



MARIUSZ KIEĆ

Politechnika Krakowska  
mkieć@pk.edu.pl

## Badania czynników wpływających na bezpieczeństwo ruchu na przejściach dróg tranzytowych przez miejscowości

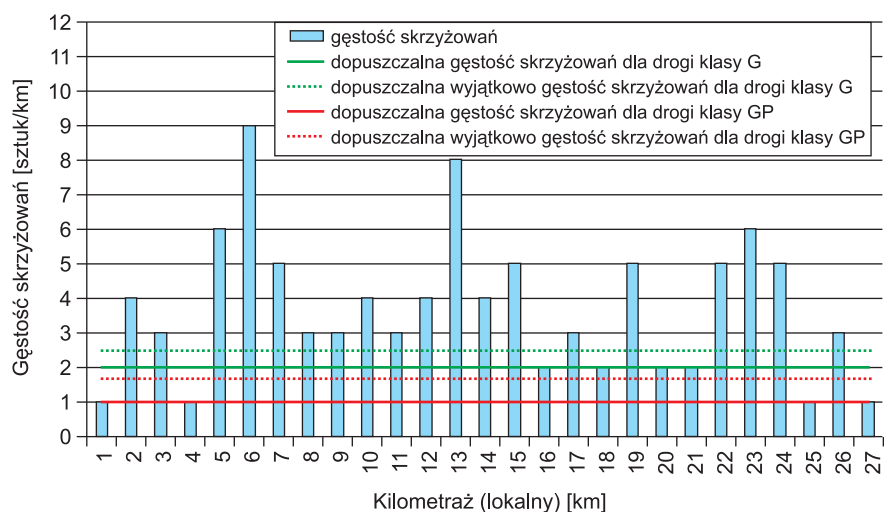
Charakterystyczną cechą sieci dróg w Polsce jest brak jej hierarchicznej struktury, która dodatkowo charakteryzuje się zróżnicowanym zagospodarowaniem jej otoczenia, w tym intensywności i charakteru przeznaczenia. Wiele odcinków dróg krajowych o dominującej funkcji ruchu tranzytowego jest zlokalizowanych w terenie zabudowanym, a bezpośredni dostęp do tych dróg mają budynki mieszkalne, rolnicze i komercyjne [10], [15], [16]. Ruch związany z obsługą otoczenia dróg powoduje zakłócenia płynności ruchu oraz może generować sytuacje wypadkowe. Częste zjazdy i wjazdy na drogę skutkują większą liczbą punktów kolizji (w tym również z ruchem pieszym), większą liczbą zwolnień, zatrzymań oraz przyspieszeń pojazdów. Zakłócenia te zależą nie tylko od braku kontroli dostępności do dróg, ale również od charakteru zagospodarowania otoczenia drogi. Z charakterem tego zagospodarowania związane jest generowanie dodatkowego ruchu, czyli zwiększona ekspozycja na ryzyko, w tym również pieszych i pojazdów wolnobieżnych. Dotychczasowe badania nie uwzględniają wpływu warunków regionalnych na zachowania kierujących pojazdami i w większości przypadków nie kwantyfikują bardziej szczegółowo dodatkowych wpływów zagospodarowania otoczenia drogi na powstawanie wypadków. W większości prac czynnik zagospodarowania otoczenia drogi jest ujmowany za pomocą zmiennych o charakterze jakościowym (np. intensywność zabudowy: mała, średnia, duża) i oceny ilościowej wpływu dostępności do dróg poprzez gęstość punktów dostępności [1], [2], [3], [4], [5], [6], [9], [12], [13]. W stosunku do dotychczasowych badań, w artykule przedstawiono znacznie obszerniejszy zbiór charakterystyk obejmujący dostępność do drogi oraz inne cechy zagospodarowania otoczenia drogi. Celami badań przedstawionych w niniejszym artykule były:

- identyfikacja problemu kontroli dostępności do dróg na przykładzie sieci dróg w Polsce oraz ich wpływu na bezpieczeństwo ruchu,
- identyfikacja czynników determinujących zagrożenie bezpieczeństwa ruchu drogowego związanych z zagospodarowaniem otoczenia drogi na przejściach dróg tranzytowych przez miejscowości,
- budowa modeli predykcji wypadków, w celu oceny wpływu czynników zagospodarowania otoczenia drogi i dostępności do niej na bezpieczeństwo.

