

Politechnika Krakowska
Wydział Inżynierii Lądowej
Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej
Katedra Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu

Praca doktorska:

Wpływ nocnych ograniczeń widoczności na bezpieczeństwo
i wybrane parametry ruchu drogowego

mgr inż. Arkadiusz Zielinkiewicz

Promotor:

dr hab. inż. Stanisław Gaca, prof. PK

Kraków 2013



*Autor pracy był Stypendystą w ramach projektu
„Doctus – Małopolski fundusz stypendialny dla doktorantów”
współfinansowanego przez Unię Europejską
ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego*

*Serdeczne podziękowania składam promotorowi
Panu dr. hab. inż. Stanisławowi Gacy, prof. PK
za okazaną pomoc, cenne wskazówki i zaangażowanie podczas tworzenia pracy.*

*Pracę dedykuję mojej Żonie Ani w podziękowaniu
za pomoc w przeprowadzeniu badań, wsparcie, cierpliwość i wyrozumiałość,
bez których napisanie tej pracy byłoby niemożliwe.*



SPIS TREŚCI:

1.	Wstęp	1
2.	Studia literatury	4
2.1.	Charakterystyka ruchu nocnego	4
2.1.1.	Główne problemy ruchu nocnego	4
2.1.2.	Zagrożenia brd w świetle zagranicznych statystyk wypadkowych	5
2.1.3.	Wpływ zmniejszenia natężenia światła na zachowania człowieka	5
2.2.	Metody oceny ryzyka i zagrożenia wypadkowego	9
2.2.1.	Analiza uogólnionej regresji liniowej	9
2.2.2.	Metody bayesowskie	11
2.2.3.	Metody oceny relatywnego zagrożenia w różnych porach doby	15
2.2.4.	Metody badań prędkości i odstępów między pojazdami jako pośrednich miar brd	19
2.3.	Stan badań wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd	21
2.3.1.	Wpływ ciemności na wzrost zagrożenia brd	21
2.3.2.	Wpływ sztucznego oświetlenia na bezpieczeństwo ruchu w nocy	28
2.3.3.	Wpływ oświetlenia na pośrednie miary brd	30
2.4.	Wnioski w celu ukierunkowania własnych badań	36
3.	Cele, tezy i zakres pracy oraz metody badań	40
3.1.	Cele pracy	40
3.2.	Tezy pracy	40
3.3.	Zakres pracy	41
3.4.	Przyjęte metody badań	42
4.	Analizy danych o rejestrowanych wypadkach drogowych	43
4.1.	Bazy danych wypadkowych	43
4.2.	Dobowa i sezonowa zmienność ryzyka wypadków	44
4.2.1.	Oszacowanie relatywnego wpływu pory doby na wypadkowość	44
4.2.2.	Sezonowa zmienność ryzyka wypadków w nocy	47
4.3.	Porównania wskaźników ciężkości wypadków w poszczególnych porach doby	48
4.4.	Struktura typów wypadków w różnych okresach doby	49
4.5.	Struktura okoliczności wypadków w różnych warunkach oświetlenia	51
4.6.	Specyficzne okoliczności wypadków w różnych warunkach oświetlenia	53
4.7.	Określenie potencjalnego wpływu tzw. „czynnika ludzkiego” na występowanie wypadków drogowych w nocy	54
4.8.	Relatywne zagrożenie wypadkami w okresie nocy	56
4.9.	Wnioski z analiz danych o wypadkach	59
5.	Modele predykcji wypadków z uwzględnieniem nocnych ograniczeń widoczności	61
5.1.	Bazy danych i założenia do budowy modeli predykcji wypadków	61
5.1.1.	Wybór „odcinków niebezpiecznych”	61
5.1.2.	Zbiór zmiennych opisujących infrastrukturę drogową	64
5.1.3.	Bazy danych o natężeniu ruchu	65
5.2.	Modele regresyjne	66
5.2.1.	Opis zmiennych niezależnych	67
5.2.2.	Opis zmiennych zależnych	70
5.2.3.	Budowa modeli regresyjnych	71

5.2.4.	Charakterystyka najważniejszych wpływów elementów infrastruktury na brd i ich ogólna interpretacja.....	76
5.2.5.	Modele predykcji wypadków na drogach krajowych	81
5.2.6.	Modele predykcji wypadków na drogach wojewódzkich Małopolski.....	102
5.2.7.	Porównania modeli wypadkowych z dróg krajowych i wojewódzkich.....	114
5.2.8.	Ilościowe oszacowanie wpływu wybranych elementów infrastruktury drogowej na brd w warunkach nocnych ograniczeń widoczności oraz przy świetle dziennym.....	116
5.2.9.	Podsumowanie analizy modeli regresyjnych.....	125
5.3.	Modele graficzne.....	126
5.3.1.	Uwarunkowania zastosowania sieci Bayesa w analizach wypadkowych	128
5.3.2.	Założenia do budowy modeli graficznych.....	130
5.3.3.	Przepływ informacji w modelu bayesowskim	131
5.3.4.	Budowa sieci Bayesa.....	132
5.3.5.	Proces uczenia sieci Bayesa.....	132
5.3.6.	Metoda wnioskowania i weryfikacji modelu bayesowskiego	134
5.3.7.	Zbiór zmiennych w modelach graficznych.....	135
5.3.8.	Modele graficzne zależności cech wypadków na drogach krajowych.....	137
5.3.9.	Modele graficzne zależności cech wypadków na drogach wojewódzkich.....	148
5.3.10.	Porównania zależności pomiędzy cechami wypadków na drogach krajowych i wojewódzkich.....	157
5.3.11.	Zastosowanie wnioskowania bayesowskiego przy planowaniu budowy nowego odcinka drogi lub przebudowy odcinka istniejącego.....	161
5.4.	Porównanie wyników analiz przy pomocy modeli regresyjnych i graficznych	163
6.	Wpływ pory doby na pośrednie miary bezpieczeństwa ruchu drogowego.....	168
6.1.	Empiryczne badania prędkości i odstępów między pojazdami	169
6.1.1.	Przyjęte metody badań i techniki pomiarowe.....	169
6.1.2.	Agregacja danych w przedziałach czasowych.....	171
6.1.3.	Charakterystyka baz danych	172
6.2.	Wpływ warunków oświetlenia na prędkość pojazdów	173
6.2.1.	Porównania podstawowych statystyk i rozkładów prędkości w różnych porach doby	174
6.2.2.	Wpływ sztucznego oświetlenia drogowego na zmienność prędkości.....	180
6.2.3.	Modele estymacji prędkości na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości	183
6.2.4.	Próba oceny wpływu prędkości na zagrożenie wypadkowe w nocy	187
6.3.	Wpływ pory doby na odstępów między pojazdami.....	188
6.3.1.	Identyfikacja parametrów rozkładów odstępów między pojazdami.....	189
6.3.2.	Porównanie udziału odstępów niebezpiecznych między pojazdami w różnych porach doby	193
6.3.3.	Identyfikacja wpływu wybranych parametrów ruchu na udział niebezpiecznych odstępów między pojazdami	198
6.3.4.	Możliwość wykorzystania udziału tzw. „krótkich” odstępów między pojazdami w ocenie wpływu warunków oświetlenia na zagrożenie wypadkowe.....	201
6.4.	Analizy ruchu kolumnowego w różnych warunkach oświetlenia.....	203
6.4.1.	Porównanie udziału pojazdów jadących w kolumnach w różnych porach doby... ..	204
6.4.2.	Identyfikacja wpływu wybranych parametrów ruchu na udział pojazdów jadących w kolumnach.....	205
6.4.3.	Analizy wpływu warunków oświetlenia na wybrane parametry ruchu kolumnowego	208
6.5.	Wnioski z ocen wpływu warunków oświetlenia na pośrednie miary brd	210

7.	Wnioski oraz kierunki dalszych badań	212
7.1.	Wnioski.....	213
7.2.	Wskazania środków poprawy brd w warunkach nocnych ograniczeń widoczności.....	218
7.3.	Kierunki dalszych badań.....	219
	LITERATURA.....	221
	Załącznik 1: Tablice i rysunki do rozdziału 4.....	Z1
	Załącznik 2: Tablice do rozdziału 5	Z3
	Załącznik 3: Tablice i rysunki do rozdziału 6.....	Z39

SPIS OZNACZEŃ:

Q	–	natężenie ruchu pojazdów [P/h],
QPS	–	natężenie ruchu pieszego [l. pieszych/h],
N	–	natężenie ruchu pojazdów [P/okres doby],
V_{sr}	–	prędkość średnia w ruchu swobodnym [km/h],
V_{15}, V_{50}, V_{85}	–	kwantyle 15, 50 i 85% prędkości w ruchu swobodnym [km/h],
Z_V	–	wskaźnik zmienności parametru prędkości [-],
WZV	–	współczynnik zmienności prędkości [-], $WZV = \sigma/V_{sr}$,
K, A	–	współczynnik kurtozy i współczynnik skośności rozkładu [-],
T	–	udział ruchu tranzytowego [%],
U_c	–	udział pojazdów ciężkich [-],
Δt	–	odstęp między pojazdami [s],
Δt_{kryt}	–	krytyczny odstęp między pojazdami [s],
Δt_{gr}	–	graniczna odstęp między pojazdami, poniżej którego ruch jest wymuszony [s],
t_r	–	czas reakcji kierowcy [s],
a	–	opóźnienie przy hamowaniu pojazdu [m/s^2],
g	–	przyspieszenie ziemskie [m/s^2]; $g=9,81 m/s^2$,
i	–	pochylenie podłużne odcinka drogi [-],
l_p	–	długość pojazdu jadącego z przodu w parze pojazdów [m],
U_{onb}	–	udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami [-],
U_{kol}	–	udział pojazdów jadących w kolumnach [-],
L_{kol}	–	liczba kolumn [szt./h],
$L_{poj_kol_sr}$	–	średnia liczba pojazdów w kolumnie [P/kol.],
$L_{poj_kol_max}$	–	maksymalna liczba pojazdów w kolumnie [P/kol.],
U_{onb_kol}	–	udział odstępów niebezpiecznych w kolumnach [-],
$U^{„o-o”}_{onb_kol}$	–	udział par „osobowyosobowy” wśród odstępów niebezp. w kolumnach [-],
$U^{„o-c”}_{onb_kol}$	–	udział par „osobowyciązarowy” wśród odstępów niebezp. w kolumnach [-],
$U^{„c-o”}_{onb_kol}$	–	udział par „ciężarowyosobowy” wśród odstępów niebezp. w kolumnach [-],
$U^{„c-c”}_{onb_kol}$	–	udział par „ciężarowy ciężarowy” wśród odstępów niebezp. w kolumnach [-],
LW	–	liczba wypadków [szt./okres],
LO	–	liczba ofiar [l. of./okres],
$LOŚ$	–	liczba ofiar śmiertelnych [l. of. śm./okres],
LR	–	liczba rannych [l. r./okres],
LW_{ppi}	–	liczba wypadków typu „pojazd-pieszy” [szt./okres],
LW_p	–	liczba wypadków z pojedynczym pojazdem – typu „pojazd” [szt./okres],
LW_{pp}	–	liczba wypadków typu „pojazd-pojazd” [szt./okres],
LW_{zcz}	–	liczba wypadków w wyniku zderzenia czołowego [szt./okres],
LW_{zbo}	–	liczba wypadków w wyniku zderzenia bocznego [szt./okres],
LW_{zty}	–	liczba wypadków w wyniku zderzenia tylnego [szt./okres],
LW_{sk}	–	liczba wypadków na skrzyżowaniach [szt./okres],
LW_{tp}	–	liczba wypadków na łuku poziomym [szt./okres],

LW_{zas}	–	liczba wypadków spowodowanych zaśnięciem lub zmęczeniem [szt./okres],
LW_{alk}	–	liczba wypadków, których sprawca był pod wpływem alkoholu [szt./okres],
LW_{naw}	–	liczba wypadków przy złym stanie nawierzchni [szt./okres],
LW_{alzm}	–	liczba wypadków niezwiązanych z alkoholem, ani zaśnięciem [szt./okres],
L_{17-23}	–	liczba wypadków w godzinach 17:00-23:00 w nocy [szt./okres],
L	–	długość odcinka [km],
G_{pd}	–	gęstość punktów dostępności [szt./km],
G_{ipd}	–	gęstość indywidualnych punktów dostępności [szt./km],
G_{kpd}	–	gęstość komercyjnych punktów dostępności [szt./km],
G_{lpd}	–	gęstość polnych lub leśnych punktów dostępności [szt./km],
G_{dg}	–	gęstość dróg gruntowych [szt./km],
G_{pa}	–	gęstość przystanków autobusowych [szt./km],
G_{pazz}	–	gęstość przystanków autobusowych z zatoką [szt./km],
G_{pabz}	–	gęstość przystanków autobusowych bez zatoki [szt./km],
G_{pp}	–	gęstość przejść dla pieszych [szt./km],
G_{ppz}	–	gęstość przejść dla pieszych zwykłych [szt./km],
G_{pps}	–	gęstość przejść dla pieszych z sygnalizacją świetlną [szt./km],
G_{ppp}	–	gęstość przejść dla pieszych z pulsatorem [szt./km],
G_{ppw}	–	gęstość przejść dla pieszych z wyspą azylu [szt./km],
G_{sk}	–	gęstość skrzyżowań [szt./km],
G_{skzs}	–	gęstość skrzyżowań z sygnalizacją świetlną [szt./km],
G_{skbs}	–	gęstość skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej [szt./km],
G_{skr}	–	gęstość skrzyżowań typu „rondo” [szt./km],
G_{przp}	–	gęstość przeszkód punktowych (do 2m długości włącznie) [szt./km],
G_{przc}	–	gęstość przeszkód ciągłych (o długości ponad 2m, bez barier) [km/km drogi],
G_{bar}	–	gęstość barier [km/km drogi],
G_{przew}	–	gęstość wszystkich przeszkód ciągłych z barierami i lasem [km/km drogi],
G_{nl}	–	gęstość wszystkich niebezpiecznych łuków poziomych [szt./km],
G_{nlz}	–	gęstość niebezpiecznych łuków z słupkami prowadzącymi U-1a lub U-1b [szt./km],
G_{nlztp}	–	gęstość niebezpiecznych łuków z tablicą prowadzącą U-3a lub U-3b [szt./km],
G_{nlztc}	–	gęstość niebezpiecznych łuków z tablicą prowadzącą ciągłą U-3c lub U-3d [szt./km],
G_{usp}	–	gęstość elementów uspokojenia ruchu [szt./km],
G_w	–	gęstość wysp pomiędzy pasami jezdni [szt./km],
$Kręt$	–	krętość drogi [stopni/km],
SP	–	segregacja ruchu pieszego,
$WNŁ$	–	występowanie niebezpiecznego łuku poziomego,
$WNŁA$	–	występowanie niebezpiecznego łuku z słupkami prowadzącymi (U-1a lub U-1b),
$WNŁB$	–	występowanie niebezpiecznego łuku z tablicą prowadzącą (U-3a lub U-3b),
$WNŁC$	–	występowanie niebezpiecznego łuku z tablicą prowadzącą ciągłą (U-3c lub U-3d),
$USPOK$	–	występowanie elementów uspokojenia ruchu,
$WPRZ$	–	występowanie przeszkód w przestrzeni drogi,
$WPRZP$	–	występowanie przeszkód punktowych w przestrzeni drogi,
$WPRZC$	–	występowanie przeszkód ciągłych w przestrzeni drogi,
$SZTOŚW$	–	występowanie sztucznego oświetlenia,

