,66
5.	ZTXE	$= (-2,37729) + 0,04254 * V_{SR} + 0,00194 * P_K - 0,07788 * P_W + 0,00036 * Q_W + 0,00205 * Q_{P_{WY}} + 1,4303 * P_L$	0,82	0,67
6.	ZBXA	$= 4,03883 + 0,00004 * Q + 0,20552 * U_{PCW} + 0,00027 * Q_L + 0,00003 * Q_K - 0,08062 * V_{SR} - 1,16729 * P_L + 0,03756 * W_E$	0,81	0,66
7.	ZBXE	$= (-18,0952) + 0,0001 * V_{SR}^3 + 24,0509 * P_W + 0,0009 * \text{SQRT}(Q * Q_K) + 0,1224 * U_{PCW}^2 + 14,998 * P_R - 0,2155 * R_P + 0,0053 * P_K + 0,0031 * Q_L$	0,83	0,69
8.	ZBXF	$= (-0,85219) + 0,000183 * V_{SP}^{2,9} - 0,000009 * \text{SQRT}(Q * Q_K) + 0,04406 * P_K - 0,860584 * P_L^{PO} - 0,164734 * W_E$	0,80	0,65
9.	ZPXB	$= (-8,89167) + 0,00313 * V_{SR}^2 + 0,0026 * \text{SQRT}(Q * Q_{P_W}) - 1,25547 * P_W - 0,05282 * U_{PCW} - 0,00109 * Q_{P_W}$	0,80	0,65
10.	ZPXD	$= (-16,5525) + 0,0054 * V_{WY}^2 + 0,0025 * \text{SQRT}(Q_W * Q_{P_{WY}}) - 1,7594 * P_O + 0,0967 * \text{SQRT}(D_{P_{WY}} * Q_{P_{WY}})$	0,81	0,66

Opracowane powyżej modele uwzględniają 10 podstawowych rodzajów zdarzeń drogowych, które stanowią 86,6% wszystkich zdarzeń występujących na skrzyżowaniach w mieście. Z uwagi na małe liczebności pozostałych rodzajów zdarzeń, w tym czołowych zderzeń pojazdów oraz zdarzeń z rowerzystami (patrz tabela 5.1), nie udało się uzyskać satysfakcjonujących modeli opisujących pozostałe zmienne zależne. Opracowanie tych modeli będzie możliwe po połączeniu baz danych systemu WZDR z kilku miast.

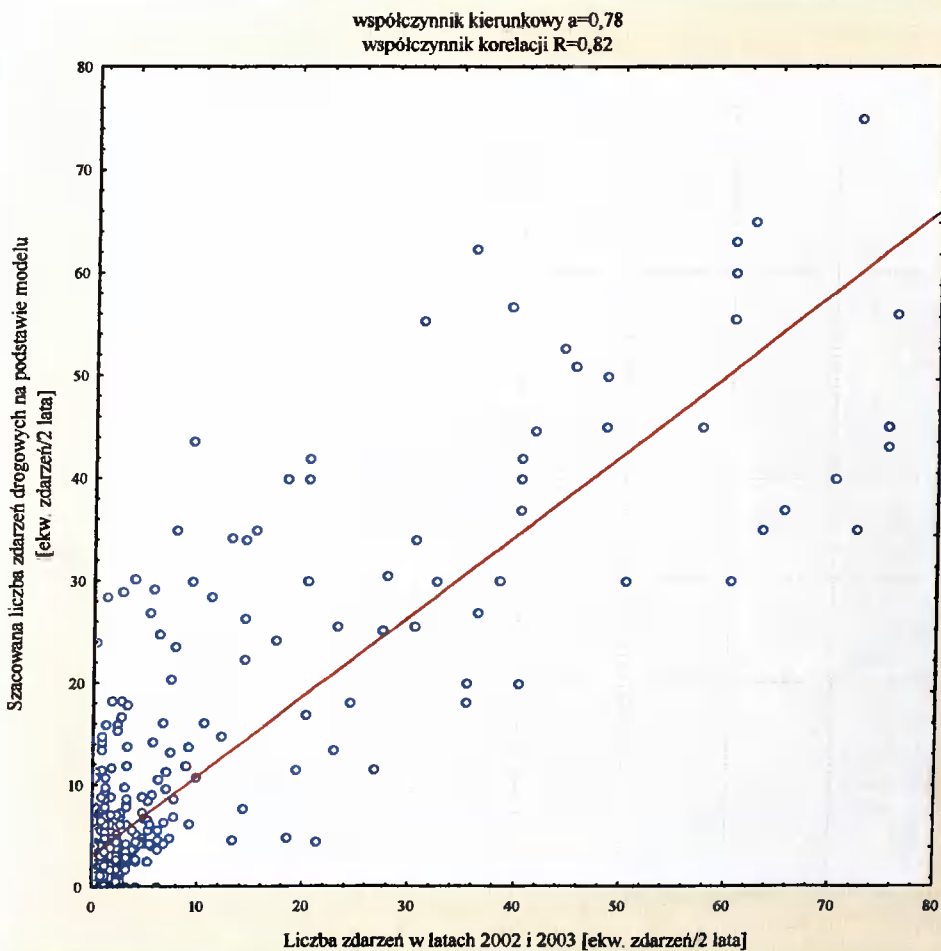
Na podstawie prowadzonych analiz związanych z oceną wpływu poszczególnych czynników na konkretne rodzaje zdarzeń drogowych można sformułować następujące spostrzeżenia:

1. Liczba tylnych zderzeń pojazdów na analizowanych skrzyżowaniach wzrasta wraz ze wzrostem: natężeń ruchu poszczególnych strumieni pojazdów, prędkości pojazdów na wlotach skrzyżowania, promieni skrętu w lewo i w prawo, udziału w ruchu pojazdów ciężkich, liczby pasów ruchu i natężenia ruchu pieszego.
2. Liczba bocznych zderzeń pojazdów uzależniona jest od analogicznych cech drogi i ruchu oraz ponadto od: widoczności powierzchni jezdni i wielkości powierzchni kolizji na skrzyżowaniu.
3. Liczba zdarzeń z pieszymi rośnie w przypadku wzrostu prędkości pojazdów, natężeń ruchu pojazdów i ruchu pieszych, udziału w ruchu pojazdów ciężkich oraz liczby pasów ruchu.
4. Niewielkie wartości współczynnika korelacji pomiędzy liczbą konkretnych zdarzeń drogowych a niektórymi zmiennymi niezależnymi (np.: wartość pochylenia jezdni na wlocie, kąta przecięcia osi danego wlotu z osią krzyżującego się wlotu sąsiedniego itd.) mogą wynikać z małego zakresu wartości tych zmiennych w analizach.

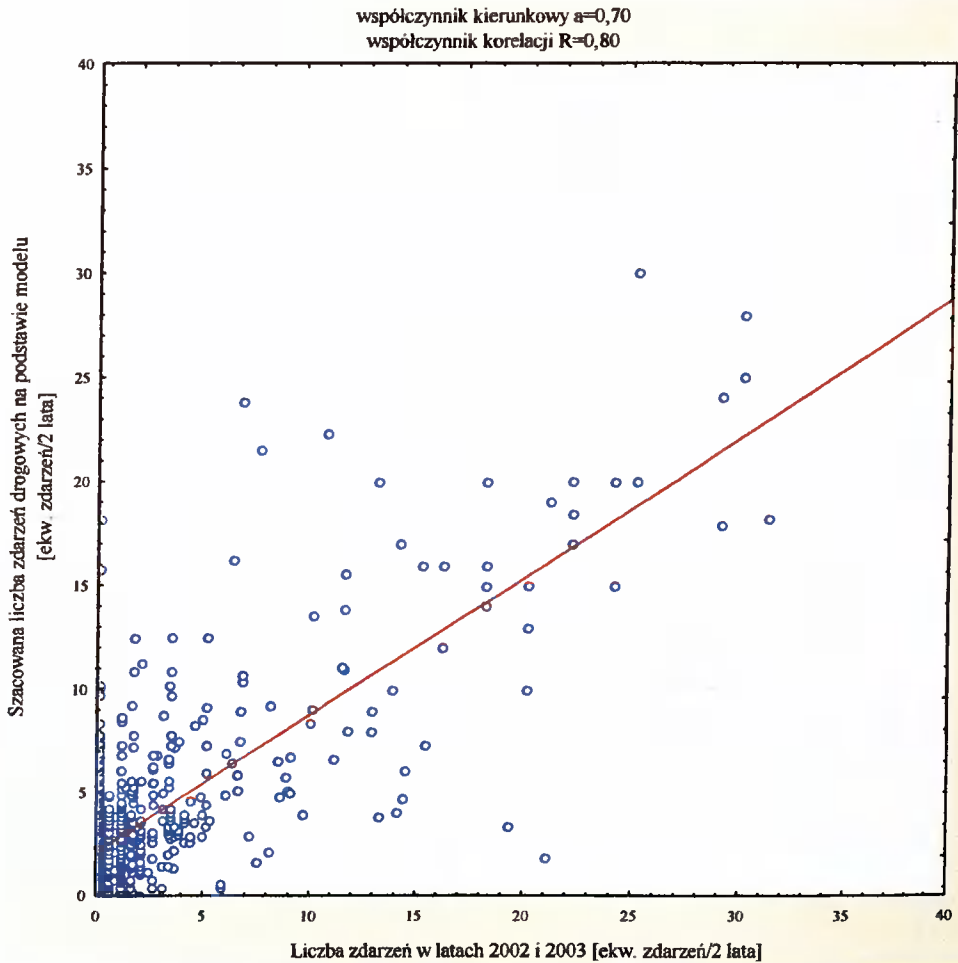
## 6. OCENA DOKŁADNOŚCI METODY

Sprawdzenie dokładności opracowanych modeli liczby zdarzeń drogowych wykonano w oparciu o analizę regresji i korelacji rzeczywistej liczby zdarzeń i liczby zdarzeń szacowanych za pomocą modelu. W analizie tej wykorzystano dane o zdarzeniach drogowych 2002 i 2003 roku zawarte w bazie danych systemu WZDR.