### Charakterystyka odcinków dróg tranzytowych przez miejscowości w zakresie dostępności do dróg

Identyfikację problemu kontroli dostępności do dróg i skali ich obudowy w Polsce przeprowadzono na bazie losowo wybranych odcinków dróg o długości 2850 km (w latach 2006–2009) [10], [16], uzupełnioną w 2011 r. Wykonana inwentaryzacja typowych, w różnych regionach kraju, głównych ciągów dróg krajowych pozwoliła zidentyfikować następujące problemy związane z zagospodarowaniem otoczenia drogi i jej obsługą:

- duży udział odcinków zlokalizowanych na obszarze zabudowanym wynoszący ponad 30%,
- niski stopień (lub jego brak) hierarchizacji sieci dróg i ich wielofunkcyjność związana w wielu przypadkach z brakiem ograniczeń dostępności,
- brak dróg serwisowych, lokalizacja wzdłuż dróg krajowych obiektów komercyjnych, generujących istotnie duże natężenie ruchu, bez odpowiedniej infrastruktury drogowej,
- liniowa forma zabudowy o zróżnicowanym charakterze użytkowania i intensywności wzdłuż dróg,
- utrudnione stosowanie środków bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu z powodu liniowej formy zabudowy i jej rozproszenia,
- odstępstwa od wymagań polskiej klasyfikacji technicznej [14] dróg w zakresie kontroli dostępności na blisko 50% odcinków dróg krajowych (rys. 1),

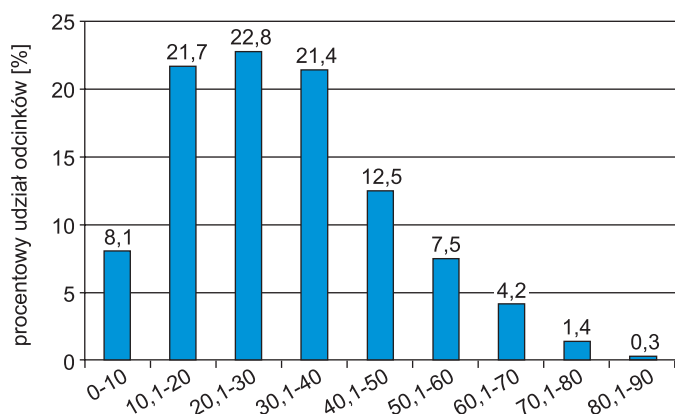


Rys. 1. Rzeczywista i dopuszczalna w świetle przepisów [14] gęstość skrzyżowań na przykładzie drogi krajowej nr 52 w woj. małopolskim (teren zabudowany)

- praktycznie nieograniczona dostępność do dróg zlokalizowanych na terenie zabudowanym małych miejscowości (rys. 2).

Na rysunku 1 przedstawiono rzeczywistą gęstość skrzyżowań, na odcinkach drogi krajowej nr 52 w woj. małopolskim, na terenie przejść drogowych przez małe miejscowości z zaznaczeniem granicznych wartości dopuszczalnych przez przepisy. W tym przypadku, na blisko całej długości odcinka, nie są spełnione wymagania warunków technicznych w zakresie kontroli dostępności [14].

W badaniach zagranicznych podstawową zmienną opisującą otoczenie drogi, która ma istotny statystycznie wpływ na bezpieczeństwo ruchu drogowego na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości, jest właśnie gęstość punktów dostępności. Jest ona definiowana jako liczba skrzyżowań/zjazdów przypadająca na 1 km drogi. Najczęściej ta zmienna analizowana jest w powiązaniu z typem przekroju poprzecznego, lokalizacją drogi oraz natężeniem ruchu pojazdów. Wyróżniano przy tym publiczne punkty dostępności o znaczącym natężeniu ruchu oraz wykorzystywane sporadycznie punkty indywidualne.