- SZTOŚWBR* – brak sztucznego oświetlenia,
SZTOŚWCZ – występowanie częściowego sztucznego oświetlenia,
SZTOŚWWP – występowanie pełnego sztucznego oświetlenia,
PS – wskaźnik „proste szanse” [-],
IS – wskaźnik „iloraz szans” [-],
SIS – wskaźnik „stosunek ilorazów szans” [-],
WZ – wskaźnik zagrożenia [-],
D_W – wskaźnik gęstości wypadków [wyp./km],
U_W – względny wskaźnik wypadkowy [wyp./mln poj. km/rok],
W_{CR} – wskaźnik ciężkości wypadków [l. r./ 100 wyp.],
W_{COŚ} – wskaźnik ciężkości wypadków [l. of. śm./ 100 wyp.],
R² – klasyczny współczynnik korelacji wielowymiarowej,
R_p² – zmodyfikowany współczynnik korelacji wielowymiarowej,
R_{sk}² – skorygowany współczynnik korelacji wielowymiarowej,
W – wartość statystyki Walda,
σ_j – odchylenie standardowe zmiennej *j*,
v_j – współczynnik zmienności zmiennej *j*,
 $\overline{x_j}$ – wartość średnia zmiennej *j*,
r_s – współczynnik korelacji rang Spearmana,
v_j – współczynnik zmienności zmiennej *j*,
p – poziom prawdopodobieństwa,
α – poziom istotności,
k, θ – parametry kształtu i skali rozkładu gamma,
P(X₁, ..., X_n) – prawdopodobieństwo łączne zestawu zmiennych,
P(X_i) – prawdopodobieństwo marginalne zmiennej,
P(MPE) – najbardziej prawdopodobna konfiguracja wszystkich zmiennych w sieci.

Typ przekroju poprzecznego:

- CH* – chodnik (przekrój M3),
B – pobocze bitumiczne (przekrój Z1),
G – pobocze gruntowe (przekrój Z2),
K – krawężnik.

Oznaczenia baz danych:

Obszar	Okres	Baza dróg	
		krajowych	wojewódzkich
zabudowany i niezabudowany razem	doba	DK-C-DO	DW-C-DO
	światło dzienne	DK-C-DZ	DW-C-DZ
	noc	DK-C-NO	DW-C-NO
zabudowany	doba	DK-Z-DO	DW-Z-DO
	światło dzienne	DK-Z-DZ	DW-Z-DZ
	noc	DK-Z-NO	DW-Z-NO
niezabudowany	doba	DK-NZ-DO	DW-NZ-DO
	światło dzienne	DK-NZ-DZ	DW-NZ-DZ
	noc	DK-NZ-NO	DW-NZ-NO

SPIS RYSUNKÓW:

Rys. 2.1.	Model Rumar'a percepcji i rozpoznawania sytuacji w ruchu drogowym [70].	6
Rys. 2.2.	Schemat graficzny modelu uogólnionej regresji liniowej.	10
Rys. 2.3.	Przykładowe dopasowanie funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu odstępów między pojazdami przy pomocy modelu Rayleigh'a (a), wykładniczego ujemnego przesuniętego (b), gamma (c), Pearsona III (d) oraz log-normalnego (e) wg [33].	20
Rys. 2.4.	Zmienność udziału śmiertelnych wypadków z pieszymi w kolejnych miesiącach roku w latach 1987-1997 w USA [80].	22
Rys. 2.5.	Wartości wskaźnika <i>PS</i> wraz z 95% przedziałami ufności dla wyróżnionych typów wypadków na podstawie danych wypadkowych z lat 1987-1997 w USA [81].	24
Rys. 2.6.	Zmienność liczby śmiertelnych wypadków typu „pojazd-pojazd” w okresie jesiennej zmiany czasu na podstawie danych wypadkowych z lat 1987-2001 w USA [83].	25
Rys. 2.7.	Wartości wskaźnika <i>PS</i> wraz z 95% przedziałami ufności dla wyróżnionych typów wypadków na podstawie danych wypadkowych z lat 1987-2004 w USA.	25
Rys. 2.8.	Porównanie linii trendów dobowej zmiany prędkości na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości w okresach „przed” i „po” zmianie limitu prędkości [28] (Z1 – jezdnia o szer. 7,0 m i pobocza bitumiczne, Z2 – jezdnia 7,0 m i pobocza gruntowe, M3 – jezdnia 8,0-9,0 m i chodnik).	31
Rys. 2.9.	Średnie predykowane wartości zmian kwantyla 85% rozkładu prędkości pojazdów pomiędzy okresem światła dziennego ze słoneczną lub pochmurną pogodą oraz okresem nocy [4].	32
Rys. 2.10.	Dystrybuanty odstępów między pojazdami przy świetle dziennym i w nocy na drogach w USA [97].	35
Rys. 2.11.	Dystrybuanty czasów reakcji t_r kierowców przy świetle dziennym i w nocy wg [11].	36
Rys. 4.1.	Zestawienie procentowych dobowych wskaźników struktury wypadków, ofiar śmiertelnych oraz natężenia ruchu na drogach krajowych.	43
Rys. 4.2.	Porównanie relatywnego ryzyka wypadku w kolejnych godzinach doby.	45
Rys. 4.3.	Porównanie relatywnego ryzyka wypadku w kolejnych godzinach doby w podstawowych grupach uczestników ruchu.	46
Rys. 4.4.	Porównanie struktury typów wypadków w przyjętych okresach doby na drogach krajowych i wojewódzkich.	49
Rys. 4.5.	Porównanie struktury przyczyn wypadków w przyjętych okresach doby.	51
Rys. 4.6.	Porównanie relatywnego ryzyka wypadku pod wpływem alkoholu oraz z wyniku zmęczenia lub zaśnięcia w kolejnych godzinach doby.	53
Rys. 4.7.	Porównanie struktury wieku sprawców wypadków w przyjętych okresach doby.	54
Rys. 4.8.	Wskaźniki zagrożenia wypadkowego związanego z nocą wraz z 95% przedziałami ufności dla różnych typów i okoliczności wypadków.	57
Rys. 5.1.	Sieć dróg wojewódzkich województwa małopolskiego zaczerpnięta z [47].	62
Rys. 5.2.	Graficzna interpretacja tzw. „odcinka niebezpiecznego”.	63
Rys. 5.3.	Zależność między wartościami obserwowanymi i przewidywanymi oraz między wartościami przewidywanymi i odległościami <i>D</i> Cooka w modelu „reprezentatywnym” z bazy DW-Z-NO.	75

Rys. 5.4.	Wpływ gęstości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną (G_{skzs}) na estymowaną liczbę wypadków w różnych porach doby (wg wzorów 5.12.3 i 5.31.5) na drogach krajowych.	118
Rys. 5.5.	Wpływ gęstości komercyjnych punktów dostępności (G_{kpd}) na estymowaną liczbę wypadków w różnych porach doby (wg wzorów 5.1.6 i 5.31.16) na drogach krajowych.	119
Rys. 5.6.	Wpływ gęstości punktów dostępności (G_{pd}) na estymowaną liczbę wypadków w różnych porach doby (wg wzorów 5.1.3 i 5.31.8) na drogach krajowych.	119
Rys. 5.7.	Wpływ gęstości przystanków autobusowych (G_{pa}) na estymowaną liczbę wypadków w różnych porach doby (wg wzorów 5.1.5 i 5.31.10) na drogach krajowych.	120
Rys. 5.8.	Wpływ gęstości przystanków autobusowych z zatoką (G_{pazz}) na estymowaną liczbę wypadków w nocy na drogach wojewódzkich (wg wzoru 5.90.14).	120
Rys. 5.9.	Wpływ gęstości przejść dla pieszych (G_{pp}) na estymowaną liczbę wypadków typu „pojazd-pieszcy” w różnych porach doby (wg wzorów 5.2.13 i 5.32.15) na drogach krajowych.	121
Rys. 5.10.	Wpływ gęstości przejść dla pieszych (G_{pp}) na estymowaną liczbę wypadków w różnych porach doby (wg wzorów 5.90.5 i 5.93.3) na drogach wojewódzkich.	122
Rys. 5.11.	Wpływ gęstości przeszkód punktowych (G_{przp}) na estymowaną liczbę wypadków w nocy na drogach wojewódzkich (wg wzoru 5.90.14).	122
Rys. 5.12.	Wpływ typu przekroju poprzecznego (CH chodnik, G pobocze gruntowe, B pobocze bitumiczne, K krawężnik) na estymowaną liczbę wypadków w różnych porach doby (wg wzorów 5.11.5 i 5.31.15) na drogach krajowych.	123
Rys. 5.13.	Wpływ typu przekroju poprzecznego ($CH+K$ chodnik lub krawężnik, $G+B$ pobocze lub bitumiczne) na estymowaną liczbę wypadków w nocy na drogach wojewódzkich (wg wzoru 5.90.11).	123
Rys. 5.14.	Wpływ występowania niebezpiecznych łuków zwykłych ($WNŁA$) na estymowaną liczbę wypadków w różnych porach doby (wg wzorów 5.102.13 i 5.93.5) na drogach wojewódzkich.	124
Rys. 5.15.	Wpływ występowania elementów uspokojenia ruchu ($USPOK$) na estymowaną liczbę wypadków w nocy na obszarze zabudowanym na drogach wojewódzkich (wg wzoru 5.91.27).	124
Rys. 5.16.	Przykładowa sieć Bayesa z prawdopodobieństwami marginalnymi [%] przyjęcia poszczególnych wartości przez pojedyncze węzły wg [75].	127
Rys. 5.17.	Schemat krokowej metody budowy sieci Bayesa.	132
Rys. 5.18.	Model graficzny zależności cech wypadków na drogach krajowych.	138
Rys. 5.19.	Prawdopodobieństwa marginalne przyjęcia poszczególnych wartości przez zmienne w modelu graficznym na podstawie danych z dróg krajowych.	139
Rys. 5.20.	Ilustracja wyników wnioskowania bayesowskiego o wartości W_z w przypadku wiedzy na temat pory doby na drogach krajowych.	141
Rys. 5.21.	Ilustracja wyników wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_z w przypadku wiedzy na temat zmiennych „Pora doby” oraz G_{sk} na drogach krajowych.	145
Rys. 5.22.	Ilustracja wyników wnioskowania bayesowskiego zmiennej „Typ wypadku” w przypadku wiedzy na temat zmiennych „Pora doby” oraz G_{sk} na drogach krajowych.	147
Rys. 5.23.	Model graficzny zależności cech wypadków na drogach wojewódzkich.	150

Rys. 5.24.	Prawdopodobieństwa marginalne przyjęcia poszczególnych wartości przez zmienne w modelu graficznym na podstawie danych z dróg wojewódzkich.	151
Rys. 5.25.	Ilustracja wyników wnioskowania bayesowskiego wartości W_Z w przypadku wiedzy na temat pory doby na drogach wojewódzkich.	152
Rys. 5.26.	Ilustracja wyników wnioskowania bayesowskiego zmiennej „Typ wypadku” w przypadku wiedzy na temat zmiennych „Pora doby” oraz G_{sk} na drogach wojewódzkich.	157
Rys. 5.27.	Porównanie wyników wnioskowania bayesowskiego zmiennej „Zabudowa” w przypadku wiedzy na temat pory doby na drogach krajowych i wojewódzkich.	158
Rys. 5.28.	Porównanie wyników wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat pory doby i występowania zabudowy na drogach krajowych i wojewódzkich.	158
Rys. 5.29.	Porównanie wyników wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat zmiennej G_{sk} na drogach krajowych lub G_{pd} na drogach wojewódzkich w nocy po godz. 23:00.	159
Rys. 5.30.	Porównanie wyników wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat zmiennej G_{sk} na drogach krajowych lub G_{pd} na drogach wojewódzkich w nocy w godz. 17:00-23:00.	159
Rys. 5.31.	Porównanie udziału wypadków śmiertelnych wśród wszystkich wypadków w zależności od gęstości przejść dla pieszych na drogach krajowych i wojewódzkich w nocy w godz. 17:00-23:00.	160
Rys. 6.1.	Schemat budowy stanowiska pomiarowego wykorzystującego detektory magnetyczne.	169
Rys. 6.2.	Fragment przykładowego pliku tekstowego z rejestratora magnetycznego.	170
Rys. 6.3.	Przykład automatycznej stacji do pneumatycznych pomiarów ruchu MetroCount.	170
Rys. 6.4.	Wpływ typu przekroju poprzecznego na estymowaną prędkość średnią w ruchu swobodnym w różnych porach doby na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości.	187
Rys. 6.5.	Zależność parametru kształtu k rozkładu gamma odstępów między pojazdami od natężenia ruchu uzyskana empirycznie.	191
Rys. 6.6.	Zależność iloczynu parametru kształtu k i parametru skali θ rozkładu gamma odstępów między pojazdami od natężenia ruchu uzyskana empirycznie.	192
Rys. 6.7.	Porównanie funkcji gęstości rozkładu gamma $f(\Delta t)$ odstępów między pojazdami Δt na podstawie modeli matematycznych w okresie światła dziennego i nocy przy natężeniu ruchu $Q=120$ P/h/pas.	193
Rys. 6.8.	Wpływ natężenia ruchu na udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami (U_{onb}) przy różnych czasach reakcji uwzględnionych we wzorze (2.26).	195
Rys. 6.9.	Porównanie wpływu natężenia ruchu na udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami (U_{onb}) w różnych okresach doby na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości.	196
Rys. 6.10.	Porównanie wpływu natężenia ruchu na udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami (U_{onb}) w różnych okresach doby na zamiejskich odcinkach dróg krajowych.	197
Rys. 6.11.	Udziały odstępów niebezpiecznych w zależności od natężenia ruchu i prędkości średniej przy świetle dziennym (model 6.5.1) i w nocy (6.5.3) na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o przekroju M3.	200