Na rysunku 6.1 i 6.2 przedstawiono porównanie liczby zdarzeń drogowych szacowanej na podstawie modelu i obserwowanej w latach 2002 i 2003 wraz z wartościami współczynników regresji i korelacji. Porównanie to wykonano do zdarzeń mających miejsce na ulicach podporządkowanych w obszarze skrzyżowań (wlotach, wylotach i płaszczyznach kolizji) – rys. 6.1 oraz na ulicach nadrzędnych w obszarze skrzyżowań – rys. 6.2.



Rys. 6.1. Porównanie liczby zdarzeń drogowych szacowanej na podstawie modelu i obserwowanej na ulicach podporządkowanych w obrębie skrzyżowań

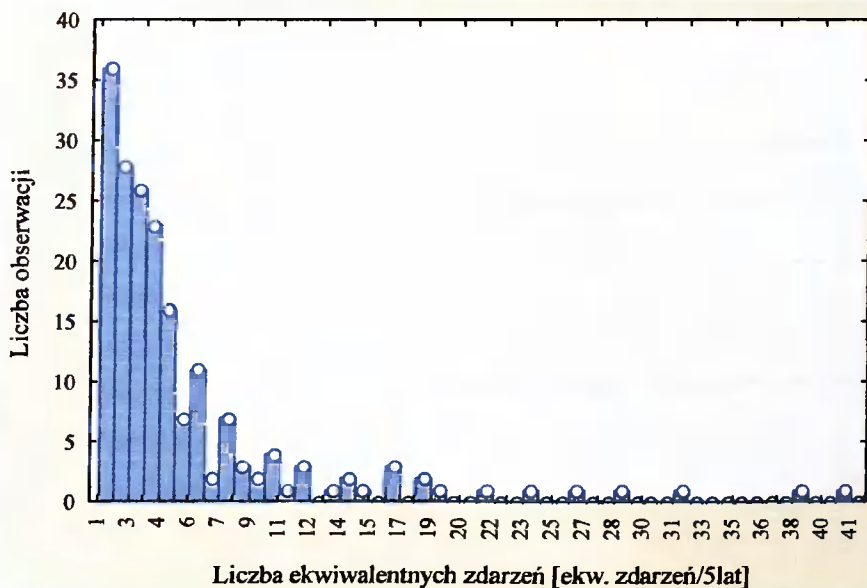


Rys. 6.2. Porównanie liczby zdarzeń drogowych szacowanej na podstawie modelu i obserwowanej na ulicach nadrzędnych w obrębie skrzyżowań

Analizując powyższe wyniki można sformułować następujące wnioski:

1. Uzyskane wartości współczynników korelacji  $R \geq 0,80$  świadczą o dobrej zgodności modelu z rzeczywistością.
2. Na błędy w zgodności modelu z rzeczywistością dodatkowy wpływ miały następujące fakty:
  - a) różny przedział czasu, z których pochodziły porównywane populacje; w przypadku zdarzeń drogowych ma to istotne znaczenie, ponieważ liczba ta ulega zmianie w czasie,
  - b) stosunkowo wąski przedział czasu (dwóch lat) wzięty do analizy porównawczej; wąski przedział powoduje uzyskanie zbyt małej liczebności niektórych prób do analizy i tym samym większy błąd przy szacowaniu danej liczby zdarzeń drogowych,

- c) niekorzystny rozkład liczby zdarzeń drogowych na analizowanych segmentach skrzyżowań z punktu widzenia dokładności szacowania funkcji regresji; rozkład ten jest rozkładem charakterystycznym w odniesieniu do wszystkich miast; polega on na dużej koncentracji przypadków o małej liczbie ekwiwalentnych zdarzeń i z kolei bardzo małej o dużej liczbie tych zdarzeń – patrz rys. 6.3.



Rys. 6.3. Histogram zmiennej zależnej - tylne zderzenia pojazdów na wlocie

3. Współczynniki regresji o wartości 0,70 i 0,78 świadczą o silnej zależności pomiędzy liczbą zdarzeń drogowych szacowanych na podstawie modelu a obserwowanymi w rzeczywistości oraz o tym, iż obserwowane różnice wynikają z czynników losowych i nie mają charakteru funkcyjnego.

## 7. PRAKTYCZNE WYKORZYSTANIE METODY

Zaproponowana metoda może być wykorzystana do wielu celów praktycznych:

- a) oceny projektów inwestycji drogowych oraz przebudowy infrastruktury drogowej w zakresie poziomu bezpieczeństwa ruchu drogowego,
- b) weryfikacji podejmowanych działań modernizacyjnych i inwestycyjnych na sieci dróg miejskich w aspekcie bezpieczeństwa ruchu drogowego,
- c) szacowania zagrożenia w ruchu na sieci drogowej miasta,
- d) oceny wpływu poszczególnych czynników drogowo-ruchowych na liczbę i rodzaj zdarzeń drogowych,
- e) utworzenia katalogu poprawnych rozwiązań dotyczących infrastruktury drogowej w aspekcie brd,
- f) opracowania zmian kryteriów projektowania infrastruktury drogowej, minimalizujących zagrożenie powstania zdarzenia drogowego oraz ich ciężkość.

W celu zobrazowania praktycznego zastosowania proponowanej metody szacowania liczby zdarzeń drogowych, przedstawiono poniżej dwa przykłady analiz bezpieczeństwa ruchu drogowego. Pierwszy przykład przedstawia analizy związane z oceną dwóch koncepcji projektu nowego skrzyżowania na sieci ulicznej miasta Bydgoszczy – skrzyżowanie ulic Nad Torem – Karolewska. Natomiast drugi przykład obrazuje analizy związane z wyborem wariantu przebudowy skrzyżowania ulic Kamienna – Gajowa.

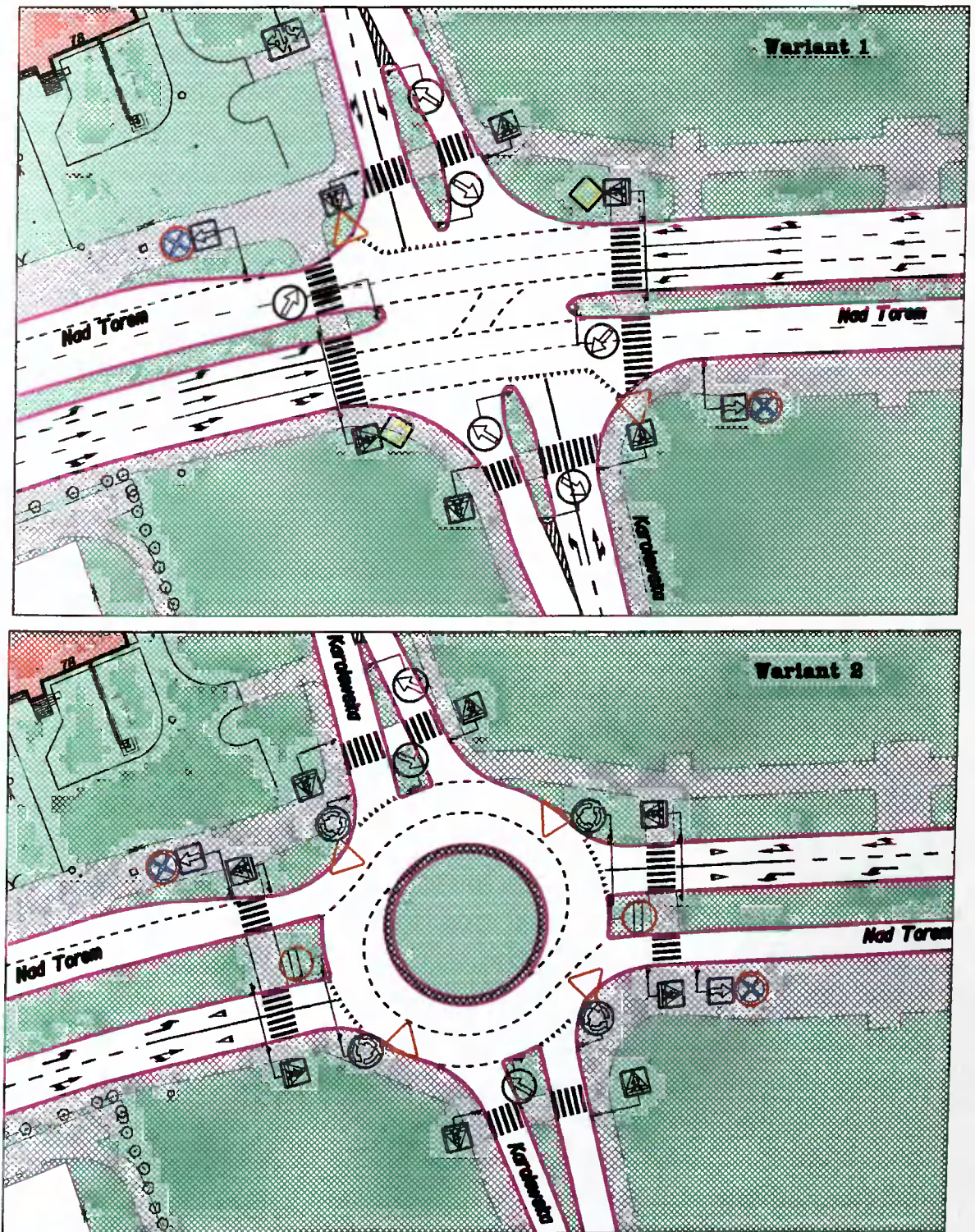
### **Skrzyżowanie ulic Nad Torem – Karolewska**