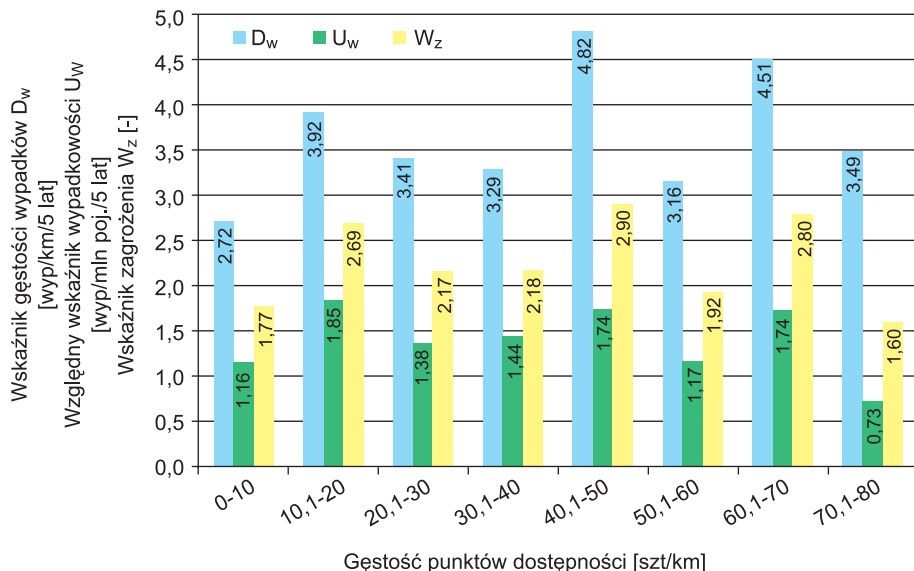


przedział średniej gęstości punktów dostępności dróg krajowych [szt/km]

Rys. 2. Procentowy udział odcinków w przedziałach średniej gęstości punktów dostępności na terenie zabudowanym

W przypadku analizowanych dróg krajowych zlokalizowanych na przejściach drogowych przez miejscowości, dla których w wielu przypadkach drogi mają klasę G i GP, w ponad 60% przypadków, gęstość wszystkich punktów dostępności mieści się w przedziale od 10 do 40 na kilometr odcinka drogi przechodzącego przez teren zabudowany (rys. 2).

Nieliczne prace uwzględniają inne czynniki wpływające na bezpieczeństwo, tj. zagospodarowanie terenu (najczęściej jako zmienne jakościowe) czy wskaźniki demograficzne [1], [11]. Cytowane badania jednoznacznie potwierdzają istnienie statystycznie istotnego wpływu dostępności do dróg na wartości wskaźników wypadkowych, chociaż wiele z opisują-



Rys. 3. Średnie wartości wskaźników wypadkowych  $D_w$ ,  $U_w$ ,  $W_z$  na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o różnych gęstościach punktów dostępności

cych te zależności modeli regresyjnych charakteryzuje się niskimi wartościami współczynnika determinacji.

W przeprowadzonych badaniach [10], [16] oceniano właśnie wpływ gęstości różnych punktów dostępności do drogi na wskaźniki wypadkowe. W grupie punktów dostępności uwzględniono: **zjazdy indywidualne** (do budynków prywatnych, z wyłączeniem tych, na terenie których prowadzona jest działalność gospodarcza), **zjazdy komercyjne** (do obiektów związanych z prowadzeniem działalności gospodarczej), najczęściej wykonane w formie zjazdów publicznych, **skrzyżowania z drogami gruntowymi** (nie oznakowane znakami pionowymi na jezdni nadrzędnej, informującymi o skrzyżowaniu i nie będące równocześnie zjazdami indywidualnymi), **skrzyżowania z innymi drogami** oznakowane znakami pionowymi, o różnym natężeniu ruchu.

Wszystkie z powyżej opisanych punktów dostępności zostały opisane ilościowo za pomocą wskaźnika gęstości  $G_{pd}$  wyrażającego liczbę punktów dostępności danego typu występujących na analizowanym odcinku drogi przypadających na jednostkowy odcinek odniesienia o długości 1 km. W celu oceny wpływu gęstości punktów dostępności (wszystkich z wyjątkiem skrzyżowań) na wskaźniki wypadkowe, wykonano podział odcinków przejść przez miejscowości na 8 grup o średniej gęstości punktów dostępności, z krokiem co 10 i oszacowano dla nich średnie wartości wskaźników; gęstości wypadków  $D_w$  (liczba wypadków/1 km/5 lat), względnego wskaźnika wypadków  $U_w$  (liczba wypadków przypadająca na 1 milion pojazdokilometrów w ciągu 5 lat) oraz wskaźnika zagrożenia  $W_z$  będącego średnią geometryczną wskaźników  $D_w$  i  $U_w$  (rys. 3). Wykazano, że gęstość punktów dostępności wpływa na wartości analizowanych wskaźników wypadkowych, przy czym maksymalne wartości tych wskaźników występują przy liczbie 50 szt./km. Występujący następnie spadek wartości wskaźników wypadkowych może być spowodowany zmianą zachowania kierujących pojazdami przejeżdżających przez obszar o intensywnej zabudowie (większa koncentracja uwagi, redukcja prędkości) z dużą liczbą punktów dostępności.