Rys. 6.12.	Udziały odstępów niebezpiecznych w zależności od natężenia ruchu i udziału pojazdów ciężkich przy świetle dziennym (model 6.5.2) i w nocy (6.5.4) na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o przekroju M3.....	200
Rys. 6.13.	Porównanie dystrybuant odstępów między pojazdami przy świetle dziennym i w nocy i wyznaczenie udziałów tzw. „krótkich” odstępów na zamiejskich odcinkach dróg krajowych o przekroju Z1.....	202
Rys. 6.14.	Zależność udziału pojazdów jadących w kolumnach od natężenia ruchu przy różnych wartościach granicznych odstepu między pojazdami (Δt_{gr}), poniżej której ruch jest traktowany jako wymuszony na przykładzie odcinków przejść dróg krajowych przez miejscowości.....	203
Rys. 6.15.	Schemat tworzenia się kolumn pojazdów.....	204
Rys. 6.16.	Porównanie wpływu natężenia ruchu na udział pojazdów jadących w kolumnach (U_{kol}) w różnych okresach doby na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości. ..	204
Rys. 6.17.	Porównanie wpływu natężenia ruchu na udział pojazdów jadących w kolumnach (U_{kol}) w różnych okresach doby na zamiejskich odcinkach dróg krajowych.	205
Rys. 6.18.	Udziały pojazdów jadących w kolumnach w zależności od natężenia ruchu i prędkości średniej przy świetle dziennym (model 6.9.1) i w nocy (6.9.2) na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o przekroju M3.....	207
Rys. 6.19.	Udziały pojazdów jadących w kolumnach w zależności od natężenia ruchu i udziału pojazdów ciężkich przy świetle dziennym (model 6.6.1) i w nocy (6.6.2) na zamiejskich odcinkach dróg krajowych o przekroju Z1.....	207
Rys. 6.20.	Porównanie wpływu natężenia ruchu (Q) na liczbę kolumn (L_{kol}) w różnych okresach doby na zamiejskich odcinkach dróg krajowych z poboczami bitumicznymi.	209
Rys. Z4.1.	Porównanie relatywnego ryzyka wypadku w kolejnych miesiącach roku.	Z2
Rys. Z6.1.	Porównanie funkcji gęstości rozkładu gamma $f(\Delta t)$ odstępów między pojazdami Δt na podstawie modeli matematycznych w okresie światła dziennego i nocy przy natężeniu ruchu $Q=300$ P/h/pas.....	Z42
Rys. Z6.2.	Porównanie dystrybuant odstępów (Δt) między pojazdami przy świetle dziennym i w nocy i wyznaczenie udziałów tzw. „krótkich” odstępów na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o przekroju Z1.....	Z42
Rys. Z6.3.	Porównanie dystrybuant odstępów (Δt) między pojazdami przy świetle dziennym i w nocy i wyznaczenie udziałów tzw. „krótkich” odstępów na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o przekroju Z2.....	Z43
Rys. Z6.4.	Porównanie dystrybuant odstępów (Δt) między pojazdami przy świetle dziennym i w nocy i wyznaczenie udziałów tzw. „krótkich” odstępów na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o przekroju M3.....	Z43
Rys. Z6.5.	Porównanie dystrybuant odstępów (Δt) między pojazdami przy świetle dziennym i w nocy i wyznaczenie udziałów tzw. „krótkich” odstępów na zamiejskich odcinkach dróg krajowych o przekroju Z2.....	Z43

SPIS TABLIC:

Tabl. 2.1.	Charakterystyka filtrów fizycznych i filtrów percepcji w modelu Rumar'a.....	6
Tabl. 2.2.	Charakterystyka filtrów poznawania w modelu Rumar'a.	7
Tabl. 2.3.	Ilorazy zdarzeń w ocenie ryzyka wypadkowego wg [49].....	16
Tabl. 2.4.	Wzory do oszacowania wariancji i 95% przedziałów ufności wskaźnika <i>IS</i> wg [49].....	17
Tabl. 2.5.	Oszacowanie zagrożenia występującego na nieoświetlonych łukach poziomych w nocy na podstawie danych wypadkowych z lat 1987-1997 w USA [80].	23
Tabl. 2.6.	Ilorazy (<i>PS</i>) liczby wypadków śmiertelnych w ciemności i przy świetle dziennym w 4 grupach badawczych na podstawie danych wypadkowych z lat 1987-1997 w USA [80].	23
Tabl. 2.7.	Ilorazy (<i>PS</i>) liczby wypadków śmiertelnych w ciemności i przy świetle dziennym dla różnych typów wypadków na podstawie danych wypadkowych z lat 1987-1997 w USA [81].	24
Tabl. 2.8.	Ilorazy (<i>PS</i>) liczby wypadków śmiertelnych typu „pojazd-pojazd” w ciemności i przy świetle dziennym na podstawie danych wypadkowych z lat 1987-2001 w USA [83].	25
Tabl. 2.9.	Oszacowanie ryzyka wypadkowego związanego z ciemnością przy pomocy relatywnego wskaźnika <i>IS</i> na podstawie danych wypadkowych z Norwegii, Szwecji i Holandii [49].	26
Tabl. 2.10.	Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej „ciężkość wypadku” przy znajomości wartości zmiennej „oświetlenie” wg [15].	27
Tabl. 2.11.	Oszacowanie ryzyka wypadku w ciemności oraz wpływu sztucznego oświetlenia na poszczególne okoliczności i typy wypadków poza zabudową przy pomocy relatywnego wskaźnika <i>IS</i> [95].	28
Tabl. 2.12.	Współczynniki regresyjnych modeli estymacji 85% kwantyla prędkości w różnych warunkach oświetlenia w okresie lata i zimy [4].	32
Tabl. 2.13.	Wyniki badań prędkości oraz koncentracji kierowców „przed i po” zainstalowaniu oświetlenia drogowego (w nawiasach podano liczebność prób) wg [3].	33
Tabl. 4.1.	Dane o wypadkach i wskaźnikach ich ciężkości na drogach krajowych (DK) w Polsce w latach 2005-09 oraz na drogach wojewódzkich (DW) w Małopolsce w latach 2007-2010.	44
Tabl. 4.2.	Wskaźniki ciężkości wypadków przy różnych warunkach oświetlenia.	48
Tabl. 4.3.	Udział wybranych okoliczności wypadków w okresie tzw. „głębokiej nocy”, tj. w godzinach 23:00-4:00, na drogach krajowych.	55
Tabl. 4.4.	Zestawienie parametrów trzech analizowanych przypadków wraz z ich wartościami „ilorazów szans” na podstawie metody zaczerpniętej z [49].	58
Tabl. 5.1.	Zestawienie wartości wskaźników wypadkowych w różnych porach doby na najbardziej niebezpiecznych 270 odcinkach dróg krajowych.	63
Tabl. 5.2.	Zestawienie wartości wskaźników wypadkowych w różnych porach doby na najbardziej niebezpiecznych 198 odcinkach dróg wojewódzkich Małopolski.	64
Tabl. 5.3.	Wartości przyjmowane przez zmienną jakościową „limit prędkości”.	70
Tabl. 5.4.	Przykład oceny istotności parametrów modelu predykcji liczby wypadków zbudowanego na podstawie bazy danych DW-Z-NO.	73

Tabl. 5.5.	Oszacowanie średniego prawdopodobieństwa konfliktu na skrzyżowaniu przy założeniu, że natężenie ruchu z wlotu bocznego jest równe 0,25 natężenia ruchu na wlocie głównym wg metody Elvika [19].	78
Tabl. 5.6.	Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w okresie nocy na drogach krajowych.	82
Tabl. 5.7.	Podsumowanie ilościowych wpływów elementów infrastruktury na liczbę wypadków w różnych porach doby na drogach krajowych.	92
Tabl. 5.8.	Zestawienie współczynników kierunkowych w reprezentatywnych regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków różnych typów w nocy na drogach krajowych.	94
Tabl. 5.9.	Zestawienie współczynników kierunkowych w reprezentatywnych regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków różnych typów przy świetle dziennym na drogach krajowych.	95
Tabl. 5.10.	Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w okresie nocy na drogach wojewódzkich Małopolski.	104
Tabl. 5.11.	Zestawienie zmiennych do budowy modeli graficznych.	136
Tabl. 5.12.	Liczebność przypadków zmiennych wyselekcjonowanych do budowy sieci Bayesa w bazie danych z dróg krajowych.	137
Tabl. 5.13.	Zestawienie MPE modeli powstałych w kolejnych krokach uczenia sieci Bayesa na podstawie danych z dróg krajowych.	138
Tabl. 5.14.	Wyniki wnioskowania bayesowskiego w przypadku wiedzy na temat pory doby na drogach krajowych (wartości w [%]).	140
Tabl. 5.15.	Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennych W_Z i „Typ przekroju” w przypadku wiedzy na temat pory doby i występowania zabudowy na drogach krajowych (wartości w [%]).	142
Tabl. 5.16.	Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennych G_{kpd} , G_{pa} , G_{pp} i G_{sk} w przypadku wiedzy na temat pory doby i występowania zabudowy na drogach krajowych (wartości w [%]).	143
Tabl. 5.17.	Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej „Typ wypadku” w przypadku wiedzy na temat pory doby i występowania zabudowy na drogach krajowych (wartości w [%]).	144
Tabl. 5.18.	Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat zmiennych „Pora doby” oraz G_{kpd} i G_{pa} na drogach krajowych (wartości w [%]).	145
Tabl. 5.19.	Liczebność przypadków zmiennych wyselekcjonowanych do budowy sieci Bayesa w bazie danych z dróg wojewódzkich.	149
Tabl. 5.20.	Zestawienie MPE modeli powstałych w kolejnych krokach uczenia sieci Bayesa na podstawie danych z dróg wojewódzkich.	149
Tabl. 5.21.	Wyniki wnioskowania bayesowskiego w przypadku wiedzy na temat pory doby na drogach wojewódzkich (wartości w [%]).	151
Tabl. 5.22.	Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennych W_Z i „Typ przekroju” w przypadku wiedzy na temat pory doby i występowania zabudowy na drogach wojewódzkich (wartości w [%]).	153
Tabl. 5.23.	Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennych G_{pd} , G_{przp} , G_{ppz} i G_{sk} w przypadku wiedzy na temat pory doby i występowania zabudowy na drogach wojewódzkich (wartości w [%]).	154
Tabl. 5.24.	Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej „Typ wypadku” w przypadku wiedzy na temat pory doby i występowania zabudowy na drogach wojewódzkich (wartości w [%]).	155

Tabl. 5.25.	Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat zmiennych „Pora doby” oraz G_{pd} i G_{przp} na drogach wojewódzkich (wartości w [%]).	155
Tabl. 5.26.	Zestawienie prawdopodobieństw uzyskania wartości wskaźnika zagrożenia W_Z w przyjętych przedziałach w różnych porach doby na odcinku niebezpiecznym numer 12 w miejscowości Posądz na drodze wojewódzkiej nr 776 „przed” i „po” zaproponowanych zmianach infrastruktury drogowej.	163
Tabl. 5.27.	Zestawienie charakterystyk modeli zbudowanych przy pomocy metody uogólnionej regresji liniowej i modeli graficznych opartych na sieciach Bayesa.	164
Tabl. 5.28.	Porównanie wyników analiz wpływu najważniejszych zmiennych na brd przy pomocy modeli uogólnionej regresji liniowej i modeli graficznych.	165
Tabl. 5.29.	Porównanie wyników analiz wpływu najważniejszych zmiennych na brd przy pomocy modeli uogólnionej regresji liniowej i modeli graficznych cd.	166
Tabl. 5.30.	Porównanie wyników analiz wpływu najważniejszych zmiennych na brd przy pomocy modeli uogólnionej regresji liniowej i modeli graficznych cd2.	167
Tabl. 6.1.	Zestawienie podstawowych statystyk prędkości pojazdów w ruchu swobodnym w różnych okresach doby na odcinkach o limicie prędkości 50/60 km/h.	175
Tabl. 6.2.	Zestawienie wartości relatywnego wskaźnika Z_V^i zmienności podstawowych statystyk prędkości w różnych okresach doby względem okresu „dnia” na odcinkach o limicie prędkości 50/60 km/h.	176
Tabl. 6.3.	Zestawienie podstawowych statystyk prędkości pojazdów w ruchu swobodnym w różnych okresach doby na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h (bez podziału na grupy rodzajowe).	178
Tabl. 6.4.	Zestawienie wartości relatywnego wskaźnika Z_V^i zmienności podstawowych statystyk prędkości w różnych okresach doby względem okresu „dnia” na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h.	178
Tabl. 6.5.	Zestawienie prędkości średnich oraz odchyleń standardowych prędkości w ruchu swobodnym w różnych okresach doby na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h.	179
Tabl. 6.6.	Zestawienie podstawowych statystyk prędkości pojazdów w ruchu swobodnym w różnych okresach doby na odcinkach o limicie prędkości 50 km/h z rozróżnieniem ze względu na występowanie sztucznego oświetlenia drogowego.	181
Tabl. 6.7.	Zestawienie wartości relatywnego wskaźnika Z_V^i zmienności podstawowych statystyk prędkości w różnych okresach doby względem okresu „dnia” na odcinkach o limicie prędkości 50 km/h z rozróżnieniem ze względu na występowanie sztucznego oświetlenia drogowego.	181
Tabl. 6.8.	Zestawienie podstawowych statystyk prędkości pojazdów w ruchu swobodnym w różnych okresach doby na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h w zależności od występowania sztucznego oświetlenia drogowego.	182
Tabl. 6.9.	Zestawienie wartości relatywnego wskaźnika Z_V^i zmienności podstawowych statystyk prędkości w różnych okresach doby względem okresu „dnia” na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h w zależności od występowania sztucznego oświetlenia drogowego.	183
Tabl. 6.10.	Porównanie wartości wskaźników zagrożenia związanego z prędkością wg [9] i relatywnego zagrożenia wypadkowego w nocy na drogach krajowych.	188
Tabl. 6.11.	Fragment bazy danych o parametrach ruchu i rozkładu odstępów między pojazdami w nocy na zamiejskich odcinkach dróg krajowych.	190
Tabl. 6.12.	Wartości parametru kształtu k i parametru skali θ rozkładu gamma odstępów między pojazdami przy natężeniu 120 P/h.	192