Skrzyżowanie ulic Nad Torem – Karolewska zlokalizowane jest w mieszkaniowej dzielnicy domków jednorodzinnych w Bydgoszczy. Ulica Nad Torem należy do zasadniczego układu sieci ulicznej (w jej ciągu prowadzona jest droga krajowa nr 25), natomiast ulica Karolewska jest ulicą zbiorczą zbierającą ruch z osiedla domków jednorodzinnych. Na rys. 7.1 przedstawiono dwa warianty projektowanego skrzyżowania, spełniające wymogi przepustowości.

Analizę stanu zagrożenia w ruchu drogowym do obu przypadków wariantów rozwiązania projektowego wykonano za pomocą aplikacji „Prognozowanie zdarzeń drogowych” w systemie WZDR. Przed dokonaniem obliczeń wprowadzono do bazy danych systemu WZDR informacje o projektowanych rozwiązaniach. Informacje te dotyczyły wartości wszystkich parametrów geometryczno-ruchowych istotnych w procesie obliczeń

(odpowiadających poszczególnym zmiennym niezależnym w modelach szacowania liczby zdarzeń).

Wyniki analiz zawarto w tabl. 7.1 oraz na rysunkach 7.2 i 7.3.

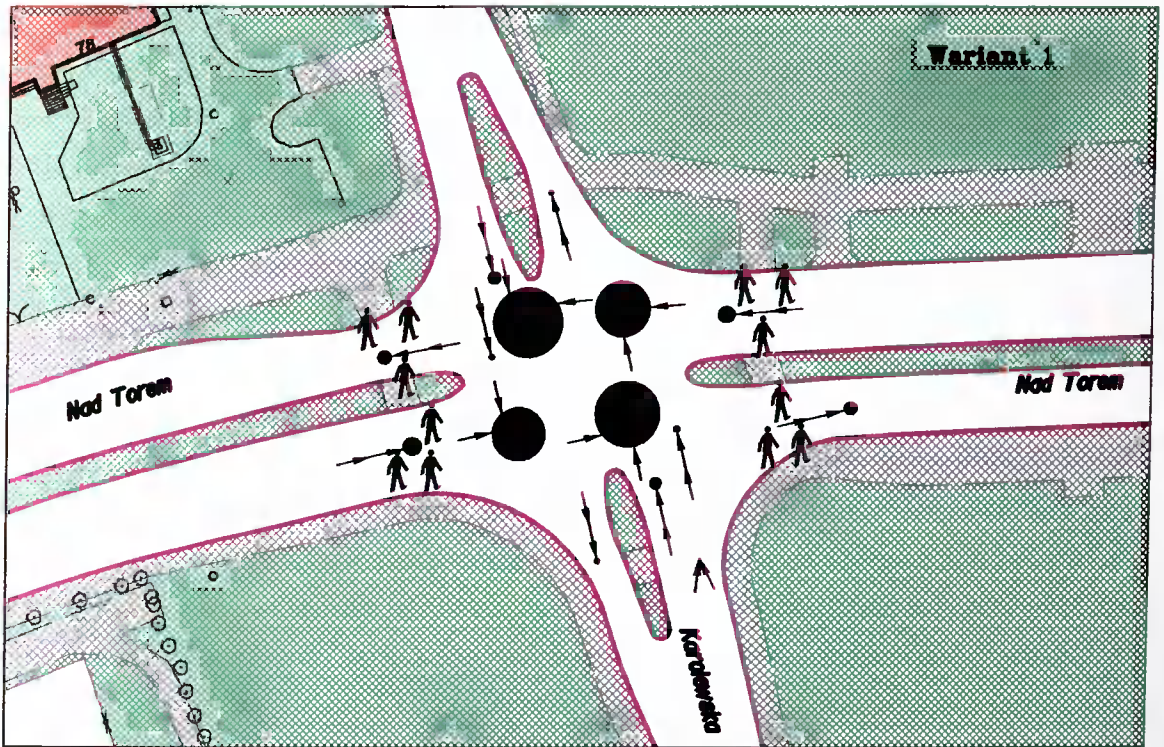


Rys. 7.1. Schematy dwóch wariantów projektowanego skrzyżowania ulic  
Nad Torem – Karolewska

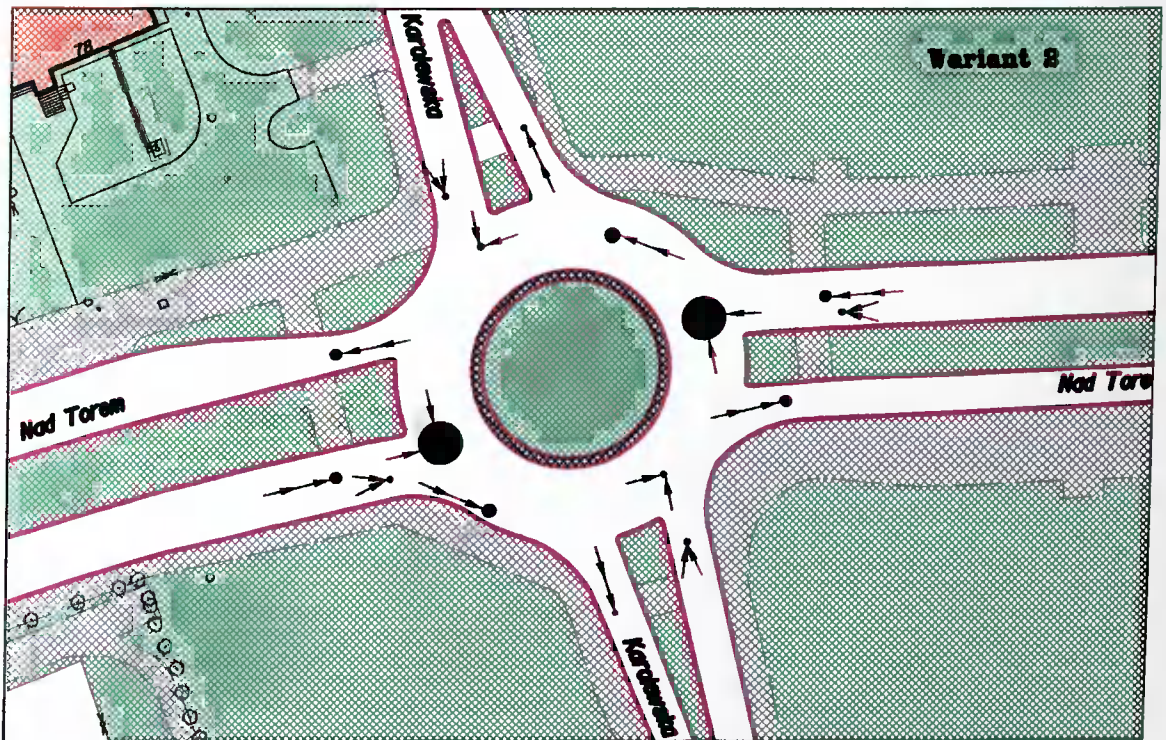


**Tabela 7.1.** Szacowane liczby poszczególnych rodzajów zdarzeń drogowych do analizowanych wariantów projektowanego skrzyżowania ulic Nad Torem - Karolewska

L.p.	Rodzaj zdarzenia drogowego	Przewidywana liczba ekwiwalentnych zdarzeń drogowych [ekw. zdarzeń /5 lat]	
		Wariant 1	Wariant 2
1.	Tylne zderzenia pojazdów na wlocie podporządkowanym	7,4	7,2
2.	Tylne zderzenia pojazdów na wlocie nadrzędnym	10,6	-
3.	Tylne zderzenia pojazdów na wylocie wlotu podporządkowanego	3,2	10,3
4.	Tylne zderzenia pojazdów na wylocie wlotu nadrzędnego	8,1	-
5.	Tylne zderzenia pojazdów na płaszczyźnie kolizji wlotu podporządkowanego	3,7	8,5
6.	Boczne zderzenia pojazdów na wlocie podporządkowanym	0,3	8,4
7.	Boczne zderzenia pojazdów na płaszczyźnie kolizji wlotu podporządkowanego	39,8	28,3
8.	Boczne zderzenia pojazdów na płaszczyźnie kolizji wlotu nadrzędnego	32,1	-
9.	Zdarzenie z udziałem pieszych na wlocie nadrzędnym	30,4 (5 zd. z pieszymi)	-
10.	Zdarzenia z udziałem pieszych na wylocie wlotu nadrzędnego	30,4 (5 zd. z pieszymi)	-
11.	<b>Suma:</b>	<b>165,5</b>	<b>63,2</b>
Podsumowanie			
12.	<b>Wartość syntetycznego wskaźnika zagrożenia w ruchu drogowym na skrzyżowaniu <math>W_j</math></b>	<b>3,9</b>	<b>0,7</b>



Rys. 7.2. Rysunek koncentracji zdarzeń drogowych w okresie 5 lat – wariant 1



Rys. 7.3. Rysunek koncentracji zdarzeń drogowych w okresie 5 lat – wariant 2

Na podstawie powyższych wyników należy stwierdzić, iż poprawniejszy w aspekcie bezpieczeństwa ruchu drogowego jest wariant 2. Charakteryzuje się zdecydowanie mniejszym wskaźnikiem zagrożenia w ruchu drogowym.