## Wskaźniki w opisie bezpieczeństwa ruchu na przejściach dróg tranzytowych przez miejscowości

Badania koncentrujące się tylko i wyłącznie na ocenie wpływu gęstości punktów dostępności do drogi na wskaźniki wypadkowe są niewystarczające, ponieważ nie uwzględniają one dodatkowych czynników, związanych z charakterem zagospodarowania i użytkowania otoczenia drogi oraz wielkością ruchu generowanego przez to otoczenie. Ruch ten dodatkowo zwiększa wystawienie na ryzyko. Dlatego w badaniach zdecydowano się na rozszerzenie analizowanego zbioru zmiennych o dane charakteryzujące otoczenie drogi. Przyjęto, że zmienne niezależne w sposób ilościowy powinny opisywać możliwie wszystkie czynniki związane z zagospodarowaniem otoczenia drogi i drogą, wpływające na bezpieczeństwo ruchu. Ilościowe charakterystyki mogłyby zastąpić w modelach predykcji wypadków często stosowane zmienne jakościowe.

Zdefiniowane poniżej wskaźniki charakteryzujące otoczenie drogi uwzględniają w sposób pośredni wpływ intensywności i zróżnicowania zabudowy zlokalizowanej wzdłuż drogi na generowany ruch lokalny oraz zachowania uczestników ruchu. Zestaw wskaźników opisujących obudowę dróg określono do przejść drogowych przez miejscowości, bez elementów uspokojenia ruchu i skrzyżowań o znacznym natężeniu ruchu (skrzyżowania z innymi drogami krajowymi i wojewódzkimi).

We wskaźnikach charakteryzujących otoczenie dróg ujęte są takie zmienne opisujące zabudowę jak: intensywność zabudowy, charakter użytkowania otoczenia drogi, wielkość generowanego ruchu lokalnego, odległość zabudowy od drogi.

**Wskaźnik gęstości zabudowy**  $ZG_{szer}$  [%] stanowi miarę ilościową, określającą stopień zagęszczenia zabudowy wzdłuż drogi w pasach o szerokości 50 m, 100 m i 150 m od osi drogi mierzony po jej obu stronach. Wskaźnik ten definiuje udział procentowy powierzchni zabudowanej do powierzchni analizowanego pasa terenu i jest obliczany ze wzoru:

$$ZG_{szer} = \frac{P_{szer}^{zab}}{P_{szer}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (1)$$

w którym:

$P_{szer}^{zab}$  – pole powierzchni zabudowanej w pasie o szerokości (szer =) 50 m, 100 m lub 150 m po obu stronach drogi [ $m^2$ ],

$P_{szer}$  – pole powierzchni pasa o szerokości 50 m, 100 m lub 150 m po obu stronach drogi [ $m^2$ ],

**Wskaźnik charakteru zabudowy**  $CH_{RB}$  [%] jest zmienną, która definiuje rodzaj, liczbę i proporcje znajdujących się na danym obszarze budynków. Opis charakteru zabudowy ma istotne znaczenie, gdyż wpływa on na wielkość i rodzaj generowanego ruchu. Najczęściej w modelach predykcji liczby lub wskaźników wypadków opis charakteru zabudowy występuje w postaci zmiennych jakościowych. Do opisu skalarne zaproponowano wskaźnik charakteru zabudowy  $CH_{RB}$  [%], wyrażający procentowy udział powierzchni poszczególnych rodzajów budynków, które występują na danym terenie (mieszkaniowe, gospodarcze, inne w tym komercyjne) do łącznej powierzchni zabudowy:

$$CH_{RB} = \frac{P_{RB}^{zab}}{\sum P^{zab}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

w którym:

$P_{RB}^{zab}$  – powierzchnia zabudowy budynków danego rodzaju ( $M$  – mieszkalne,  $G$  – gospodarcze,  $I$  – inne) [ $m^2$ ],

$\sum P^{zab}$  – suma powierzchni zabudowy wszystkich budynków [ $m^2$ ].