Tabl. 6.13.	Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach estymacji udziału odstępów niebezpiecznych między pojazdami na drogach krajowych.	199
Tabl. 6.14.	Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach estymacji udziału pojazdów jadących w kolumnach na drogach krajowych.	206
Tabl. 6.15.	Podsumowanie ilościowe zmian wartości pośrednich miar brd w warunkach nocnych ograniczeń widoczności.....	211
Tabl. Z4.1.	Wyznaczenie udziału natężenia ruchu w poszczególnych porach doby na drogach krajowych.	Z2
Tabl. Z5.1.	Wyznaczenie udziału okresu nocy przed godziną 23:00 w dobowym natężeniu ruchu...	Z4
Tabl. Z5.2.	Współczynniki korelacji r_s Spearmana dla zmiennych niezależnych z bazy DW-Z-NO (nadmierna korelajakolor niebieski, słaba korelajakolor czerwony).	Z5
Tabl. Z5.3.	Współczynniki korelacji r_s Spearmana dla zmiennych zależnych i niezależnych z bazy DW-Z-NO (słaba korelajakolor czerwony).	Z6
Tabl. Z5.4.	Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków z pieszymi w nocy na drogach krajowych (baza DK-C-NO).....	Z7
Tabl. Z5.5.	Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków z pojedynczymi pojazdami, wypadków typu „pojazd-pojazd”, wypadków na skrzyżowaniach, wypadków na łukach poziomych i wypadków w wyniku zderzenia czołowego w nocy na drogach krajowych (baza DK-C-NO).	Z8
Tabl. Z5.6.	Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia bocznego i tylnego, wypadków przy złym stanie nawierzchni, wypadków bez udziału alkoholu ani zmęczenia lub zaśnięcia i wypadków w godzinach 17:00-23:00 w nocy na drogach krajowych (baza DK-C-NO).....	Z9
Tabl. Z5.7.	Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków wszystkich typów w nocy na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-NO).	Z10
Tabl. Z5.8.	Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków z pieszymi, wypadków z pojedynczymi pojazdami i wypadków typu „pojazd-pojazd” w nocy na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (baza DK-NZ-NO).....	Z11
Tabl. Z5.9.	Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków na skrzyżowaniach, wypadków na łukach poziomych i wypadków w wyniku zderzenia czołowego w nocy na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (baza DK-NZ-NO).....	Z12
Tabl. Z5.10.	Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia bocznego i tylnego, wypadków przy złym stanie nawierzchni, wypadków bez udziału alkoholu ani zmęczenia lub zaśnięcia i wypadków w godzinach 17:00-23:00 w nocy na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (baza DK-NZ-NO).	Z13
Tabl. Z5.11.	Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków przy świetle dziennym na drogach krajowych (baza DK-C-DZ).	Z14
Tabl. Z5.12.	Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków z pieszymi, wypadków z pojedynczymi pojazdami i wypadków typu „pojazd-pojazd” przy świetle dziennym na drogach krajowych (baza DK-C-DZ).....	Z15
Tabl. Z5.13.	Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków na skrzyżowaniach, wypadków na łukach poziomych, wypadków w wyniku zderzenia czołowego i bocznego przy świetle dziennym na drogach krajowych (baza DK-C-DZ).	Z16

Tabl. Z5.14. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia tylnego i wypadków przy złym stanie nawierzchni przy świetle dziennym na drogach krajowych (baza DK-C-DZ).	Z17
Tabl. Z5.15. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków, wypadków z pieszymi, wypadków z pojedynczymi pojazdami i wypadków typu „pojazd-pojazd” przy świetle dziennym na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-DZ).	Z18
Tabl. Z5.16. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków na skrzyżowaniach, wypadków na łukach poziomych, wypadków w wyniku zderzenia czołowego i bocznego przy świetle dziennym na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-DZ).	Z19
Tabl. Z5.17. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia tylnego i wypadków przy złym stanie nawierzchni przy świetle dziennym na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-DZ).	Z20
Tabl. Z5.18. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków, wypadków z pojedynczymi pojazdami, wypadków typu „pojazd-pojazd” i wypadków na skrzyżowaniach przy świetle dziennym na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (baza DK-NZ-DZ).	Z21
Tabl. Z5.19. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia czołowego, zderzenia bocznego i przy złym stanie nawierzchni przy świetle dziennym na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (baza DK-NZ-DZ).	Z22
Tabl. Z5.20. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w ciągu całej doby na drogach krajowych (baza DK-C-DO).	Z23
Tabl. Z5.21. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków z pieszymi, wypadków z pojedynczymi pojazdami i wypadków typu „pojazd-pojazd” w ciągu całej doby na drogach krajowych (baza DK-C-DO).	Z24
Tabl. Z5.22. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków na skrzyżowaniach i wypadków w wyniku zderzenia czołowego w ciągu całej doby na drogach krajowych (baza DK-C-DO).	Z25
Tabl. Z5.23. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia czołowego bocznego, zderzenia tylnego i wypadków przy złym stanie nawierzchni w ciągu całej doby na drogach krajowych (baza DK-C-DO).	Z26
Tabl. Z5.24. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków, wypadków z pieszymi i wypadków typu „pojazd-pojazd” w ciągu całej doby na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-DO).	Z27
Tabl. Z5.25. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków na skrzyżowaniach, wypadków na łukach poziomych i wypadków w wyniku zderzenia czołowego w ciągu całej doby na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-DO).	Z28
Tabl. Z5.26. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia bocznego, zderzenia tylnego i wypadków przy złym stanie nawierzchni w ciągu całej doby na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-DO).	Z29
Tabl. Z5.27. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków, wypadków z pieszymi, wypadków z pojedynczymi pojazdami, wypadków typu „pojazd-pojazd” i wypadków na skrzyżowaniach w ciągu całej doby na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (baza DK-NZ-DO).	Z30

Tabl. Z5.28. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia czołowego, zderzenia bocznego, zderzenia tylnego i wypadków przy złym stanie nawierzchni w ciągu całej doby na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (baza DK-NZ-DO).	Z31
Tabl. Z5.29. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w okresie nocy na drogach wojewódzkich Małopolski.	Z32
Tabl. Z5.30. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w okresie światła dziennego na drogach wojewódzkich Małopolski.	Z33
Tabl. Z5.31. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w okresie doby na drogach wojewódzkich Małopolski.	Z33
Tabl. Z5.32. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków niezwiązanych z alkoholem ani zmęczeniem lub zaśnięciem kierowcy w okresie nocy na drogach wojewódzkich Małopolski.	Z34
Tabl. Z5.33. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w okresie nocy przed godziną 23:00 na drogach wojewódzkich Małopolski bez podziału ze względu na zabudowę (baza DW-C-NO).	Z35
Tabl. Z5.34. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w okresie nocy przed godziną 23:00 na drogach wojewódzkich Małopolski na obszarze zabudowanym (baza DW-Z-NO).	Z36
Tabl. Z5.35. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat pory doby i typu przekroju poprzecznego na drogach krajowych (wartości w [%]).	Z37
Tabl. Z5.36. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat zmiennych „Pora doby” oraz G_{pp} na drogach krajowych (wartości w [%]).	Z37
Tabl. Z5.37. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat pory doby i typu przekroju poprzecznego na drogach wojewódzkich (wartości w [%]).	Z37
Tabl. Z5.38. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat zmiennych „Pora doby” oraz G_{ppz} na drogach wojewódzkich (wartości w [%]).	Z38
Tabl. Z6.1. Zbiór danych o parametrach ruchu uzyskany po przetworzeniu pliku z rejestratora pneumatycznego i wyodrębnieniu okresu nocy i pasa nr 1 dla przykładowego pomiaru z dnia 09.04.2008 na poligonie nr P374 w sesji nr 27.	Z40
Tabl. Z6.2. Zestawienie wartości p istotności różnic średniej prędkości pojazdów w ruchu swobodnym w różnych porach doby na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h.	Z41
Tabl. Z6.3. Zestawienie wartości p istotności różnic średniej prędkości pojazdów w ruchu swobodnym w różnych porach doby na odcinkach o limicie prędkości 50 km/h z rozróżnieniem ze względu na występowanie sztucznego oświetlenia drogowego.	Z41
Tabl. Z6.4. Zestawienie wartości p istotności różnic średniej prędkości pojazdów w ruchu swobodnym w różnych porach doby na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h w zależności od występowania sztucznego oświetlenia drogowego.	Z41
Tabl. Z6.5. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach estymacji liczby kolumn pojazdów (L_{kol}) na drogach krajowych.	Z44
Tabl. Z6.6. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach estymacji średniej liczby pojazdów w kolumnie ($L_{poj_kol_śr}$) na drogach krajowych.	Z44
Tabl. Z6.7. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach estymacji udziału par „osobowyosobowy” ($U_{o-o}_{onb_kol}$) wśród odstępów niebezpiecznych w kolumnach na drogach krajowych.	Z44

- Tabl. Z6.8. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach estymacji udziału par „ciężarowyosobowy” ($U^{c-o}_{onb_kol}$) wśród odstępów niebezpiecznych w kolumnach na drogach krajowych. Z45
- Tabl. Z6.9. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach estymacji udziału par „ciężarowycięzarowy” ($U^{c-c}_{onb_kol}$) wśród odstępów niebezpiecznych w kolumnach na drogach krajowych. Z45

1. WSTĘP

Warunki oświetlenia drogi są jednym z istotnych czynników towarzyszących występowaniu wypadków drogowych. W okresie nocy dochodzi na polskich drogach do ok. 30% wypadków, w których śmierć ponosi ok. 43% osób, podczas gdy natężenie ruchu (podstawowa jednostka wystawienia na ryzyko [22,41]) w tym samym okresie stanowi jedynie ok. 22% ruchu dobowego. Wzrost zagrożenia brd w okresie nocnych ograniczeń widoczności jest m.in. składową następujących czynników [27,28]:

- Ograniczenie przestrzeni obserwacji drogi i jej otoczenia wraz z błędami odczytu rzeczywistych parametrów geometrycznych drogi,
- Występowanie zjawiska olśnienia,
- Problem z oszacowaniem odległości do pojazdu nadjeżdżającego z przeciwka,
- Krótka odległość oraz ograniczone boczne pole widzenia na drodze nieoświetlonej,
- Zmniejszenie sprawności motorycznej oraz koncentracji kierowców w „nocy”, w tym wydłużenie ich czasu reakcji o ok. 0,4 sek. w stosunku do okresu „dnia”,
- Wydłużony czas adaptacji wzroku kierowcy do zmieniających się warunków oświetlenia.

Zarówno statystyki wypadkowe, jak i specyficzne uwarunkowania postrzegania drogi przez kierowców świadczą o skali problemu zagrożenia wypadkowego w okresie nocnych ograniczeń widoczności. Obok charakterystyki postrzegania drogi przez kierowców, duży wpływ na wzrost ryzyka wypadkowego w nocy ma również zmęczenie, odczuwane szczególnie w godzinach 24:00-3:00 [59] ze względu na rytm biologiczny człowieka. W okresie nocy można także zaobserwować większy udział w ruchu kierowców pod wpływem alkoholu oraz kierowców w młodym wieku, tzn. o mniejszym doświadczeniu i większej skłonności do podejmowania ryzyka na drodze.

Jednym z podstawowych środków minimalizacji skutków zaburzeń widzenia drogi przez kierowców w nocy są odpowiednie rozwiązania infrastrukturalne. Poprawa bezpieczeństwa ruchu w warunkach nocnych ograniczeń widoczności oraz w okresach przejściowych, pomiędzy dobrym oświetleniem a nocą, wymaga stosowania specyficznych środków, do których należą przede wszystkim:

- środki poprawy percepcji obrazu drogi i jej otoczenia, a także ułatwiające uczestnikom ruchu identyfikację rzeczywistego zagrożenia bezpieczeństwa,
- środki zarządzania prędkością, tj. jej dostosowania do rzeczywistego poziomu zagrożeń bezpieczeństwa ruchu w warunkach nocnych ograniczeń widoczności,
- środki infrastrukturalne minimalizujące skutki błędów uczestników ruchu,
- inne środki z zakresu edukacji i prewencji uświadamiające rzeczywisty poziom ryzyka ruchu nocą.

Ich wprowadzenie wymaga racjonalnego podejścia w postaci szczegółowej analizy wypadków i ich okoliczności w konkretnych lokalizacjach. Analiza ta powinna być wykonana w sposób naukowy z użyciem nowoczesnych metod statystycznych i powinna zmierzać

do identyfikacji cech dróg oraz parametrów ruchu, jakie mogą wpływać na brd w okresie nocnych ograniczeń widoczności. Znajomość determinant brd jest warunkiem doskonalenia zasad projektowania dróg. Część tego typu badań została podjęta przez autora i jest przedmiotem niniejszej pracy.

Podstawowym celem polityki transportowej wszystkich krajów Unii Europejskiej, w tym również Polski jest ograniczenie liczby ofiar śmiertelnych. W „Krajowym Programie Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego GAMBIT 2005” [34] założono tzw. „Wizję ZERO”, oznaczającą brak zabitych w wypadkach. Jako jeden z głównych celów przyjęto „Budowę i utrzymanie bezpiecznej infrastruktury drogowej”. Jednym z podstawowych obszarów interwencji Narodowego Programu Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2013-2020 [62] jest „Bezpieczna infrastruktura drogowa”. W ramach planowanych działań strategicznych w przedmiotowym obszarze wymieniono stosowanie takich rozwiązań technicznych sieci drogowej, które podnoszą bezpieczeństwo dróg oraz sprawiają, że drogi „wybaczają” nieuniknione ludzkie błędy. Położono nacisk na badania naukowe oraz wymianę doświadczeń i najlepszych praktyk krajowych i międzynarodowych. Jako jedno z największych zagrożeń ruchu drogowego w Polsce, wymagających wdrożenia standardów brd wyszczególniono wypadki w porze nocnej. Właściwe rozpoznanie zagrożeń w okresie nocy z wykorzystaniem metod stosowanych za granicą może okazać się bardzo ważnym elementem realizacji obu programów.