Należy zwrócić uwagę, iż przedstawione warianty oprócz geometrii różnią się także organizacją ruchu, w tym także zasadami pierwszeństwa przejazdu przez skrzyżowanie. Powoduje to, iż w poszczególnych wariantach dominują różnego rodzaju zdarzenia drogowe. I tak w wariantcie pierwszym zasadniczy problem stanowią zdarzenia z udziałem pieszych oraz boczne zderzenia pojazdów. Spowodowane są one głównie faktem stosunkowo dużych prędkości, jakie osiągają pojazdy na drodze głównej. W przypadku zdarzeń z udziałem pieszych dodatkowymi niekorzystnymi elementami są też długie przejścia dla pieszych (zwiększa się powierzchnia kolizji pojazdu z pieszym). Natomiast w wariantcie drugim dominują zderzenia boczne pojazdów na płaszczyźnie kolizji przed wlotami. Wynikają one z faktu zwiększenia liczby wlotów podporządkowanych z dwóch do czterech, które z reguły generują większą liczbę zdarzeń drogowych niż wloty z pierwszeństwem przejazdu.

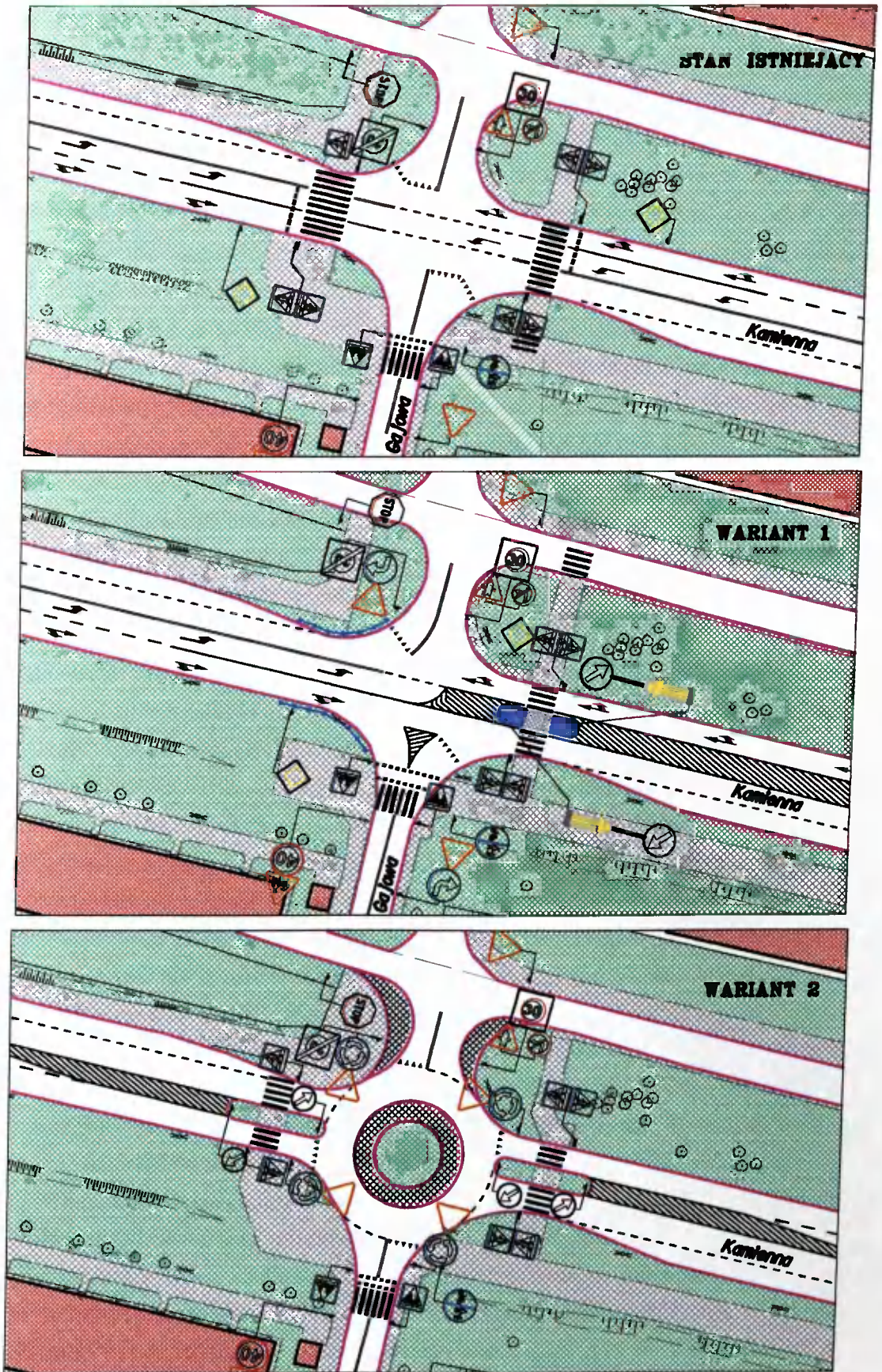
Należy zwrócić uwagę na to, że prezentowane wyniki analiz dotyczą liczby ekwiwalentnych zdarzeń, a nie bezwzględnej liczby zdarzeń drogowych. Stąd też uzyskano w przykładzie stosunkowo duże wartości związane ze zdarzeniami z udziałem pieszych (duża ciężkość zdarzeń) oraz wartości odnośnie wszystkich zdarzeń drogowych wyrażone w liczbach rzeczywistych a nie całkowitych.

### **Skrzyżowanie ulic Kamienna – Gajowa**

Skrzyżowanie ulic Kamienna – Gajowa zlokalizowane jest na obrzeżach dzielnicy mieszkaniowej. Ulica Kamienna należy do zasadniczego układu ulic. Stanowi ona część trasy WZ, łączącej wschodnie dzielnice miasta Bydgoszczy z zachodnimi. Natomiast ulica Gajowa jest ulicą lokalną osiedla mieszkaniowego o zabudowie wielokondygnacyjnej. Na rys. 7.4 przedstawiono warianty projektowanej przebudowy skrzyżowania. Wszystkie przedstawione warianty zapewniają pożądaną przepustowość skrzyżowania.

Analogicznie jak w pierwszym przykładzie, analizę stanu zagrożenia w ruchu drogowym na projektowanym skrzyżowaniu wykonano za pomocą aplikacji „Prognozowanie zdarzeń drogowych” w systemie WZDR, wprowadzając uprzednio do bazy danych odpowiednie, szczegółowe dane o skrzyżowaniu (dotyczące dwóch wariantów projektowych).

W tabeli 7.2 przedstawiono uzyskane drogą analizy szacowane liczby ekwiwalentnych zdarzeń drogowych, natomiast na rysunku 7.5 – koncentrację tych zdarzeń drogowych w przypadku poszczególnych wariantów przebudowy skrzyżowania.