Dodatkową cechą miejscowości, przez które przebiegają drogi jest **wskaźnik demograficzny ludności**. Definiowany jest on jako liczba ludności danej miejscowości przypadająca na kilometr odcinka analizowanej drogi krajowej (na obszarze zabudowanym)  $LUD$  [tys./km] i jest on ściśle związany z wielkością generowanego dodatkowego ruchu lokalnego pojazdów na drogach o dominującym udziale ruchu tranzytowego.

Wybór wskaźników determinowany był potrzebą ilościowego opisu cech zabudowy, w których zawarte są czynniki pośrednio wpływające na składowe wystawienia na ryzyko w modelach wypadkowych, oraz oceną postrzegania przestrzeni wokół drogi przez użytkowników pojazdów. Nie jest możliwe skwantyfikowanie cech otoczenia drogi tylko pojedynczymi wskaźnikami. Podjęte badania przedstawione w dalszej części koncentrują się na identyfikacji wpływu wskaźników gęstości punktów dostępności do dróg i ich rodzaju, wskaźników opisujących zagospodarowanie otoczenia drogi i sposób jego użytkowania, elementów wyposażenia drogi (typ przekroju poprzecznego, przystanki autobusowe, przejścia dla pieszych) oraz czynników ruchowych (natężenie ruchu, prędkość pojazdów, udział ruchu tranzytowego, natężenie ruchu pieszych) na wskaźniki wypadkowe. Na podstawie przeprowadzonych wstępnych badań wyselekcjonowano czynniki, które mogą istotnie wpływać na brd. Wszystkie z analizowanych zmiennych mają charakter skalarne. Jediną zmienną jakościową stosowaną w opisie drogi jest typ przekroju poprzecznego.

## Kwantyfikacja czynników wpływających na brd na przejściach dróg tranzytowych przez miejscowości

Do analiz przyjęto odcinki, na których nie występują dodatkowe czynniki mogące wpływać na bezpieczeństwo ruchu, wynikające z geometrii drogi i organizacji ruchu. Dlatego były to odcinki proste o małych pochyleniach podłużnych bez dodatkowych elementów redukujących prędkość, z ogólnym limitem prędkości w terenie zabudowanym wynoszącym 50 km/h w ciągu dnia.

Wszystkie wymienione wcześniej czynniki (zmienne niezależne) zostały uwzględnione w zbudowanej bazie danych o drogach i wypadkach. Kwantyfikacja czynników wpływających na brd została przeprowadzona za pomocą skonstruowanych modeli predykcji wypadków. Wykorzystano w tym celu szczegółowe dane o wypadkach (lata 2003–2007) ze 158 odcinków jednorodnych dróg o łącznej długości 285 km, na których zarejestrowano 1010 wypadków.

Jako zmienne zależne, na podstawie modeli predykcji wypadków, w których zostały wskazane czynniki wpływające na brd na przejściach dróg tranzytowych przez miejscowości, zostały wybrane: liczba wypadków ogółem ( $LW$ ), liczba wy-



padków ogółem w dobrych warunkach oświetlenia ( $LW_{dzien}$ ), liczba wypadków z pojazdami ( $LW_{poj}$ ), liczba wypadków z pieszymi ( $LW_{ps}$ ), liczba wypadków na odcinkach między skrzyżowaniami (z wyłączeniem skrzyżowań i ich sąsiedztwa) ( $LW_{odc}$ ), liczba ofiar ( $LO$ ). Wszystkie z wymienionych miar dotyczą okresu 5 lat.

Do konstrukcji modeli zastosowano uogólnione modele regresyjne (z różnymi postaciami funkcji wiążących). Pozwoliło to na porównanie rodzaju i roli wyselekcjonowanych czynników otoczenia dróg na brd. Końcowe postacie modeli zawierają zmienne, które okazały się statystycznie istotne (na poziomie istotności  $p \leq 0,05$  w przypadku analiz regresyjnych).

Do budowy modeli szacowania liczby wypadków za pomocą metody uogólnionej regresji liniowej założono rozkład Poissona dla zmiennej losowej oraz uwzględniono transformacje zmiennych niezależnych  $Q$  (natężenie ruchu) i  $L$  (długość odcinka jednorodnego) do postaci  $x_i = \ln(Q)$  oraz  $x_i = \ln(L)$  [4], [17]. W modelach ujęto zmienne wystawienia na ryzyko ( $Q$  i  $L$ ), zmienne charakteryzujące zagospodarowanie otoczenia drogi, drogę i dostępność do niej oraz zmienne charakteryzujące ruch pojazdów.