Warunki widoczności drogi w ciemności, ze względu na inny odbiór obrazu drogi przez kierowcę, mogą mieć również istotny wpływ na wybór prędkości oraz zachowywanie bezpiecznych odstępów między pojazdami. Dokładne poznanie determinant wyboru prędkości i odstępów, w tym określenie roli rozwiązań geometrycznych, może przyczynić się do lepszej identyfikacji przyczyn wypadków. W tym celu konieczny jest rozwój modeli opisujących prędkość i odstęp między pojazdami przy zmiennych warunkach oświetlenia.

W rozdziale 2 niniejszej rozprawy przedstawiono syntezę dotychczasowych prac w zakresie charakterystyki ruchu nocnego, metod oceny ryzyka wypadkowego oraz badań wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd. W poszukiwaniu charakterystyk ruchu nocnego szczególną uwagę zwrócono na jego specyficzne uwarunkowania oraz statystyki wypadkowe z różnych krajów świata. Opisano powszechnie stosowane oraz stosunkowo nowe metody oceny ryzyka wypadkowego. Dokonano również przeglądu modeli opisujących zagrożenie brd w warunkach nocnych ograniczeń widoczności. Rozdział zakończono sformułowaniem wniosków z przeprowadzonych studiów literatury, wskazaniem zaobserwowanych luk wiedzy na temat przedmiotowego zagadnienia oraz związanych z nimi kierunków własnych badań.

W rozdziale 3, w oparciu o studia literatury oraz obrane kierunki własnych badań, sformułowano podstawowe cele oraz tezy rozprawy doktorskiej. Osiągnięcie celów pracy oraz weryfikacja jej tez wymagają badań oraz analiz, których zakres również zestawiono w rozdziale 3.

Rozdział 4 zawiera wyniki analiz danych o rejestrowanych zdarzeniach drogowych. Kierując się wnioskami z przeglądu literatury, w przedmiotowych analizach szczególną uwagę zwrócono na strukturę typów i okoliczności wypadków w różnych warunkach oświetlenia. Podjęto próby wyodrębnienia wypadków o potencjalnie dużym wpływie

czynników związanych z infrastrukturą drogową. Porównano wskaźniki ciężkości wypadków w różnych porach doby. Określono również potencjalne znaczenie okoliczności związanych z uczestnikami ruchu, np. udziału alkoholu lub zmęczenia, w powstawaniu wypadków. Rozdział zamknięto wnioskami oraz wskazówkami dotyczącymi budowy modeli opisujących zagrożenie brd w okresie nocy.

W rozdziale 5 przedstawiono własne badania w zakresie rozwoju modeli predykcji wskaźników wypadkowych. Badania zmierzały do identyfikacji cech dróg oraz parametrów ruchu, jakie mogą wpływać na brd w różnych porach doby. Za narzędzia analiz przyjęte zostały uogólniona regresja liniowa oraz metody graficzne. Opisano źródła oraz budowę baz danych. Przedstawiono modele graficzne oparte na sieciach Bayesa wraz z ich podstawą teoretyczną oraz uwarunkowaniami wykorzystania w badaniach wypadkowości. Część badań została zrealizowana w ramach projektu badawczego N509 254437 „Identyfikacja determinant bezpieczeństwa ruchu w warunkach nocnych ograniczeń widoczności”. Autor był jednym z głównych wykonawców tego projektu.

Przedmiotem rozdziału 6 jest opis wpływu nocnych ograniczeń widoczności oraz cech dróg i parametrów ruchu na tzw. pośrednie miary zagrożenia wypadkowego, jakimi są prędkość i odstęp między pojazdami w potoku ruchu i w ruchu kolumnowym. Analizy przedmiotowych miar pośrednich objęły porównania podstawowych statystyk tych miar oraz ich rozkładów matematycznych w różnych warunkach oświetlenia. Wyznaczenie i kwantyfikację czynników determinujących wpływ otoczenia drogi i jej cech geometrycznych na wartości miar pośrednich zrealizowano przy pomocy modeli regresyjnych.

Rozdział 7 stanowi podsumowanie najważniejszych wyników rozprawy. Określono efekty pracy w oparciu o stopień realizacji celów i weryfikację założonych tez. Przedstawiono propozycje wykorzystania wyników badań w praktyce. Formułując kierunki dalszych badań, szczególną uwagę zwrócono na wskazanie istniejących luk wiedzy, które powinny zostać uzupełnione w przyszłości.

W pracy wykorzystano część baz danych z następujących grantów badawczych:

- „*Identyfikacja i prognozowanie zakresu oddziaływań środowiskowych ruchu pojazdów na przejściach dróg przez małe miejscowości*”. Projekt badawczy rozwojowy MNiI nr R10 008 02, Politechnika Krakowska, 2007 - 2009, kierownik grantu Marian Tracz;
- „*Identyfikacja determinant bezpieczeństwa ruchu w warunkach nocnych ograniczeń widoczności*”. Projekt badawczy MNiSzW nr 2544/B/T02/2009/37, Politechnika Krakowska, 2009 - 2012, kierownik grantu Stanisław Gaca;
- Projekt strukturalny POIG.01.01.02-10-106 „*Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju*”, Politechnika Łódzka, Zadanie T6.5 „*Kształtowanie infrastruktury drogowej spełniającej standardy bezpieczeństwa ruchu*”, Politechnika Krakowska, 2010 - 2012 kierownik zadania Stanisław Gaca.

2. STUDIA LITERATURY

2.1. Charakterystyka ruchu nocnego

2.1.1. Główne problemy ruchu nocnego

Specyfika ruchu nocnego jest przedmiotem wielu prac badawczych, których syntezę ujęto w opracowaniach [19,27,36,66,73]. W ogólności specyfika ta wiąże się z uwarunkowaniami dostrzegalności drogi i jej otoczenia oraz zachowaniami kierowców w różnych warunkach oświetlenia. Ponieważ ludzki wzrok nie jest dobrze przystosowany do widzenia w nocy, użytkownicy dróg potrzebują różnych technicznych rozwiązań, w tym sztucznego oświetlenia, stosowania elementów odbłaskowych przez innych uczestników ruchu, zapewnienia kontrastu świetlnego elementów wyposażenia dróg, kontrastowego oznakowania itp., aby móc bezpiecznie poruszać się w tym okresie doby. Wg [27] możemy wyróżnić 3 główne problemy ruchu nocnego:

- występowanie zjawiska olśnienia,
- problem z oszacowaniem odległości (szczególnie do pojazdu nadjeżdżającego z przeciwka),
- problem z wykrywaniem (dostrzeganiem) przeszkód znajdujących się w skrajni lub pobliżu drogi.

Kierowanie pojazdem bardzo silnie zależy od widzenia drogi przez kierowcę. Ograniczenie pola widzenia związane z ruchem nocnym powoduje zatem pogorszenie warunków prowadzenia pojazdu. Widzenie na wprost oraz dostrzegalność obiektów przez kierowców w nocy poprawia się przy obecności oświetlenia drogi oraz oświetlenia przez reflektory pojazdu. Taka poprawa powoduje u kierowcy subiektywne odczucie wzrostu zdolności prowadzenia pojazdu. Prowadzący pojazd nie jest jednak świadom znaczącego spadku swojej możliwości widzenia obiektów o niskim kontraście lub obiektów oświetlonych światłem o zbyt niskim natężeniu, wobec czego nie dostosowuje stylu jazdy do takich ograniczeń. Jedynym czynnikiem, który wpływa na świadomość ograniczonej zdolności percepcji obiektów przez kierowców w nocy jest wspomniany powyżej spadek pola widzenia.

Statystyki wypadkowe różnych krajów pokazują, że szczególnie narażeni na wypadki w nocy są piesi. Często poruszonym w literaturze problemem jest trudność prawidłowego dostrzegania pieszych przez kierowców. W [27] wykazano, że kierowca nie jest świadomy ograniczeń widoczności pieszych w warunkach nocnych, wobec czego nie przystosowuje prowadzenia pojazdu do tych warunków. Druga z przyczyn wypadków leży po stronie pieszych, którzy z kolei nie są świadomi ich słabej dostrzegalności przez kierowców, przez co wystawiają się na potencjalnie niebezpieczne sytuacje na drodze.

Starsi użytkownicy dróg często unikają ruchu w nocy ze względu na większą podatność na olśnienie oraz trudności w widzeniu, które nasilają się wraz z wiekiem. Literatura jednak nie podaje kompletnego wyjaśnienia tego problemu. Mało jest również informacji na temat doświadczeń ludzi z wadami wzroku w ruchu nocnym. Niektóre wady i choroby związane ze wzrokiem są powszechne, szczególnie wśród osób starszych, a badania

pokazują, że pomimo tego kierowcy z wymienionej grupy wiekowej nie rezygnują z prowadzenia pojazdów w nocy.

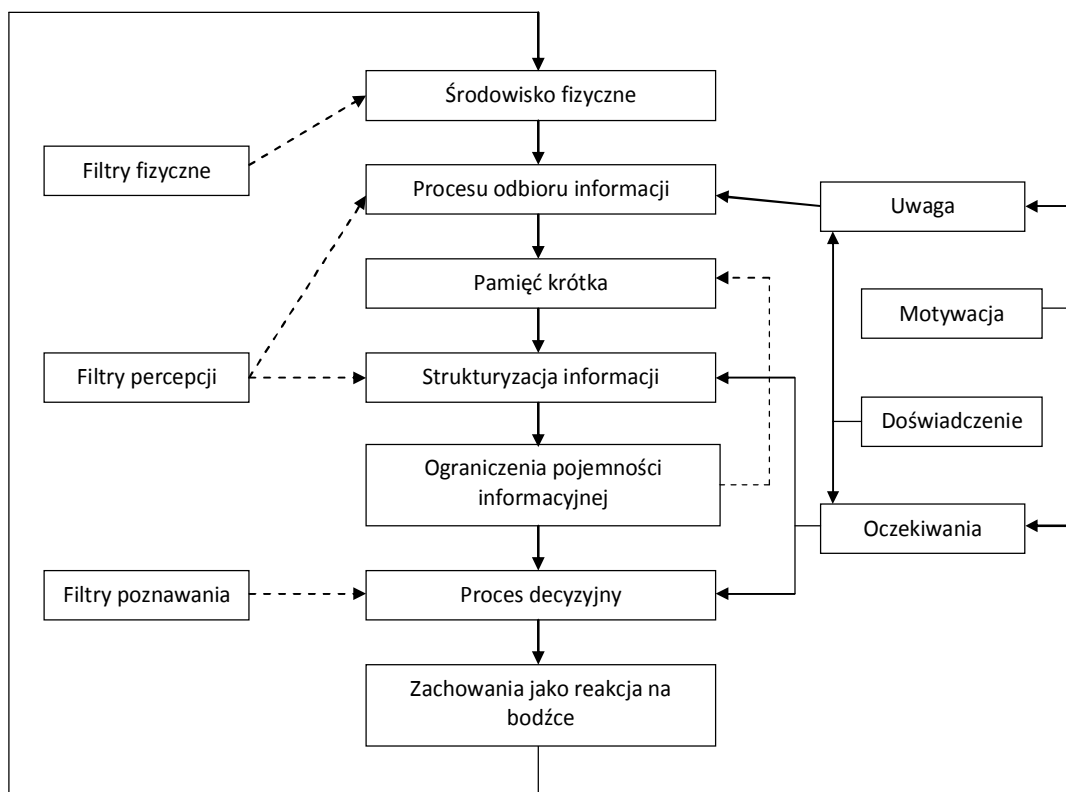
2.1.2. Zagrożenia brd w świetle zagranicznych statystyk wypadkowych

Statystyki oraz analizy wypadków w ruchu nocnym z różnych krajów świata [22,23,24,26,27,83] pozwalają zaobserwować następujące trendy:

- Większy niż przy świetle dziennym udział wypadków śmiertelnych w ogólnej liczbie wypadków (w USA 45-50% przy natężeniu ruchu w nocy ok. 25%, a w Japonii 55% przy ogólnej liczbie wypadków w nocy ok. 30%);
- Około 35% ogółu wypadków w Norwegii miało miejsce w ciemności oraz o zmierzchu, podczas gdy w okresie takim odbywa się w przybliżeniu 20-25% ruchu dobowego (proporcje te są takie same dla ruchu zamiejskiego i miejskiego);
- Częstsze występowanie wypadków z udziałem pieszych, nawet na przejściach z sygnalizacją świetlną (w USA 65% wypadków z udziałem pieszych występuje w nocy, a prawie połowa z nich jest związana z alkoholem) oraz wypadków pojedynczych pojazdów;
- Częstsze występowanie w nocy zderzeń czołowych, a rzadsze zderzeń tylnych. Jednak biorąc pod uwagę wystawienie na ryzyko, to zderzenia tylne są 2 razy bardziej prawdopodobne w nocy niż przy świetle dziennym;
- W niektórych krajach zderzenia boczne występują częściej (np. Szwecja i Japonia), a w innych rzadziej (np. USA) niż przy świetle dziennym;
- Obecność sztucznego oświetlenia obniża liczbę wypadków. W zależności od kraju oraz rodzaju dróg jest to o 15-40% wypadków mniej w stosunku do przypadków braku tego oświetlenia;
- Wg badań niemieckich udział wypadków spowodowanych złym widzeniem drogi przez kierowców wynosi około 7%, tj. prawie tyle samo, co udział wypadków powodowanych alkoholem;
- Prawie 70% wypadków z udziałem pieszych w nocy ma miejsce przy ruchu pojazdu na wprost (dla porównania przy świetle dziennym około 50%), co może być związane z ograniczeniem pola widzenia w nocy;
- Analizy dobowej zmienności wypadków śmiertelnych w USA wskazują, że najwięcej z nich ma miejsce w godzinach 15:00-24:00, z czego większość wypadków przypada na okres zmierzchu i nocy.