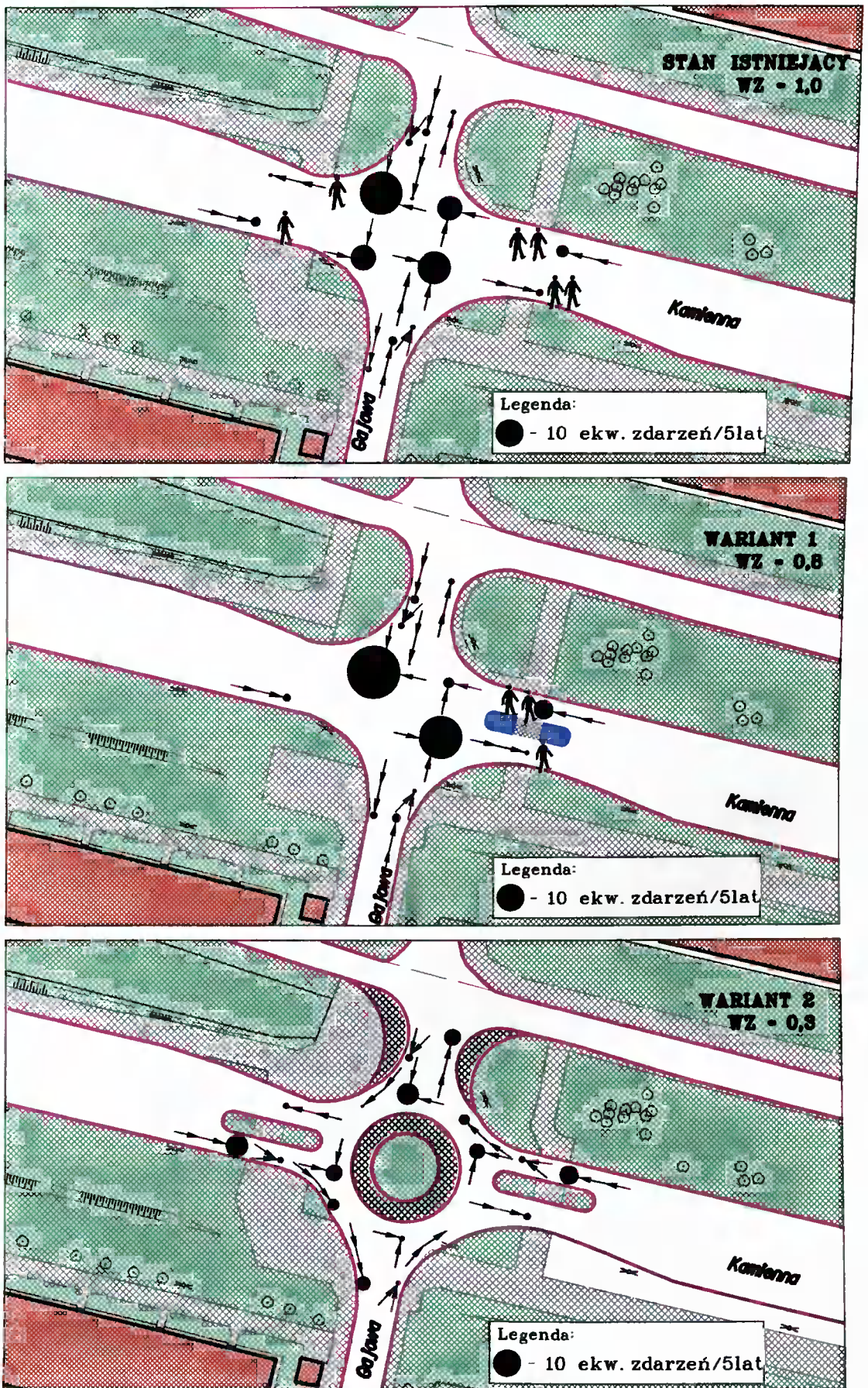


Rys. 7.4. Plany sytuacyjne przebudowywanego skrzyżowania ulic Kamienna – Gaławska – stan istniejący oraz dwa warianty rozwiązania

**Tabela 7.2.** Szacowane liczby poszczególnych rodzajów zdarzeń drogowych w odniesieniu do analizowanych wariantów przebudowywanego skrzyżowania ulic Kamienna - Gajowa

L.p.	Rodzaj zdarzenia drogowego	Przewidywana liczba zdarzeń drogowych [ekw. zdarzeń/5 lat]		
		Stan istniejący	Wariant 1	Wariant 2
1.	Tylne zderzenia pojazdów na wlocie podporządkowanym	5,6	6,3	15,4
2.	Tylne zderzenia pojazdów na wlocie nadrzędnym	7,8	10,1	-
3.	Tylne zderzenia pojazdów na wylocie wlotu podporządkowanego	3,9	4,5	15,2
4.	Tylne zderzenia pojazdów na wylocie wlotu nadrzędnego	3,6	1,7	-
5.	Tylne zderzenia pojazdów na płaszczyźnie kolizji wlotu podporządkowanego	1,5	0,8	8,4
6.	Boczne zderzenia pojazdów na wlocie podporządkowanym	4,2	3,8	10,3
7.	Boczne zderzenia pojazdów na płaszczyźnie kolizji wlotu podporządkowanego	19,2	27,0	21,3
8.	Boczne zderzenia pojazdów na płaszczyźnie kolizji wlotu nadrzędnego	18,3	3,8	-
9.	Zdarzenie z udziałem pieszych na wlocie nadrzędnym	14,3	16,4	-
10.	Zdarzenia z udziałem pieszych na wylocie wlotu nadrzędnego	16,7	6,1	-
11.	<b>Suma:</b>	<b>95,1</b>	<b>80,5</b>	<b>70,6</b>
Podsumowanie				
12.	<b>Wartość syntetycznego wskaźnika zagrożenia w ruchu drogowym na skrzyżowaniu <math>W_j</math></b>	<b>2,1</b>	<b>1,6</b>	<b>0,7</b>
13.	<b>Wskaźnik zmian zagrożenia WZ</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>0,3</b>
14.	<b>Wartość wskaźnika efektywności ekonomicznej <math>E_j^*</math></b>	-	<b>14,5</b>	<b>3,0</b>

\* - przy założeniu 10-letniego okresu amortyzacji oraz stopy dyskontowej równej 10%



Rys. 7.5. Rysunki koncentracji zdarzeń drogowych w okresie 5 lat

Na podstawie wyników przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że oba przedstawione warianty zapewniają poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego w stosunku do stanu istniejącego. Wariantem korzystniejszym z tego punktu widzenia jest jednak wariant drugi. Charakteryzuje się on bowiem najmniejszą wartością syntetycznego wskaźnika zagrożenia w ruchu drogowym, 2,0-krotnie mniejszym w stosunku do wariantu pierwszego i ponad 2,5-krotnie mniejszym w stosunku do stanu istniejącego. Stan ten jest nawet mniejszy od przeciętnego stanu zagrożenia w ruchu drogowym na wszystkich skrzyżowaniach bez sygnalizacji świetlnej w mieście.

Oba przedstawione warianty zapewniają również pozytywny efekt ekonomiczny. Wartości wskaźnika efektywności ekonomicznej w przypadku obu wariantów są znacznie większe od 1,00. W ujęciu ekonomicznym jednak korzystniejszym jest wariant pierwszy. Spowodowane jest to stosunkowo niskimi kosztami przebudowy według tego wariantu (około 50.000 zł, a w przypadku wariantu drugiego jest to kwota 232.200 zł). Przykład dotyczący tego wariantu obrazuje, iż nawet stosunkowo niewielkimi środkami finansowymi można zrealizować poprawę stanu bezpieczeństwa ruchu drogowego.

## 8. WNIOSKI

1. Zaproponowana w niniejszej rozprawie metoda szacowania liczby zdarzeń drogowych może być przydatnym narzędziem do oceny stanu zagrożenia w ruchu drogowym w mieście. Na podstawie przykładów zamieszczonych w rozprawie można stwierdzić, iż jest ona szczególnie przydatna w procesie projektowania nowego elementu sieci drogowej, bądź elementu przebudowywanego. Ocena ta bowiem umożliwi sprawdzenie poprawności rozwiązań od strony zagrożenia w ruchu drogowym oraz pozwala na wybór optymalnego wariantu projektowego pod względem bezpieczeństwa ruchu drogowego.
2. Metoda zapewnia uzyskanie stosunkowo dużych dokładności analiz stanu zagrożenia w danym mieście, co wynika przede wszystkim z następujących faktów:
  - a) modele, za pomocą których dokonywane jest obliczanie w metodzie liczby zdarzeń drogowych są adekwatne do danego konkretnego miasta, a więc uwzględniają jego specyfikę i poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego,
  - b) modele mogą być corocznie uaktualniane w systemie WZDR, dzięki temu uwzględniają zmienność w latach stanu zagrożenia w ruchu drogowym w danym mieście,
  - c) modele odnoszą się do poszczególnych segmentów skrzyżowań i odcinków międzywęzłowych oraz poszczególnych rodzajów zdarzeń drogowych, co zapewnia przy ich budowie właściwą selekcję zmiennych niezależnych, poprawną definicję tych zmiennych z punktu widzenia ich wpływu na liczbę zdarzeń drogowych oraz ograniczenie liczby tych zmiennych.
3. Dalszymi zaletami zaproponowanej w rozprawie metody są:
  - a) automatyzacja analiz, zapewniająca wykonanie oceny stanu zagrożenia w ruchu drogowym w krótkim czasie,
  - b) wszechstronność analiz oraz wizualizacja wyników analiz.
4. Zasadniczą wadą metody jest konieczność zebrania oraz wprowadzenia ogromnej liczby danych opisujących sieć uliczną danego obszaru. Powyższą wadę rekompensuje jednak fakt, iż wprowadzane dane są również w dużym stopniu wykorzystywane do innych celów, takich jak: prowadzenie tzw. Książki drogi, Książki obiektów mostowych itp., co jest obowiązkiem każdego zarządcy drogi publicznej (zgodnie z ustawą o drogach publicznych Dz. U. Nr 14 z 1985 r. z późniejszymi zmianami, poz.60, art. 20



[57, 92] zarządzający drogami publicznymi mają obowiązek posiadania i prowadzenia ewidencji dróg i obiektów mostowych, w tym ewidencji zdarzeń drogowych). Do wad metody należy zaliczyć także:

- a) stosunkowe drogie oprogramowanie komputerowe systemu WZDR,
- b) konieczność uaktualniania na bieżąco bazy danych systemu.