Ogólną postać modelu szacującego zmienną zależną liczby wypadków przedstawia równanie:

$$LW = Q^{a_1} \cdot L^{a_2} \cdot \exp(a_0 + a_3 \cdot x_3 - a_4 \cdot x_4 + \dots + a_n \cdot x_n) \quad (3)$$

w którym:

$a_0, a_1, \dots, a_n$  – nieznanne parametry modelu, współczynniki kierunkowe przy zmiennych,

$x_3, x_4, \dots, x_n$  – obserwowane, nielosowe zmienne niezależne.

Wykorzystanie rozkładu Poissona powoduje konieczność zastosowania zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej zaproponowanego w [7] do oceny dopasowania modelu. W obliczeniach współczynnika determinacji uwzględniono również różną liczbę zmiennych niezależnych w modelach poprzez zastosowanie skorygowanego współczynnika determinacji  $R^2_{sk}$ . Takie podejście jest wystarczające do selekcji czynników wpływających na brd na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości.

Zbudowane modele predykcji wskaźników wypadkowych zostały przedstawione w tabeli 1, w której zestawiono współczynniki kierunkowe przy zmiennych w ogólnej postaci rów-

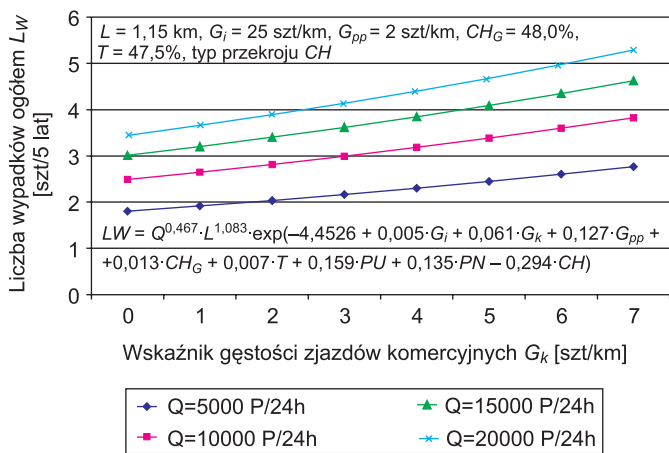
nia (3) oszacowane na podstawie maksymalizacji funkcji logarytmu największej wiarygodności. Większość ujętych w równaniach zmiennych (zarówno ilościowych, jak i jakościowych) jest statystycznie istotna na poziomie istotności  $p \leq 0,05$ . Część zmiennych, zaznaczonych podkreśleniem w tabeli 1, jest statystycznie istotna na poziomie istotności  $p \leq 0,1$ , a ich obecność w modelach wynika z fizycznej interpretacji zmiennych w modelu. Pozostałe zmienne, wstępnie typowane do analiz okazały się statystycznie nieistotne. Dla zmiennych jakościowych, zmienne przyjmują wartość 1, gdy występuje dany typ przekroju poprzecznego, a 0 w pozostałych przypadkach.

Zmienne występujące w modelach to:  $Q$  – natężenie ruchu [ $P/24$  h],  $L$  – długość odcinka drogi [km],  $G_i$  – wskaźnik gęstości indywidualnych punktów dostępności [szt./km],  $G_k$  – wskaźnik gęstości komercyjnych punktów dostępności [szt./km],  $G_{pp}$  – gęstość przejść dla pieszych [szt./km],  $CH_M$  – wskaźnik charakteru zabudowy budynkami mieszkaniowymi wyrażający procentowy udział tego typu budynków na danym obszarze [%],  $CH_G$  – wskaźnik charakteru zabudowy budynkami gospodarczymi, wyrażający procentowy udział tego typu budynków na danym obszarze [%],  $ZG_{50}$  – wskaźnik gęstości zabudowy wzdłuż drogi w pasie o szerokości 50 m po obu stronach drogi, wyrażający procentowy udział zabudowy na obszarze analizowanego pasa terenu [%],  $T$  – udział procentowy ruchu tranzytowego [%],  $PU$ ,  $PN$ ,  $CH$  – zmienne jakościowe oznaczające drogę jednojezdniową dwupasową o szerokości 7,0 m odpowiednio z pobocznymi utwardzonymi, pobocznymi gruntowymi, chodnikami.