2.1.3. Wpływ zmniejszenia natężenia światła na zachowania człowieka

Zachowania człowieka, jako elementu systemu „droga – człowiek – pojazd” w największym stopniu decydują o przebiegu i zakłóceniach ruchu drogowego. Oczywiście są interakcje pomiędzy działaniem człowieka a jego fizycznym otoczeniem, tzn. elementami infrastruktury drogowej oraz sytuacjami w ruchu drogowym. Wypadki są często interpretowane jako wynik błędów w rozpoznawaniu takich sytuacji, ich zrozumieniu oraz podejmowaniu decyzji. Proces percepcji i rozpoznawania sytuacji w ruchu drogowym został przedstawiony schematycznie w modelu Rumar'a [73] na rys. 2.1.



Rys. 2.1. Model Rumar'a percepcji i rozpoznawania sytuacji w ruchu drogowym [73].

Model zakłada istnienie trzech ważnych grup filtrów odpowiedzialnych za odbiór informacji i ich przetwarzanie: filtrów fizycznych, percepcyjnych i poznawczych (psychologicznych). Pod pojęciem „filtr” mieści się wiele czynników, które w sposób łączny oddziałują na zdolność do postrzegania różnych bodźców, a także ich przetwarzania i w efekcie na zachowanie kierujących pojazdami w zależności od warunków oświetlenia determinujących wgląd w przestrzeń drogi. Filtry wraz z ich krótką charakterystyką i problemami zestawiono w tabl. 2.1 i tabl. 2.2.

Tabl. 2.1. Charakterystyka filtrów fizycznych i filtrów percepcji w modelu Rumar'a.

Grupa filtrów	Filtr	Charakterystyka, problemy
Fizyczne	Faza ściemniania	problem z dopasowaniem wzroku do zmiany oświetlenia
	Ciemność	pogorszenie ostrości widzenia, kontrastu, różnice luminacji
	Mgła, deszcz i śnieg	absorpcja i rozproszenie światła
	Stan przedniej szyby i reflektorów	zarysowania, zabrudzenia, zły stan wycieraczek
	Odbicia światła od jezdni	zjawisko lustra, strefy oświetlone i strefy cienia na jezdni
Percepcji	Fizjologiczne olśnienie	bezpośrednie lub przez odbicie światła, intensywność/ zmiana luminacji bez kompensacji przez adaptację wzroku
	Wydolność wzroku	ograniczenie wydolności widzenia wraz z wiekiem
	Wiek uczestników ruchu	ograniczenie percepcji i przetwarzania informacji w grupie starszych uczestników ruchu
	Odległości do przeszkody	niezachowywanie odległości widoczności pozwalającej na zatrzymanie przed przeszkodą
	Zmęczenia	osłabienie koncentracji, zasypianie
	Alkohol i inne używki	obniżenie zdolności do percepcji i reakcji na bodźce

Tabl. 2.2. Charakterystyka filtrów poznawania w modelu Rumar'a.

Grupa filtrów	Filtr	Charakterystyka, problemy
Poznawania	Percepcja odległości i prędkości	błędy identyfikacji i odczytu proporcji obiektów
	Doświadczenie i fiksacja wzroku	kierowanie wzroku w miejsce spodziewanych zagrożeń
	Granice pojemności informacyjnej	nadmiar informacji, błędy ich selekcji
	Percepcja informacji i motywy działania	optymalny poziom aktywności i indywidualna tolerancja zagrożenia
	Informacja zwrotna	komunikacja pomiędzy kierującym i otoczeniem
	Dyskomfort świetlny	oślnienie psychologiczne, uciążliwe zakłócenia świetlne

Pojawianie się opisanych uwarunkowań w percepcji i przetwarzaniu informacji ma istotne znaczenie we właściwym rozpoznawaniu zagrożeń w ruchu drogowym. Takie rozpoznanie powinno obejmować dostrzeżenie (odkrycie), lokalizację i identyfikację zagrożenia, a następnie ocenę i zrozumienie niebezpiecznej sytuacji. Błędy w procesie rozpoznawania mogą prowadzić do sytuacji konfliktowych.

Na podstawie badań zebranych w [27,73] oraz zaczerpniętych z [19,36] sformułowano ponadto następujące spostrzeżenia dotyczące uwarunkowań zachowań uczestników ruchu w nocy, mających wpływ na brd:

- Czas reakcji kierowcy w „nocy” wynosi 0,6 s, a w „dzień” 0,2 s (kierowca o wysokiej sprawności psychomotorycznej, skoncentrowany na prowadzeniu pojazdu);
- Czas reakcji kierowcy w nocy wzrasta wraz ze spadkiem jasności powierzchniowej nawierzchni drogowej, powodując wydłużenie drogi hamowania;
- Przy prędkości 70 km/h na drodze nieoświetlonej w ok. 90% przypadków droga hamowania (wraz z drogą przejeżdżaną w czasie reakcji kierowcy) jest dłuższa od odległości widzenia drogi przez kierowcę;
- Przy niekorzystnych warunkach widoczności np. we mgle, odległość widzenia drogi jest przeszacowywana o ok. 60%;
- Niezachowywanie bezpiecznych odstępów między pojazdami może być spowodowane nieświadomością kierowców na temat mniejszej widoczności w nocy;
- Oszacowanie przez kierowcę odległości do pojazdu nadjeżdżającego z przeciwka zależy od rozstawu między przednimi światłami, nie zależy natomiast od jasności światła; szeroko rozstawione światła podwyższają bezpieczeństwo, wpływając na niedoszacowanie odległości; spadek bezpieczeństwa następuje, gdy światła są blisko siebie;
- Kierowcy redukują prędkość, gdy są wystawieni na oślnienie powodujące brak komfortu jazdy; przy oślnieniu pogarsza się odległość widzenia w przód (np. pieszego), co może być spowodowane odwracaniem wzroku od punktu powodującego oślnienie;
- Efekt rozproszenia światła, powodujący dyskomfort, może być również spowodowany deszczem, brudnymi szybami lub niewłaściwą korekcją w okularach, używanych przez kierowcę;
- Zabrudzenia szyby powodują, że dowolny obiekt w nocy musi być o 30% jaśniejszy, aby mógł być w takim samym czasie dostrzeżony jak przy czystej szybie;

- Zabrudzenia reflektorów mogą powodować nawet 4-krotne osłabienie natężenia emitowanego światła w stosunku do reflektorów czystych;
- Kierowca odbiera moką jezdnię jako ciemniejszą; podczas deszczu światła pojazdów jadących z naprzeciwka mogą powodować iluminacje na powierzchni jezdni, przy której znacznie spada odczuwanie kontrastu przez kierowcę;
- Czarne powierzchnie asfaltowe absorbują większą część padającego na nie światła, natomiast jasne nawierzchnie charakteryzują się lepszym odbiciem światła, co może powodować zwiększenie odległości widoczności w nocy nawet o 10-20%. Równocześnie jednak białe oznakowanie poziome na czarnych powierzchniach jest lepiej dostrzegane niż na jasnych;
- Czas ponownego przestawienia się wzroku człowieka po wystawieniu go na olśnienie wynosi 1-4 s;
- Olśnienie przez pojazd jadący z tyłu w wyniku odbicia światła od lusterek pojazdu powoduje częstsze zmiany trajektorii ruchu w obrębie pasa ruchu oraz obniża odległość widzenia pieszego w porównaniu do braku takiego olśnienia. Użycie lusterek o zmniejszonym odbłasku osłabia efekt olśnienia przez pojazd jadący z tyłu. Takie osłabienie ma wpływ na poprawę warunków widzenia pieszych, ale nie ułatwia prowadzenia pojazdu;
- W okresie nocy wzrok ludzki lepiej rozpoznaje kolor żółty i czerwony; przy świetle dziennym zdolność ta spada o ok. 20%; ponadto dla kąta widzenia ponad 20 stopni, rozpoznawanie ww. barw w nocy spada o ponad 40%;
- W nocy występuje redukcja średniej luminacji, do której dopasowuje się wzrok, co oznacza pogorszenie ostrości widzenia do ok. 1/20 ostrości w warunkach światła dziennego;
- Kierowcy patrzą dłużej na znak pionowy przy świetle dziennym niż w nocy;
- Kierowcy w nocy potrzebują ok. 5 s na pełne odczytanie oznakowania poziomego, co odpowiada przejechaniu odcinka drogi ok. 70 m przy prędkości 50 km/h; odległość widoczności takiego oznakowania wynosi natomiast 25-90 m (w zależności od warunków), czyli jest z reguły zbyt mała; oznakowanie poziome z reguły spełnia warunek widoczności tzw. krótkiego zasięgu (do 3 s);
- W przypadku obecności sztucznego oświetlenia prawdopodobieństwo dostrzeżenia obiektu z odległości 60 m jest ok. 8,7 razy większe niż bez tego oświetlenia;
- Przeciętne ryzyko wypadku w stanie nietrzeźwości (0,5-0,8 promila we krwi) w ruchu nocnym jest ponad 5 razy większe od ryzyka przy świetle dziennym;
- Co czwarty kierowca, który potrafił lub przejechał pieszego, był tego świadom dopiero w momencie uderzenia, co świadczy o braku dostrzegalności pieszych;
- Odległość widzenia pieszego będącego w ruchu jest średnio o ok. 30 m większa niż pieszego stojącego w miejscu;
- Gdy pieszy ma na sobie element odblaskowy, odległość jego widzenia przez kierowców wzrasta o 120-200m (w zależności od rodzaju materiału i umiejscowienia na ciele pieszego), co zazwyczaj pomaga uniknąć wypadku;
- Ryzyko uwikłania pieszego w wypadku w „nocy” jest 3,00-6,75 razy większe niż w „dzień”;

- Brak jest wyczerpujących opracowań opisujących problemy ruchu rowerowego w nocy.

W nowozelandzkich badaniach [53] oszacowano, że ryzyko wypadku śmiertelnego związanego ze spożyciem alkoholu w „nocy” (min. 80 mg/l krwi) jest 16,5 razy większe niż w okresie „dnia” bez takiego spożycia. Dodatkowym czynnikiem potęgującym zagrożenie jest młody wiek kierowców, płeć (mężczyźni) oraz liczba pasażerów (największe zagrożenie w przypadku samotnej jazdy lub z min. 2 pasażerami). Wskaźniki ryzyka szacowano przez porównanie udziału wypadków śmiertelnych do udziału kontrolowanych przez policję pojazdów związanych z danym zakresem zawartości alkoholu we krwi.

W innych badaniach [84] ryzyko wypadku w ciemności w stosunku do światła dziennego oszacowano na 2,78, gdy kierowca jest pod wpływem alkoholu oraz na 9,27, gdy pieszy jest pod wpływem alkoholu.

2.2. Metody oceny ryzyka i zagrożenia wypadkowego

2.2.1. Analiza uogólnionej regresji liniowej

Do opisu i identyfikacji czynników zagrożeń bezpieczeństwa ruchu drogowego stosuje się najczęściej modele predykcji wypadków. Można je realizować przy pomocy analizy uogólnionej regresji liniowej. Taką metodę wykorzystano m.in. w pracach [2,9,10,11,21,30,33,35,54]. Regresja liniowa polega na estymacji wartości zmiennej zależnej (objaśnianej) przy pomocy zmiennych niezależnych (objaśniających), opisujących funkcje i cechy dróg oraz parametry ruchu. Zmienną objaśnianą w modelach są wskaźniki wypadkowe, np. liczba lub gęstość wypadków. Podstawowymi zmiennymi niezależnymi są zmienne opisujące wystawienie na ryzyko, m.in. natężenie ruchu, liczba zatrzymań/hamowań, liczba zmian kierunków ruchu, długość odcinka [22,41]. Zmienne te są dominującymi w sensie statystycznej istotności modelu. Konieczne jest jednak poszukiwanie kolejnych wpływów, które mogą pomóc w lepszym wyjaśnieniu zmiennej zależnej. Zmienne, które mają potencjalny wpływ na zagrożenie wypadkowe opisują m.in. cechy geometryczne dróg (np. szerokość pasa ruchu, jezdnia, pobocza, rodzaj pobocza, krzywizna drogi), stan nawierzchni, strukturę ruchu (np. udział pojazdów ciężkich) oraz prędkość (np. prędkość średnia, współczynnik zmienności prędkości, miary rozproszenia). Różne wskaźniki wypadkowe, będące miarami zagrożeń bezpieczeństwa ruchu, są opisywane jako funkcyjne zależności od zbioru zmiennych drogowo-ruchowych według następującego wzoru [82]:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ji} + \varepsilon_i, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

gdzie:

- y_i – obserwowana wartość losowej zmiennej zależnej,
- x_{ji} – obserwowane nielosowe zmienne niezależne,
- β_j – nieznane parametry modelu, współczynniki kierunkowe przy zmiennych szacowane w modelu najczęściej metodą największej wiarygodności,
- ε_i – nieobserwowalna zmienna reprezentująca składnik błędu losowego.

Model (2.1) jest liniowy z uwagi na współczynniki β_j . Dzięki zastosowaniu funkcji g , która z założenia jest monotoniczna i różniczkowalna powstaje uogólniony model liniowy (2.2), który dopuszcza zależności nieliniowe w odniesieniu do zmiennych x_{ji} .

$$y_i = g\left(\beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j \cdot x_{ji}\right) + \varepsilon_i, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

Weryfikacja statystyczna modelu uogólnionej regresji liniowej polega na:

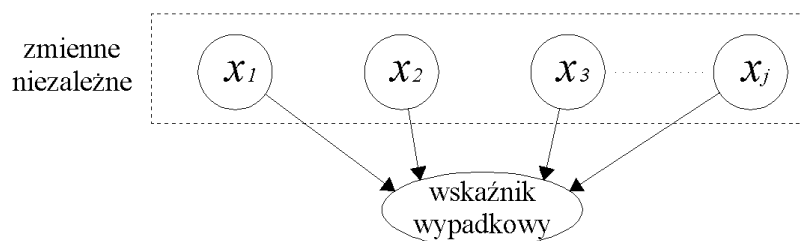
- ocenie istotności otrzymanych parametrów modelu,
- oszacowaniu dopasowania modelu do obserwowanych danych,
- przeprowadzeniu analizy reszt w celu identyfikacji punktów odstających i wpływowch.