5. Z przeprowadzonych w rozprawie analiz wynika, że wpływ cech drogi i ruchu na liczbę zdarzeń drogowych na skrzyżowaniach bez sygnalizacji świetlnej wynosi w zależności od rodzaju zdarzenia od 65% do 73%. Uwzględniając liczebność poszczególnych rodzajów zdarzeń średnio ważony współczynnik determinacji wynosi 0,69. Wartości te potwierdzają postawioną na początku rozprawy tezę, iż droga ma kluczowe znaczenie w procesie powstawania zdarzeń drogowych.

6. Na powstawanie zdarzeń drogowych na skrzyżowaniach bez sygnalizacji świetlnej znaczący wpływ mają następujące cechy drogi i ruchu:

a) zderzenia tylne pojazdów na wlocie podporządkowanym:

- natężenie ruchu pojazdów na wlocie –  $Q$  ( $R = 0,68$ ),
- prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie -  $V_{SR}$  ( $R = 0,64$ ),
- natężenie ruchu pojazdów na wlocie w prawo  $Q_P$  ( $R = 0,56$ ),
- natężenie ruchu strumieni kolizyjnych  $Q_K$  ( $R = 0,46$ ),
- natężenie ruchu pojazdów na wlocie w lewo  $Q_L$  ( $R = 0,46$ ),
- promień skrętu w prawo  $R_P$  ( $R = 0,43$ ),
- liczba punktów kolizji z tramwajem  $L_{PKT}$  ( $R = 0,43$ ),
- szerokość powierzchni kolizji od strony relacji podporządkowanej  $W_{PK}$  ( $R = 0,40$ ),
- udział pojazdów ciężkich na wlocie  $U_{PCW}$  ( $R = 0,30$ ),
- promień skrętu w lewo  $R_L$  ( $R = 0,28$ ),

b) zderzenia tylne pojazdów na wlocie nadrzędnym:

- natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost  $Q_W$  ( $R = 0,75$ ),
- prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie  $V_{SR}$  ( $R = 0,50$ ),
- udział pojazdów ciężkich na wlocie  $U_{PCW}$  ( $R = 0,47$ ),
- natężenie ruchu pieszych na wlocie  $Q_{PW}$  ( $R = 0,29$ ),
- liczba pasów ruchu na wlocie  $P_O$  ( $R = 0,26$ ),

c) zderzenia tylne pojazdów na wylocie wlotu podporządkowanego:

- natężenie ruchu pojazdów na wylocie ze skrzyżowania  $Q_{WY}$  ( $R = 0,67$ ),
  - natężenie ruchu pojazdów na wlocie poprzecznym w prawo  $Q_{WYP}$  ( $R = 0,65$ ),
  - udział pojazdów ciężkich na wlocie  $U_{PCW}$  ( $R = 0,61$ ),
  - natężenie ruchu strumieni kolizyjnych  $Q_K$  ( $R = 0,61$ ),
  - liczba pasów dla relacji na wprost  $P_W$  ( $R = 0,53$ ),
  - promień skrętu w prawo z wlotu poprzecznego  $R_{PWY}$  ( $R = 0,53$ ),
  - prędkość średnia ważona pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wylocie  $V_{WY}$  ( $R = 0,26$ ),
- d) zderzenia tylne pojazdów na wlocie wlotu nadrzędnego:
- natężenie ruchu pojazdów na wylocie ze skrzyżowania  $Q_{WY}$  ( $R = 0,66$ ),
  - prędkość średnia ważona pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wylocie  $V_{WY}$  ( $R = 0,54$ ),
  - udział pojazdów ciężkich na wlocie  $U_{PCW}$  ( $R = 0,53$ ),
  - liczba pasów dla relacji na wprost  $P_W$  ( $R = 0,47$ ),
  - natężenie ruchu pieszych na wylocie  $QP_{WY}$  ( $R = 0,40$ ),
- e) zderzenia tylne pojazdów na płaszczyźnie wlotu podporządkowanego:
- liczba pasów dla relacji na wprost  $P_W$  ( $R = 0,66$ ),
  - natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost  $Q_W$  ( $R = 0,65$ ),
  - powierzchnia kolizji -  $PK$  ( $R = 0,61$ ),
  - prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie  $V_{SR}$  ( $R = 0,59$ ),
  - liczba pasów dla relacji w lewo  $PL$  ( $R = 0,48$ ),
  - natężenie ruchu pieszych na wlocie  $QP_{WY}$  ( $R = 0,36$ ),
- f) zderzenia boczne pojazdów na wlocie podporządkowanym:
- udział pojazdów ciężkich na wlocie  $U_{PCW}$  ( $R = 0,72$ ),
  - natężenie ruchu pojazdów na wlocie  $Q$  ( $R = 0,64$ ),
  - natężenie ruchu pojazdów na wlocie w lewo  $QL$  ( $R = 0,56$ ),
  - efektywna szerokość wlotu -  $WE$  ( $R = 0,47$ ),
  - liczba pasów dla relacji w lewo  $PL$  ( $R = 0,42$ ),
  - natężenie ruchu strumieni kolizyjnych  $Q_K$  ( $R = 0,39$ ),

- prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie VSR ( $R = 0,34$ ),
- g) zderzenia boczne pojazdów na płaszczyźnie kolizji wlotu podporządkowanego:
- liczba pasów ruchu na wlocie PO ( $R = 0,79$ ),
  - liczba pasów dla relacji na wprost PW ( $R = 0,71$ ),
  - natężenie ruchu pojazdów na wlocie Q ( $R = 0,68$ ),
  - prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie VSR ( $R = 0,60$ ),
  - powierzchnia kolizji PK ( $R = 0,60$ ),
  - natężenie ruchu pojazdów na wlocie w lewo QL ( $R = 0,56$ ),
  - natężenie ruchu strumieni kolizyjnych QK ( $R = 0,37$ ),
  - udział pojazdów ciężkich na wlocie UPCW ( $R = 0,33$ ),
  - liczba pasów dla relacji w prawo PR ( $R = 0,33$ ),
  - promień skrętu w prawo RP ( $R = 0,31$ ),
  - widoczność przy dojeździe w lewo SL ( $R = 0,30$ ),
- h) zderzenia boczne na płaszczyźnie kolizji wlotu nadrzędnego:
- prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie poprzecznym - VSP ( $R = 0,56$ ),
  - powierzchnia kolizji - PK ( $R = 0,54$ ),
  - efektywna szerokość wlotu - WE ( $R = 0,27$ ),
  - liczba pasów dla relacji w lewo PL ( $R = 0,24$ ),
  - natężenie ruchu strumieni kolizyjnych QK ( $R = 0,24$ ),
- i) zderzenia z udziałem pieszych na wlocie nadrzędnym:
- prędkość średnia pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wlocie poprzecznym - VSR ( $R = 0,67$ ),
  - natężenie ruchu pojazdów na wlocie Q ( $R = 0,56$ ),
  - natężenie ruchu pieszych na wlocie zasadniczym - QPW ( $R = 0,47$ ),
  - liczba pasów dla relacji na wprost PW ( $R = 0,44$ ),
  - udział pojazdów ciężkich na wlocie UPCW ( $R = 0,30$ ),
- j) zderzenia z udziałem pieszych na wylocie wlotu nadrzędnego:
- natężenie ruchu pieszych na wylocie - QPWY ( $R = 0,67$ ),

- średnia prędkość ważona pojazdów osobowych w ruchu swobodnym na wylocie - VWY ( $R = 0,66$ )
  - natężenie ruchu pojazdów na wlocie na wprost QW ( $R = 0,47$ ),
  - liczba pasów ruchu na wlocie PO ( $R = 0,34$ ),
  - długość przejścia dla pieszych na wylocie – DPWY ( $R = 0,21$ ).
7. Ponieważ bardzo wiele cech drogi oraz ruchu ma istotny wpływ na liczbę zdarzeń drogowych (patrz wnioski 6), stąd bardzo istotny staje się właściwy dobór tych cech w fazie projektowania dróg i ulic, zapewniający optymalne warunki pod względem brd. Fakt ten powinien mieć również wpływ na korektę w najbliższej przyszłości kryteriów projektowania elementów infrastruktury drogowej, np. uwzględnienie: maksymalnych promieni skrętu na skrzyżowaniach, maksymalnej liczby pasów na wlocie skrzyżowania bez sygnalizacji świetlnej, maksymalnej powierzchni kolizji itd.
8. Dominującymi rodzajami zdarzeń na skrzyżowaniach w Bydgoszczy okazały się:
- zderzenia boczne na płaszczyźnie kolizji wlotu podporządkowanego – 31,8%,
  - zderzenia tylne na wlocie podporządkowanym – 14,8%,
  - zderzenia boczne na płaszczyźnie kolizji wlotu nadrzędnego – 12,3%,
  - zderzenia tylne na wlocie nadrzędnym – 11,8%.
9. Przeprowadzone badania i opracowana konstrukcja metody oraz modele szacowania zdarzeń drogowych są pierwszym etapem prac autora nad metodą oceny zagrożenia w ruchu drogowym. Jako kierunek dalszych etapów prac autor wyznaczył sobie:
- a) opracowanie pierwotnych modeli zdarzeń drogowych dotyczących pozostałych elementów sieci ulic, tj. skrzyżowań z sygnalizacją świetlną, węzłów ulicznych i odcinków międzywęzłowych,
  - b) adaptowanie modeli do innych miast, w których wdrożono lub wdrażany jest system WZDR, tj. dla Torunia, Włocławka, Ostrołęki, Elbląga itd.,
  - c) opracowanie modeli szacowania liczby zdarzeń drogowych poszczególnych rodzajów, których nie udało się opracować dla Bydgoszczy ze względu na małą liczbę prób (na podstawie danych systemu WZDR z kilku miast),
  - d) opracowanie sposobu prognozowania liczby zdarzeń drogowych na kilka i kilkanaście lat w przód z wykorzystaniem metody szeregów czasowych oraz programów VISEM i VISUM,
  - e) określenie zależności między modelami dotyczącymi danego typu zdarzeń drogowych a cechami miasta.