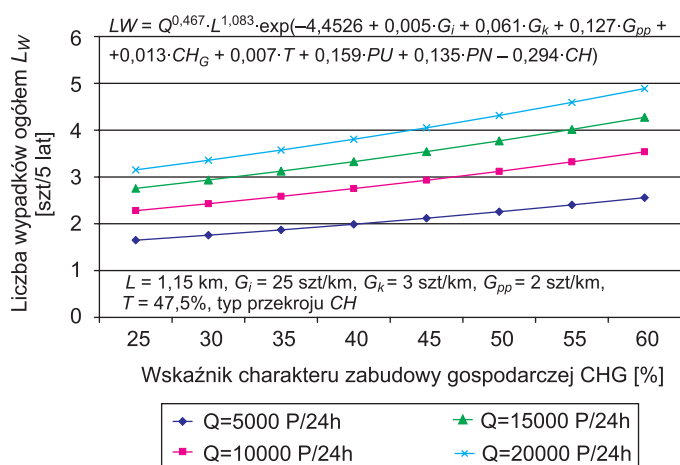
Na podstawie przedstawionych modeli skwantyfikowano wpływ czynników na bezpieczeństwo ruchu drogowego na odcinkach przejść dróg tranzytowych przez miejscowości, co pozwala m. in. na ocenę wpływu przekształceń dróg i sposobu zagospodarowania otoczenia drogi na wybrane wskaźniki wypadkowe. W opisywanych analizach szacowano wpływ wybranych pojedynczych zmiennych niezależnych na zmienne zależne, przy założeniu dla pozostałych zmiennych niezależnych wartości uśrednionych dla analizowanego zbioru odcinków dróg. Przykładowe wpływy wskaźnika gęstości komercyjnych punktów dostępności, wskaźnika charakteru zabudowy i wskaźnika gęstości zabudowy na liczbę wypadków oszacowane na podstawie modeli regresyjnych zostały przedstawione na rysunkach 4 ÷ 6.

Tabela 1. Zestawienie współczynników w równaniach predykcji liczby wypadków i ich ofiar dla uogólnionych modeli regresyjnych o postaci (3)

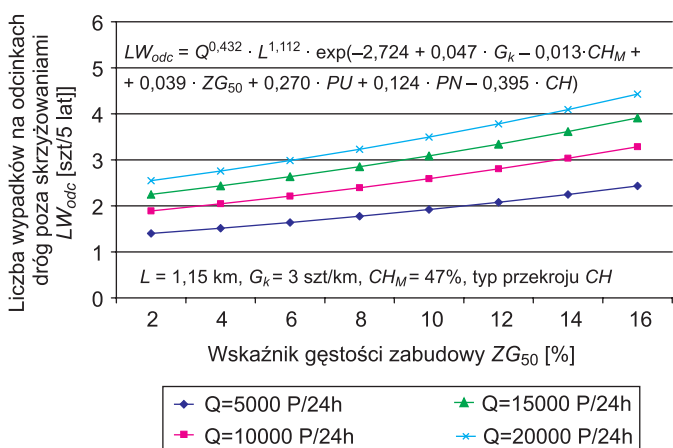
zmienna zależna	$A_0$	współczynniki modelu dla zmiennych ilościowych									współczynniki modelu dla zmiennych jakościowych			$R^2_{sk}$
		$Q$	$L$	$G_i$	$G_k$	$G_{pp}$	$CH_M$	$CH_G$	$ZG_{50}$	$T$	$PU$	$PN$	$CH$	
$LW$	-4,4526	0,467	1,083	<u>0,005</u>	0,061	0,127	–	0,013	–	0,007	0,159	0,135	-0,294	0,80
$LW_{odc}$	-2,7240	0,432	1,112	–	0,047	–	-0,013	–	0,039	–	0,270	0,124	-0,395	0,78
$LW_{ps}$	-5,8915	0,573	0,978	–	0,076	0,171	–	–	–	–	0,237	<b>0,116</b>	-0,353	0,69
$LW_{poj}$	–	0,096	1,071	0,006	0,056	0,110	-0,019	–	–	0,009	0,204	0,083	-0,287	0,79
$LW_{dzien}$	-4,6724	0,518	1,058	0,008	0,057	0,131	–	–	–	0,006	0,118	0,179	-0,297	0,83
$LO$	-3,3176	0,533	1,000	–	0,030	0,104	-0,014	–	0,033	0,009	0,169	0,167	-0,336	0,67