Do oceny istotności parametrów modelu wykorzystuje się test Walda (5.3) oraz wartość prawdopodobieństwa testowego p .

Oszacowanie dopasowania modelu do obserwowanych danych w modelach regresji liniowej jest najczęściej realizowane przez wyznaczenie wprost współczynnika determinacji R^2 . Taki współczynnik nie jest jednak możliwy do zastosowania w uogólnionych modelach, w których jest on zastąpiony współczynnikiem pseudo R^2 [30]. Współczynniki R^2 i pseudo R^2 nie mogą służyć do wzajemnych porównań.

Ostatnim etapem weryfikacji uogólnionego modelu regresji liniowej jest analiza reszt obliczonych z uwzględnieniem zastosowanego rozkładu zmiennej losowej. Analiza ta obejmuje reszty surowe i reszty Pearsona oraz poszukiwanie wartości obserwowanych mających nadmierny wpływ na estymatory parametrów (wartości odstające). Analizę przeprowadza się na wykresach wartości obserwowanych, przewidywanych i reszt oraz za pomocą statystyki Cooka.

Zmienne drogowo-ruchowe będące parametrami β_j uogólnionego modelu regresji liniowej powinny być dobierane na podstawie interpretacji fizycznej hipotezy zdarzeń oraz intuicji i wiedzy badacza przy spełnieniu formalnego kryterium istotności statystycznej. Pomimo możliwości uogólnienia zależności regresyjnej przy pomocy funkcji wiążącej, zależność ta jest ograniczona do schematu przedstawionego na rys. 2.2.



Rys. 2.2. Schemat graficzny modelu uogólnionej regresji liniowej.

2.2.2. Metody bayesowskie

Zgodnie ze schematem na rys. 2.2 oraz według [78] metody regresyjne mają następujące niedostatki:

- konieczność dzielenia zmiennych na zależne i niezależne,
- konieczność określenia charakteru zależności zmiennych objaśniających od zmiennej objaśnianej lub przyjęcie zależności liniowej, co może uniemożliwiać odzwierciedlenie rzeczywistych zależności pomiędzy zmiennymi,
- brak możliwości odzwierciedlenia zależności pomiędzy powiązаныmi ze sobą zmiennymi niezależnymi,
- konieczność wyodrębnienia dużego zbioru danych do analiz.

Powyższe wady mogą skłaniać do poszukiwania innych metod opisu zagrożeń brd. Coraz częściej można spotkać w literaturze metody, wykorzystujące następujące twierdzenie o prawdopodobieństwie warunkowym Bayesa:

Tw. 1. Jeśli $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ są ciągiem zdarzeń losowych parami rozłącznych takich, że wypełniają całą przestrzeń prawdopodobieństwa S , tzn. $\bigcup \lambda_i = S$ oraz $P(\lambda_i) > 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots$, a Y jest dowolnym zdarzeniem takim, że $P(Y) > 0$, to dla dowolnego i prawdopodobieństwo zdarzenia λ_i pod warunkiem, że zaszło zdarzenie Y jest dane wzorem:

$$P(\lambda_i|Y) = \frac{P(Y|\lambda_i) \cdot P(\lambda_i)}{\sum_{j=1}^n P(Y|\lambda_j) \cdot P(\lambda_j)} \quad (2.3)$$

Twierdzenie to daje możliwość wykorzystania znanych współzależności pomiędzy pewnymi zjawiskami $P(X|\lambda_i)$, które przy znajomości wartości prawdopodobieństw ‘*a priori*’ $P(\lambda_i)$, pozwalają otrzymać nowe uaktualnione prawdopodobieństwa ‘*a posteriori*’ $P(\lambda_i|X)$. Suma w mianowniku wzoru (2.3) przy założeniu jak w tw. 1, jest równa $P(X)$.

Wśród metod bayesowskich wykorzystywanych w analizach bezpieczeństwa ruchu drogowego można wyróżnić:

- empiryczną (doświadczalną) metodę Bayesa (Empirical Bayes – EB),
- pełną metodę Bayesa (Full Bayes – FB),
- sieci graficzne Bayesa (Bayesian Networks – BN).

Empiryczna metoda Bayesa

Zgodnie z zaleceniami podanymi przez Elvika [23] empiryczna metoda Bayesa służy w ogólności do oszacowania spodziewanej liczby wypadków w dłuższej perspektywie czasu, gdy dysponujemy ograniczoną wiedzą na temat czynników determinujących występowanie wypadków w danym miejscu. Według metodologii EB [40], najlepsze oszacowanie miar brd można otrzymać przez połączenie dwu źródeł informacji:

- 1) Dane o wypadkach w danym miejscu,
- 2) Funkcja poziomu bezpieczeństwa (Safety Performance Function – SPF), pokazująca, jak różne czynniki wpływają na występowanie wypadków.

Obydwa źródła stanowią sztuczną, empiryczną informację 'a priori'. SPF w rzeczywistości jest oparta na metodzie uogólnionej regresji liniowej zgodnie ze wzorem (2.2). Gdy oznaczymy rzeczywistą zarejestrowaną liczbę wypadków przez LW , a oczekiwaną liczbę wypadków oszacowaną przy pomocy funkcji poziomego bezpieczeństwa przez λ , najlepszym przybliżeniem oczekiwanej liczby wypadków w danym miejscu jest:

$$E(\lambda|LW) = \alpha \cdot \lambda + (1 - \alpha) \cdot LW \quad (2.4)$$

Parametr α określa wagę szacowanej normalnej liczby wypadków dla podobnych lokalizacji przy zestawieniu ich z zarejestrowaną liczbą wypadków w celu oszacowania ich oczekiwanej liczby w danym miejscu. Najlepszym przybliżeniem wartości α jest:

$$\alpha = \frac{1}{1 + \lambda \cdot \mu} \quad (2.5)$$

μ jest parametrem (overdispersion parameter – OP), odpowiedzialnym za nadmierne rozproszenie liczby wypadków w stosunku do rozkładu Poissona, opisanym wzorem:

$$\mu = \frac{(\text{var}(LW) - LW_{sr})}{LW_{sr}^2} \quad (2.6)$$

W rozkładzie Poissona wartość średnia jest równa wariancji. Dla tego rozkładu parametr OP przyjmuje zatem wartość 0. Nadmierne rozproszenie w próbie w stosunku do rozkładu Poissona wskazuje, że wariancja jest większa od wartości średniej, zatem wartość OP liczby wypadków zawsze jest większa od zera. Wartość przedmiotowego parametru bliska zeru oznacza, że rozkład liczby wypadków jest zbliżony do rozkładu Poissona. Wówczas parametr α jest bliski 1, a oczekiwana liczba wypadków jest zbliżona do oszacowania przy pomocy SPF. Mała wartość parametru nadmiernego rozproszenia podnosi zatem jakość modelu.

LW_{sr} oraz $\text{var}(LW)$ to odpowiednio średnia oraz wariancja liczby wypadków ze zbioru analizowanych poligonów. Reasumując, λ jest zatem liczbą wypadków oczekiwaną do wystąpienia w podobnym miejscu, czyli takim, które charakteryzuje się podobnymi parametrami drogowo-ruchowymi. LW to zarejestrowana liczba wypadków, a $E(\lambda|LW)$ to długoterminowa spodziewana liczba wypadków.

Metodę EB często stosuje się w badaniach „przed-po” wskaźników wypadkowych w miejscach (analizowanych lokalizacjach), w których wprowadzono środki poprawy brd. Oszacowanie przy pomocy tej metody liczby wypadków spodziewanej w przypadku, gdyby nie wprowadzono środków poprawy, pozwala określić potencjalny wpływ podjętych zmian na poprawę brd.

Pełna metoda Bayesa

W przypadku metody FB informacja 'a priori' również pochodzi z SPF (Safety Performance Function), jednak w miejsce szacowania oczekiwanej wartości średniej oraz wariancji, wskaźnik wypadkowy generowany jest z odpowiedniego rozkładu prawdopodobieństwa [68]. Wartości otrzymane z rozkładu są łączone z rzeczywistymi

wartościami wskaźników wypadkowych. W ten sposób uzyskuje się długoterminowe oszacowanie oczekiwanej wartości wskaźnika wypadkowego. Do generacji wartości wskaźników wypadkowych najczęściej używa się rozkładów Poissona oraz dwumianowego ujemnego. Dobrą ilustracją zasady działania pełnej metody Bayesa jest przykładowy fragment kodu programu WinBUGS zaczerpnięty z [68]:

$$\begin{aligned}
 Y_{i,t} &\sim \text{Poisson}(\delta_i \cdot \lambda_{i,t}) \\
 \ln(\lambda_{i,t}) &= \ln(L) + b_0 + b_1 \cdot \ln(Q_{i,t}) + b_2 \cdot t \\
 \delta_i &\sim \text{Gamma}(\varphi, \frac{1}{\varphi}) \\
 \varphi &\sim \text{Gamma}(1,1)
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

gdzie:

- $Y_{i,t}$ - rzeczywista liczba wypadków na odcinku i w roku t ,
- $\lambda_{i,t}$ - oczekiwana liczba wypadków na odcinku i w roku t ,
- $Q_{i,t}$ - dobowe natężenie ruchu na odcinku i w roku t ,
- δ_i - parametr skali dla odcinka i ,
- b_0, b_1, b_2 - współczynniki kierunkowe.

Wskazane modelowanie parametru skali z rozkładu gamma zapewnia jego losowość oraz wartość większą od 0 i jest zgodne z zaleceniami [80] programu WinBUGS. Początkowe wartości współczynników b_0, b_1, b_2 nie są dokładnie zadane. Program samodzielnie je dobiera metodą iteracyjną. Należy pamiętać, że są one stałe dla wszystkich odcinków i lat analizy. Oczekiwana liczba wypadków $\lambda_{i,t}$ pomnożona przez parametr skali δ_i jest przyjmowana jako wartość średnia rozkładu Poissona, z którego generowana jest rzeczywista, znana liczba wypadków.

Metody FB również są wykorzystywane do badań „przed-po”. Wówczas $\lambda_{i,t}$ staje się oczekiwaną liczbą wypadków na odcinku i w roku t , gdyby na tym odcinku nie zastosowano środków poprawy brd. W celu oszacowania efektów zmian stosuje się wskaźnik skali redukcji wypadków (crash reduction rate – CRR) według wzoru:

$$CRR = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=t_Y+1}^{t_Y+t_Z} Y_{i,t}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=t_Y+1}^{t_Y+t_Z} \lambda_{i,t}}
 \tag{2.8}$$

gdzie:

- N - całkowita liczba badanych odcinków,
- t_Y - ostatni rok przed zastosowaniem środków poprawy brd,
- t_Z - liczba lat po zastosowaniu środków poprawy brd,
- $\lambda_{i,t}$ - oczekiwana liczba wypadków na odcinku i w roku t , gdyby na tym odcinku nie zastosowano środków poprawy brd.

Metody graficzne

Niewątpliwym atutem empirycznej i pełnej metody Bayesa jest możliwość wykorzystania w badaniach „przed-po”. Ponadto w przypadku FB możliwe jest jej zastosowanie nawet przy małych rozmiarach prób. Warto jednak zauważyć, że przedmiotowe metody są zespolone z funkcją SPF, najczęściej modelowaną przy pomocy analizy uogólnionej regresji liniowej. Próby i doświadczenia badawcze autora wskazują, że metody EB i FB zastosowane do predykcji wskaźników wypadkowych dają podobne wyniki, jak analizy regresyjne. Możliwości teorii Bayesa nie są w nich zatem w pełni wykorzystane. Kompleksowe zastosowanie metod bayesowskich umożliwia sieci graficzne, oparte na wzorze (2.3) oraz teorii grafów. Takie sieci zostały wykorzystane w modelach wypadkowych w pracach [18,42,78]. Podstawowe zalety tych sieci w stosunku do modeli regresyjnych to [78]:

- traktowanie w równorzędny sposób wszystkich zmiennych (nie dzielimy ich na zależne i niezależne),
- jawność współzależności zmiennych,
- możliwość obliczenia większej liczby kompleksowych danych nawet przy niewielkich rozmiarach prób,
- możliwość wykorzystania zebranych danych apriorycznej wiedzy na temat wartości współczynników i dostarczenia aposteriorycznych rozkładów wyników,
- możliwość rozważania korelacji przestrzennych pomiędzy lokalizacjami w formułowaniu modelu.

Zgodnie ze wzorem (2.3), każda zmienna przyporządkowana do danego węzła (*node*) w sieci Bayesa stanowi zbiór zdarzeń losowych, które możemy oznaczyć λ_n . Zmienna taka powinna zatem przyjmować pewną skończoną liczbę wartości. Jeśli postać zmiennej jest z natury ciągła, należy dokonać jej dyskretyzacji. Twierdzenie Bayesa służy do wyznaczenia prawdopodobieństwa przyjęcia danej wartości przez zmienną przy zająciu pewnych zadanych warunków. Warunki te mogą być dowolne, tzn. nie muszą dotyczyć węzłów bezpośrednio powiązanych ze sobą w sieci.

Każda ze zmiennych X_1, \dots, X_n sieci Bayesa jest opisana zestawem prawdopodobieństw warunkowych $P(X_k | Par_G(X_k))$, zwanych czynnikami (*factors*). Takie prawdopodobieństwa są danymi wejściowymi do budowy modelu. $Par_G(X_k)$ to zbiór zmiennych, będących rodzicami (*parents*) zmiennej X_k w sieci graficznej G , tzn. wszystkich zmiennych połączonych ze zmienną X_k w kierunku tej zmiennej. Sieć Bayesa jest reprezentowana przez prawdopodobieństwo łączne (*joint probability*) zgodnie z zasadą łańcuchową wg wzoru [56]:

$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{k=1}^n P(X_k | Par_G(X_k)) \quad (2.9)$$

W celu uzyskania prawdopodobieństwa pojedynczej zmiennej należy dokonać marginalizacji zgodnie ze wzorem:

$$P(X_l) = \sum_{X_1, \dots, X_n \neq X_k} P(X_1, \dots, X_n) \quad (2.10)$$

Objaśnienie współzależności pomiędzy zmiennymi w modelu graficznym, zapisanych przy pomocy wzorów (2.3), (2.9) oraz (2.10), zaprezentowano w rozdz. 5.3 na rys. 5.16 [78]. W rzeczywistości modele graficzne charakteryzują się jednak wyższym stopniem skomplikowania. Powyższe wzory są przeliczane przez programy komputerowe, a przedmiotem zainteresowania badacza są prawdopodobieństwa marginalne (2.10).