## 9. LITERATURA

1. Abadjiev V., Gospodinov P., Abadjieva E.: *Car crash passenger place identification*. The Archives of Transport, VOL. XIII, NO1 2001 r.
2. Aczel A. D.: *Statystyka w zarządzaniu*. PWN, Warszawa 2000 r.
3. Allsop R. E.: *Spoleczne i ekonomiczne uzasadnienie konieczności podejmowania działań na rzecz zmniejszenia liczby ciężkich i śmiertelnych wypadków drogowych*. Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Gambit 2002. Gdańsk 2002.
4. Allsop R. E.: *Brytyjska strategia poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz cele na rok 2010*. Transport Miejski Nr 9/2001.
5. Allsop R. E.: *Summary of Research Area 1: Basis for appraisal of effects of different levels of speed*. MASTER Working Paper R.1.3.1. UCL Centre for Transport Studies. London 1998.
6. Babkow W.F.: *Warunki drogowe i bezpieczeństwo ruchu*. Inżynieria ruchu drogowego. WKŁ 1975.
7. Baguley C., Mustafa M.S.: *Engineering approaches to reversing a worsening road accident trend in Malaysia*. International Forum on Road Safety Research, Bangkok, Thailand, October 25-27, 1995.
8. Baruya A.: *Speed-accident relationship on European roads*. Proceedings of the Conference Traffic Safety in Europe. VTI konferens 10A. Swedish National Road and Transport Research Institute, 1998.
9. Baruya A., Finch D.J.: *Investigation of traffic speeds and accidents on urban roads*. Proceedings of The 22nd European Transport Forum, PTRC. Warwick University 1994.
10. Bauer K.M., Harwood D.W.: *Statistical Models of At-Grade Intersection Accidents-Addendum*. US Department of Transportation, Federal Highway Administration. Publication No. FHWA-RD-99-094.
11. Baza danych Katedry Budownictwa Drogowego - Archiwum. Bydgoszcz, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy 2004.
12. Bester C.J.: *Comparing road fatalities in three continents*. Road Safety on Three Continents in Pretoria, South Africa, 20-22 September 2000.

13. Biliszczuk J.: *Mosty - to szansa promocji polskich miast*. XIV Zjazd Drogowców Miejskich. Płock 24-26.IX.2003 r.
14. Brude U., Larsson J.: *Model for predicting accidents at junctions where pedestrians and cyclists are involved. How well do they fit?* Accident Analysis and Prevention, Vol.25. pp.499-509, 1993 r.
15. Brude U., Larsson J.: *The safety of cyclist at roundabouts. A comparison between Swedish, Danish and Dutch results*. VTI meddelande. No.810A. VTI Swedish National Road and Transport Research Institute. Linkoping 1996 r.
16. Brude U., Larsson J., Hedman K.: *Design of Major Urban Junctions Accident Prediction Models and Empirical Comparisons*. VTI EC Research - 3 - 1998.
17. Cardimen F.: *Baza danych o wypadkach drogowych oraz audyt brd - jak ocalić życie i pieniądze?* Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Gambit 2002. Gdańsk 2002.
18. Cardimen F.: *33 lata lokalnego partnerstwa dla brd*. Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Gambit 2000. Gdańsk 2000.
19. Colgate M.G., Tanner J.C.: *Accidents at rural three-way junctions*. Ministry of Transport, RRL Report LR87. Crowthorne: Road Research Laboratory 1967.
20. Cowen D.J.: *GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences?* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing" 1988 nr 11.
21. *Crash Prediction Module (CPM) Engineer's Manual* Federal Highway Administration (FHWA), Turner-Fairbank Highway Research Center (TFHRC), March 7, 2003 r.
22. Datka S., Suchorzewski W., Tracz M.: *Inżynieria ruchu*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1989, 1997 r.
23. Deo N.: *Teoria grafów i jej zastosowania w technice i informatyce*. PWN, Warszawa 1980 r.
24. EU-DGT: COST 329: *Models for traffic and safety development and intervention*. Bruksela 1999.
25. Finch D.J., Kompfner P., Lockwood C.R., Maycock G.: *Speed, speed limits and accidents*. Project report 58. TRL, Crowthorne, Berkshire 1994.
26. Fitzpatrick K. i in.: *Speed prediction for two-lane rural highways*. US Department of Transportation, Federal Highway Administration. Publication No. FHWA-RD-99-171.
27. Gaca S.: *Prędkość jako zmienna objaśniająca w modelach predykcji wypadków*. Seminarium „GAMBIT 2002” Politechnika Gdańska, Gdańsk 2002.

28. Gaca S.: *Badania prędkości pojazdów i jej wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego*. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej, nr 75, Inżynieria Lądowa, Kraków 2002 r.
29. Gaca S.: *Regression models of accidents and accident rates*. The Archives of Transport, NO3 2002 r.
30. Gałęcki H.: *Bezpieczeństwo ruchu drogowego*. Kurs Inżynierii Ruchu, Zeszyt 10; Warszawa - Wrocław 1964 r.
31. Hadi A.M., Aruldas J., Chow L., Wattleworth J.: *Estimating Safety Effects of Cross-Section Design for Various Highway Types Using Negative Binomial Regression*. Transportation Research Record 1500.
32. Hall R. D.: *Accidents at four-arm single carriageway urban traffic signals* TRRL Contractor Report 65. TRL, Crowthorne 1986, UK.
33. Harwood D.W., Council F.M., Hauer E., Hughes W.E., Vogt A.: *Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways*. US Department of Transportation, Federal Highway Administration. Publication No. FHWA-RD-99-207.
34. Hauer E. i in.: *Estimation Safety at Signalized Intersections*. Transportation Research Board, TRR 1185, Washington D.C. 1988.
35. Haven H.de: *Mechanical Analysis of Survival in Fall from Heights of Fifty to One Hundred and Fifty Feet*. War Medic. 2, 1942.
36. Highway Safety Analysis Software Version 2.1 Demo X32 Group, Inc.
37. Hollo P.: *Ocena doświadczeń z realizacji pierwszego Węgierskiego Programu Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego*. Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Gambit 2002. Gdańsk 2002.
38. Horin J., Mikulik J.: *Planowanie i wdrażanie programu Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego w Republice Czech*. Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Gambit 2002. Gdańsk 2002.
39. International Road Traffic and Accident Database (OECD).
40. Jamroz K., Michalski L.: *Regionalny system bezpieczeństwa ruchu drogowego jako problem badawczy*. XLVIII Konferencja Naukowa Opole - Krynica 2002.
41. Kornalewski L., Krzysztofowicz B.: *Propozycje zmian w systemie ewidencjonowania zdarzeń drogowych oraz współdziałania Policji z zarządami dróg*. Bezpieczne drogi Nr 6 (54), czerwiec 2003.
42. Korzan B.: *Elementy teorii grafów i sieci. Metody i zastosowania*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1978.

43. Krupp R.: *Niemiecki Program Poprawy Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego*. Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Gambit 2002. Gdańsk 2002.
44. Krystek R.: „10 lat systemowych działań na rzecz poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego jako przygotowania do wejścia Polski do Unii Europejskiej”. Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Gambit 2002. Gdańsk 2002.
45. Krystek R.: *GAMBIT 2000 w III Programie Unii Europejskiej*. Konferencja naukowo-techniczna nt. „Sprawna i bezpieczna komunikacja drogowa warunkiem rozwoju regionu Warmińsko - Mazurskiego”, Stare Jabłonki, 24-27 marca 2004 r.
46. Krystek R., Jamroz K., Michalski L., Marszałek R., Paczul P.: *Technika konfliktów ruchowych*. Biuro Konsultacyjno-Projektowe Inżynierii Drogowej "TRAFIK".
47. Kulikowski J.: *Zarys teorii grafów*. PWN, Warszawa 1986 r.
48. 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.
49. Lamm R., Psarianos B., Mailaender T.: *Highway Design and Traffic Safety Engineering handbook*. Wyd. Mc Graw - Hill 1999 r.
50. Masaoe E.N.: *Pedestrian conflict models for four-arm priority road junctions*. The ICTCT-workshop of 1998 in Budapest.
51. Maycock G., Hall R.D.: *Crashes ta four-arm roundabouts*. TRRL Laboratory Report LR 1120. Crowthorne, England: Transport and Road Research Laboratory, 1984.
52. Maycock G., Hall R.D.: *Accidents at 4-arm roundabouts*. Department of Environment Department of Transport, TRRL Laboratory Report 1120. Crowthorne: Transport and Road Research Laboratory 1984.
53. Mikulik J.: *Narzędzia polityki bezpieczeństwa ruchu drogowego w Czechach - osiągnięcia i problemy*. Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Gambit 2000. Gdańsk 2000.
54. Neuman T.: *Design risk analysis*. Transportation Research Board, 1992.
55. Nowak E.: *Problemy doboru zmiennych do modelu ekonometrycznego*. PWN, Warszawa 1984 r.
56. Nowakowska M., Major H.: *Analizy danych o zdarzeniach drogowych w miastach z wykorzystaniem programu komputerowego SYRENA*. Transport Miejski Nr 1/2003.
57. Pieńkowski W., Mechowski T.: *Ewidencja dróg i ocena stanu nawierzchni - element systemowego zarządzania drogami*. Polskie drogi Nr 12, grudzień 2001.