Rys. 4. Wpływ gęstości zjazdów komercyjnych na estymowaną liczbę wypadków (wg modelu LW)



Rys. 5. Wpływ wskaźnika charakteru zabudowy gospodarczej na estymowaną liczbę wypadków (wg modelu LW)



Rys. 6. Wpływ gęstości zabudowy w pasie 50 m na estymowaną liczbę wypadków na odcinkach pomiędzy skrzyżowaniami (wg modelu LW<sub>odc</sub>)

Na podstawie przedstawionych badań oraz innych modeli zbudowanych w ramach prac [10], [16] jako statystycznie istotne czynniki determinujące brd okazały się zmienne wystawienia na ryzyko, tj. natężenie ruchu pojazdów  $Q$  i długość

analizowanego odcinka  $L$  oraz: gęstość przejść dla pieszych  $G_{pp}$ , wskaźnik dostępności do drogi ( $G_{sk}$ ,  $G_k$ ,  $G_i$  i  $G_{og}$ ), wskaźnik charakteru zabudowy ( $CH_M$ ,  $CH_G$  i  $CH$ ), wskaźnik gęstości zabudowy ( $ZG_{50}$ ), typ przekroju poprzecznego drogi. Spośród zmiennych ruchowych istotną okazała się zmienna charakteryzująca udział ruchu tranzytowego w potoku pojazdów  $T$ .

Wpływy wybranych zmiennych przedstawiają się następująco:

- Wzrost gęstości skrzyżowań powoduje zwiększenie szacowanej liczby wypadków o 6,8% na każde dodatkowe skrzyżowanie na kilometr drogi (skrzyżowania bez sygnalizacji o natężeniu ruchu do 100 P/h). Każdy dodatkowy, komercyjny punkt dostępności na długości jednego kilometra drogi powoduje wzrost szacowanej liczby wypadków o 6,3%. Na każde 10 dodatkowych zjazdów indywidualnych na kilometr drogi przypada wzrost szacowanej liczby wypadków o 4,7%.
  - Wzrost wskaźnika gęstości zabudowy  $ZG_{50}$  o 5%, powoduje wzrost szacowanej w modelach regresyjnych liczby wypadków o 20,5% na odcinkach poza skrzyżowaniami.
  - Wraz ze wzrostem udziału zabudowy mieszkaniowej o 5% następuje redukcja liczby wypadków na odcinkach drogi poza skrzyżowaniami o 6,2%.
  - Każde dodatkowe przejście dla pieszych na kilometr drogi powoduje wzrost szacowanej liczby wypadków o 13,5%.
- Charakter wpływu niezależnych zmiennych skalarnych jest zgodny z oczekiwaniami wynikającymi z fizycznej interpretacji roli tych zmiennych. Praktycznie zastosowanie modeli predykcji wypadków jest jednak ograniczone do odcinków dróg przechodzących przez małe miejscowości o podobnej charakterystyce.

## Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz modeli predykcji wypadków można podać następujące wnioski:

- głównymi czynnikami wpływającymi na szacowaną w modelach predykcji liczbę wypadków i ich ofiar są parametry wystawienia na ryzyko, tj. natężenie ruchu i długość przejazdu przez miejscowość. Prędkość wpływa wprawdzie na ryzyko wypadków i ich skutki, ale w zbudowanych modelach predykcji wypadków uwzględniana jest tylko w sposób pośredni poprzez inne skorelowane z nią zmienne;
- wśród statystycznie istotnych zmiennych w modelach estymacji liczby wypadków zidentyfikowano: wskaźniki dostępności do drogi, charakter zabudowy, gęstość zabudowy, gęstość przejść dla pieszych, udział ruchu tranzytowego oraz typ przekroju poprzecznego;
- wyniki analiz potwierdziły istotny wpływ dostępności do drogi i zagospodarowania jej otoczenia na bezpieczeństwo ruchu, co przekonuje o potrzebie zmiany polityki budowy dróg i zarządzania kontrolą dostępności.

W artykule wykorzystano wyniki badań, które realizowane są w Katedrze Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu Politechniki Krakowskiej w ramach projektu badawczego *Narzędzia wspomagające decyzje przy projektowaniu obwodnic i przebudowie przejść drogowych przez miejscowości (2010–2013)*. Praca jest finansowana ze środków budżetowych Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.