58. Pietrucha F.: *Audyty bezpieczeństwa ruchu drogowego. Doświadczenia zagraniczne. Propozycje dotyczące miejsca i roli audytu w warunkach krajowych*. IV Konferencji Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego. Pułtusk 2000. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych.
59. Pihlak I., Antov D.: *Traffic safety comparison of some post-socialist and high-developed countries*. Road Safety on Three Continents. International Conference in Moscow, Russia, 19-21 September 2001.
60. Piotrowski J.: *Opis zagrożenia wypadkowego*. Drogownictwo 12/1978.
61. Powszechny Zakład Ubezpieczeń PZU w Elblągu.
62. *PTV System GmbH: Visum-IV, Interactive Network Processing (Individual Traffic)*. Karlsruhe 1993.
63. *PTV Systems: VISEM Trip chain based traffic demand modelling. User's Manual*. Karlsruhe 1993.
64. Road Transport Research: *Road safety principle and models: review of descriptive, predictive, risk and accident consequence models*. OCDE/GD(97)153. OECD. Paris 1997.
65. Sabey B. E.: *Strategia zarządzania bezpieczeństwem ruchu drogowego*. Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Gambit 2002. Gdańsk 2002.
66. Sarna S.: *Metoda oceny skrzyżowań ulic/dróg pod względem zagrożenia bezpieczeństwa ruchu drogowego*. Transport Miejski Nr 9-10/97.
67. Searle J.: *Throw distance in pedestrian impact*. IMPACT vol.5, No 1, 1996.
68. Sekcja Ruchu Drogowego Komendy Miejskiej Policji w Bydgoszczy.
69. Sobolewska B., Wasilewski K.: *Elektroniczny system przetwarzania danych o wypadkach drogowych*. Drogownictwo 1/1978.
70. Solomon D.: *Accidents to Main Rural Highways Related to Speed, Driver and Vehicle*. Bureau of Public Roads. U.S. Department of Commerce, July 1964.
71. Statistica PL dla Windows. StatSoft Polska, 1997 r.
72. Szczuraszek T. + zespół: *Bezpieczeństwo ruchu miejskiego*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004 r. Praca złożona do druku.
73. Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J.: *Road Safety on Junctions with Round-About Motion*. International Forum on Road Safety Research, Bangkok, Thailand, October 25-27, 1995.
74. Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G.: *System Wspomagający Zarządzanie Drogami I Ruchem Drogowym WZDR*. Krajowa konferencja nt. Systemy in-

- formatyczne wspomagające zarządzanie drogami i ruchem drogowym, Bydgoszcz 2000.
75. Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G.: *Raport o stanie bezpieczeństwa ruchu drogowego w Bydgoszczy 1999*. Katedra Budownictwa Drogowego, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2000.
76. Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G.: *Nowoczesny komputerowy system do zarządzania drogami i ruchem drogowym w miastach*. Geodeta 3/1999 Magazyn Geoinformatyczny.
77. Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G.: *Ewidencja zdarzeń drogowych 1.20 dla Microstation*. Katedra Budownictwa Drogowego, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2000.
78. Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G.: *Informatyczny system do ewidencji dróg, obiektów i urządzeń drogowych oraz do wspomaganie zarządzania drogami i ruchem drogowym*. Bezpieczeństwo i zarządzanie ruchem - zadaniem samorządów i administracji drogowej. Ogólnopolskie seminarium; Kazimierz Dolny 2001 r.
79. Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G.: *Raport o stanie bezpieczeństwa ruchu drogowego w Inowrocławiu 1999*. Katedra Budownictwa Drogowego, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2000.
80. Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G.: *GAMBIT Bydgoski - doświadczenia i zamierzenia*. Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Gambit 2002. Gdańsk 2002.
81. Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G.: *Road Safety Improvement Supported by Road Management Information System on the Example of Few Polish Cities*. Road Safety on Three Continents in Pretoria, South Africa, 20-22 September 2000.
82. Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G.: *Opracowanie koncepcji układu drogowo-ulicznego oraz układu komunikacji zbiorowej miasta Bydgoszczy*. Bydgoszcz 1994-1997, praca niepublikowana.
83. Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G.: *Kompleksowe badania ruchu drogowego w Toruniu*. Bydgoszcz 1998-1999, praca niepublikowana.
84. Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Bebyn G.: *Systemowe zarządzanie siecią drogową – część I i II*. Autostrady nr 4 i 5/2004.

85. Szczuraszek T., Kempa J., Chmielewski J., Pawłowski M., Bebyn G.: *Raport o stanie bezpieczeństwa ruchu drogowego w Bydgoszczy 1997*. Katedra Budownictwa Drogowego, Akademia Techniczno-Rolnicza w Bydgoszczy, Bydgoszcz 1998 r.
86. Szer W.: *Zagadnienia bezpieczeństwa ruchu drogowego*. Wybrane zagadnienia inżynierii ruchu. Przemysł 1963 r.
87. Taylor C.M., Hall R.D., Chatterjee K.: *Accidents at 3-arm traffic signals on urban single-carriageway roads*. TRL, Berkshire 1996.
88. *Technika inżynierii ruchu miejskiego*. Tłumaczenie Advisory Memorandum of Ministry of Transport, Scottish Development Department, WKŁ - Warszawa 1974.
89. Templin T., Oszczak St., Kastner M.: *Zastosowanie GPS do lokalizacji zdarzeń drogowych*. Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Gambit 2004. Gdańsk 2004.
90. Tracz M.: *Koncepcja audytu BRD i wymagania dotyczące kwalifikacji audytorów*. IV Konferencji Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego. Pułtusk 2000. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych.
91. Turner D.: *Prediction of Bridge Accident Rates*. Journal of Transportation Engineering 1984.
92. *Ustawa o drogach publicznych*. Dziennik Ustaw Nr 14 z 1985 r. z późniejszymi zmianami.
93. Uzdalewicz Z.: *Statystyka zdarzeń drogowych dla potrzeb miast i pozostałych samorządów terenowych*. Bezpieczne drogi, Nr 6(54) czerwiec 2003 r.
94. Versace J.: *A Review of the Severity Index*. Proceedings of the 15th Staap Car Crash Conference, SAE Paper No. 710881, 1970.
95. Vogt A.: *Crash Models for Rural Intersections: 4-Lane by 2-Lane Stop-Controlled and 2-Lane by 2-Lane Signalized*. US Department of Transportation, Federal Highway Administration. Publication No. FHWA-RD-99-128.
96. Vogt A., Bared J.: *Accident Models for Two-Lane Rural Roads: Segments and Intersection*. US Department of Transportation, Federal Highway Administration. Publication No. FHWA-RD-99-133.
97. Vogt A., Bared J.: *Accident Models for Two-Lane Rural Roads: Segments and Intersections*. Transportation Research Board, 1998.
98. Walawski J.: *Droga - bezpieczeństwo ruchu*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1980.

99. Wegman F.: *System Informacji o Bezpieczeństwie Ruchu Drogowego dla Polski*. Międzynarodowe Seminarium Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego Gambit 2000. Gdańsk 2000.
100. Wicher J.: *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*. Pojazdy samochodowe. WKŁ, Warszawa 2002.
101. Wilson R.: *Wprowadzenie do teorii grafów*. PWN, Warszawa 1985 r.
102. Wiltschko T.: *Einsatz eines Geo-Informationssystems zur Analyse des Unfallgeschehens im Ballungsraum*. StraBenverkehrs-technik 6/2001.
103. *Wytyczne projektowania skrzyżowań drogowych*. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 2001.
104. Zarządzenie nr 10/2000 Komendy głównej Policji w sprawie metod i form prowadzenia przez Policję statystyki zdarzeń drogowych z dnia 4. lipca 2000.
105. Zeeger C.V., Reinfurt D.W., Hummer J., Herf L., Hunter W.: *Safety Effects of Cross-Section Design for Two-Lane Roads*. Transportation Research Record 1445, Transportation Research Board, 1988.
106. 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 D.C. 1986.
107. Zielińska A.: *System Informacji o Bezpieczeństwie Ruchu Drogowego (SIS)*. BRD Nr 4/2000.
108. Zielińska A.: *Wypadki u nas i u innych*. BRD Nr 3/2003.
109. Zielińska A.: *Alarm dla polskich miast!* BRD Nr 4/2002.
110. Żukowska J.: *Prognozowanie ryzyka w ruchu drogowym w Polsce*. XLVIII Konferencja Naukowa Opole - Krynica 2002.
111. Żukowska J.: *Modelowanie ryzyka w ruchu drogowym szeregami czasowymi*. Praca doktorska. Politechnika Gdańska, Gdańsk 2003.





Biblioteka Główna ATR  
w Bydgoszczy

CZYT D 256