W przypadku ograniczonego zbioru danych podstawą budowy modelu opartego na teorii Bayesa jest sformułowanie zależności „przyczynowo-skutkowych” pomiędzy jego węzłami. W doborze połączeń należy kierować się stopniem wzajemnej korelacji zmiennych. Takie zależności powinny być formułowane na podstawie wiedzy (na przykład z oddzielnych modeli regresyjnych) oraz interpretacji fizycznej. Schemat graficzny sieci Bayesa (rys. 5.16) w porównaniu ze schematem uogólnionej regresji liniowej (rys. 2.2) jest bardziej złożony i umożliwia uwzględnienie większej liczby zależności pomiędzy zmiennymi, co jest potwierdzeniem wskazanych wcześniej zalet sieci graficznych.

Obok spotykanego w literaturze [18,42,67,78] wykorzystania w analizach wypadkowych sieci Bayesa opartych na prawdopodobieństwach warunkowych, uzyskanych z danych empirycznych, możliwe jest zaprojektowanie modelu graficznego (tzw. „uczenie sieci”), który uwzględni rzeczywiste korelacje między zmiennymi. Takie modele znajdują szerokie zastosowanie m.in. w branży internetowej, ekonomii, medycynie, robotyce czy meteorologii. Wskazówki odnośnie uczenia sieci można odnaleźć w [5,6,56,61,80,90].

Modele wypadkowe oparte na sieciach graficznych powinny dać możliwość przeprowadzenia kompleksowych analiz z uwzględnieniem zależności przyczynowo-skutkowych cech wypadków. Kompleksowość ta polega m.in. na możliwości kierowania dowolnych zapytań do sieci oraz stworzenia jednego modelu dla zróżnicowanego zbioru danych (np. na drogach krajowych i wojewódzkich). Możliwe jest również uwzględnienie razem w modelu zmiennych, które w analizach regresyjnych podlegały selekcji ze względu na wysoki stopień korelacji pomiędzy sobą. Przyjęcie oświetlenia jako jednego z węzłów sieci umożliwia uzyskanie prawdopodobieństw wynikowych, np. prawdopodobieństwa wypadku śmiertelnego w nocy, wypadku z udziałem alkoholu w wyniku nieudzielenia pierwszeństwa pieszemu w nocy itd. Uwarunkowania stosowania metod graficznych w analizach danych o wypadkach opisano szczegółowo w rozdz. 5.3.1.

2.2.3. Metody oceny relatywnego zagrożenia w różnych porach doby

Choć badania i analizy zdarzeń drogowych są najczęściej realizowane przy pomocy analiz regresyjnych (rozdz. 2.2.1) oraz metod bayesowskich (rozdz. 2.2.2), to w ocenie wpływu ograniczeń widoczności na brd w większości prac zagranicznych wykorzystuje się metody szacowania relatywnego zagrożenia przy pomocy ilorazów zdarzeń (stanowiących miarę zagrożenia), występujących w określonych okolicznościach [52] zgodnie z wzorami (2.11)-(2.14), zestawionymi w tabl. 2.3.

Wskaźniki we wzorach (2.11)-(2.14) służą do oceny wpływu konkretnych okoliczności na liczbę zdarzeń. Ilorazy przedstawiają stosunek liczby zdarzeń (np. wypadków drogowych) przy udziale czynnika poddanego analizie do liczby zdarzeń bez udziału tego czynnika. Jeżeli analizowany iloraz jest większy od 1,0, to dany czynnik zwiększa zagrożenie wypadkowe.

Tabl. 2.3. Ilorazy zdarzeń w ocenie ryzyka wypadkowego wg [52].

iloraz zdarzeń	proste szanse	iloraz szans	stosunek ilorazów szans	wskaźnik zagrożenia
wzór	$PS = \frac{LW_{at}}{LW_{bt}}$	$IS = \frac{LW_{at} / LW_{bt}}{LW_{ac} / LW_{bc}}$	$SIS = \frac{\frac{LW_{ati} / LW_{bti}}{LW_{aci} / LW_{bci}}}{\frac{LW_{atj} / LW_{btj}}{LW_{acj} / LW_{bcj}}}$	$WZ = \frac{LW_a / T_a}{LW_b / T_b}$
numer	(2.11)	(2.12)	(2.13)	(2.14)

Symbole we wzorach (2.11)-(2.14) oznaczają:

- LW – liczba zdarzeń, np. wypadków,
 T – miara wystawienia na ryzyko, najczęściej natężenie ruchu,
 a – okres przed wprowadzeniem zmian lub z obecnością czynnika, który jest oceniany,
 b – okres po wprowadzeniu zmian lub bez obecności czynnika, który jest oceniany,
 t – okres analizowany,
 c – okres porównawczy,
 i, j – kategorie zdarzeń.

Wskaźnik PS służący do przedmiotowych badań jest najczęściej wyrażony ilorazem liczby wypadków w ciemności do liczby wypadków przy świetle dziennym przy pewnych obiektywnych warunkach porównawczych, np. tej samej długości obu okresów. Przedział ufności wyznaczonego w ten sposób wskaźnika można obliczyć następująco [84]:

$$p - 1,96 \cdot \sigma_M \leq p \leq p + 1,96 \cdot \sigma_M \quad (2.15)$$

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{p \cdot q}{n - 1}} \quad (2.16)$$

Symbole we wzorach (2.15) i (2.16) oznaczają:

- p – obserwowana proporcja zdarzeń w okresie ciemności do wszystkich zdarzeń,
 $p \pm 1,96\sigma_M$ – dolny i górny 95%-przedział ufności,
 σ_M – odchylenie standardowe,
 q – $(1-p)$,
 n – liczba wszystkich zdarzeń.

Korzystając ze wskaźnika „ilorazu szans” (IS) (2.12), wpływ oświetlenia na zagrożenie powstawaniem wypadków można określić zgodnie z następującym wzorem [52]:

$$IS = \frac{LW_{okres_zimowy}^{godz.\ analizy} / LW_{okres_letni}^{godz.\ analizy}}{LW_{okres_zimowy}^{godz.\ porównawcze} / LW_{okres_letni}^{godz.\ porównawcze}} \quad (2.17)$$

W określeniu wartości IS można wykorzystać fakt, że długość okresu „światła dziennego” w ciągu roku jest zmienna, wobec czego w niektórych godzinach (np. 5:00-6:00 lub 18:00-19:00) mamy do czynienia z ciemnością w okresie zimowym, a oświetleniem słonecznym podczas lata. Takie godziny przyjmujemy jako „godziny analizy”. Wyrażenie w mianowniku wzoru służy do korekty wartości IS , np. ze względu na wpływ okresu

zimowego, charakteryzującego się mniejszymi natężeniami ruchu. Zagrożenie brd związane z brakiem oświetlenia wzrasta wykładniczo wraz ze wzrostem wskaźnika „ilorazu szans”.

Wpływ sztucznego oświetlenia na wypadkowość w okresie nocy można określić wykorzystując wzór [98]:

$$IS = \frac{LW_{droga_oswietlona}^{ciemnosc} / LW_{droga_oswietlona}^{swiatlo_dzenie}}{LW_{droga_nieoswietlona}^{ciemnosc} / LW_{droga_nieoswietlona}^{swiatlo_dzenie}} \quad (2.18)$$

Oprócz sposobu wyznaczenia samej wartości IS , opisywana metoda analiz obejmuje również wzory (2.19), (2.20) i (2.21) do obliczeń wariancji IS oraz 95% przedziałów ufności [52], zestawione w tabl. 2.4:

Tabl. 2.4. Wzory do oszacowania wariancji i 95% przedziałów ufności wskaźnika IS wg [52].

oszacowanie i			
parametr	wariancja	waga statystyczna	95% przedział ufności
wzór	$v_i = \frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C} + \frac{1}{D}$	$w_i = \frac{1}{v_i}$	$95\%PU = \exp \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^g w_i \cdot \ln(IS)_i}{\sum_{i=1}^g w_i} \right) \pm \frac{1,96}{\sqrt{\sum_{i=1}^g w_i}} \right]$
numer	(2.19)	(2.20)	(2.21)

Symbole we wzorach (2.19), (2.20) i (2.21) oznaczają:

- A – liczba wypadków w godzinie analizy w okresie, gdy godzina analizy jest „ciemna”,
- B – liczba wypadków w godzinie analizy w okresie, gdy godzina analizy jest „jasna”,
- C – liczba wypadków w godzinie porównawczej w okresie, gdy godzina analizy jest „ciemna”,
- D – liczba wypadków w godzinie porównawczej w okresie, gdy godzina analizy jest „jasna”,
- $\ln(IS)_i$ – logarytm ilorazu szans (wg (2.18)) oszacowania i .

Wskaźnik „stosunku ilorazów szans” (SIS) można na przykład wykorzystać w celu oceny efektywności zastosowania sztucznego oświetlenia drogowego. Zgodnie z ogólną zależnością (2.13) wzór na SIS przyjmuje wówczas postać [98]:

$$SIS = \frac{LW_{noc}^{droga_oswietlona} / LW_{dzień}^{droga_oswietlona}}{LW_{noc}^{droga_nieoswietlona} / LW_{dzień}^{droga_nieoswietlona}} \quad (2.22)$$

Taka postać ilorazu szans pozwala na ilościowe określenie redukcji liczby zdarzeń dzięki instalacji sztucznego oświetlenia.

Wskaźnik WZ może być wykorzystany w analizach wypadkowych, np. przy określeniu dobowej, sezonowej lub tygodniowej zmienności zagrożenia wypadkowego.

Metody oceny relatywnego zagrożenia bezpieczeństwa ruchu wykorzystuje się w ocenie ryzyka wypadkowego w przypadkach, gdy zastosowanie metod regresyjnych lub bayesowskich nie przynosi oczekiwanych efektów. Relatywność oceny polega na rezygnacji z oszacowania wprost wskaźnika wypadkowego i koncentracji na ilorazie zagrożenia lub ryzyka wypadku w okolicznościach będących przedmiotem badań, np. w różnych warunkach oświetlenia. Przedmiotowe metody zostały wykorzystane w rozdz. 4.8.

Poza opisanymi powyżej wskaźnikami służącymi do relatywnej oceny zagrożenia bezpieczeństwa ruchu drogowego w analizach wypadkowych stosuje się następujące standardowe miary wskaźnikowe [32]:

- wskaźnik gęstości wypadków D_w – liczba wypadków przypadających na 1 km drogi:

$$D_w = \frac{\sum W}{\sum L_i} \quad [\text{wyp./km}] \quad (2.23)$$

gdzie:

- $\sum W$ – całkowita liczba wypadków w analizowanym okresie,
- $\sum L_i$ – całkowita długość odcinka [km].

- wskaźnik ciężkości $W_{CO\dot{S}}$ wyrażany liczbą ofiar śmiertelnych na 100 wypadków,
- wskaźnik ciężkości W_{CR} wyrażany liczbą rannych na 100 wypadków,
- względny wskaźnik wypadkowy U_w :

$$U_w = \frac{W_i \cdot 10^6}{T \cdot 365 \cdot Q_i \cdot L} \quad [\text{wyp./mln poj. km/rok}] \quad (2.24)$$

gdzie:

- W_i – liczba wypadków w określonej części doby /liczba lat analizy,
- T – okres analizy w latach,
- Q_i – uproszczone natężenie w określonej części doby [poj./24h],
- L – długość sieci dróg krajowych [km].

- wskaźnik zagrożenia W_z :

$$W_z = \sqrt{D_w \cdot U_w} \quad [-] \quad (2.25)$$

gdzie:

- D_w – wskaźnik gęstości wypadków,
- U_w – względny wskaźnik wypadkowości.

2.2.4. Metody badań prędkości i odstępów między pojazdami jako pośrednich miar brd

Brak pełnej informacji na temat zaistniałych kolizji oraz często ograniczona możliwość odzwierciedlenia rzeczywistego zagrożenia bezpieczeństwa ruchu przez modele predykcji wskaźników wypadkowych powoduje, że w ocenie zagrożeń bezpieczeństwa ruchu drogowego coraz częściej wykorzystuje się pośrednie miary, w tym m.in. prędkość i odstęp między pojazdami w potoku ruchu i w ruchu kolumnowym.

Koncepcja zastosowania przedmiotowych miar polega na założeniu, że parametry ruchu drogowego mogą w pośredni sposób wyrażać zmiany zagrożenia brd w okolicznościach będących przedmiotem badań, np. w różnych warunkach oświetlenia.

Porównanie miar pośrednich wraz z ich parametrami statystycznymi (np. rozkładami, wartościami średnimi, wskaźnikami rozproszenia) z uwzględnieniem różnych cech geometrii i otoczenia dróg umożliwia pośrednią ocenę wpływu infrastruktury drogowej na brd w zmiennych warunkach oświetlenia.

W analizach bezpieczeństwa ruchu przyjmuje się m.in. następujące założenia, które zostały już częściowo zweryfikowane:

- Wzrost prędkości średniej oraz występowanie większej liczby małych odstępów między pojazdami powodują zwiększenie zagrożenia wypadkowego;
- Wysokie wartości miar rozproszenia oraz wskaźników zmienności prędkości świadczą o zróżnicowaniu potoku ruchu i są przyczyną wzrostu zagrożenia brd z uwagi m.in. na częstsze manewry wyprzedzania;
- Większy udział pojazdów poruszających się w kolumnach może wynikać ze zróżnicowania prędkości w potoku ruchu, ograniczonej możliwości wyprzedzania oraz braku widoczności, co pośrednio wpływa na spadek bezpieczeństwa ruchu.

Badania wpływu nocnych ograniczeń widoczności na prędkość są najczęściej realizowane [29,30,31,88] przy pomocy standardowych metod obejmujących:

- analizy statystyczne – porównania prędkości średniej pojazdów, kwantyli prędkości, odchyłeń standardowych, wskaźników zmienności prędkości,
- porównania rozkładów i dystrybuant prędkości w różnych warunkach oświetlenia,
- porównania trendów zmian prędkości w okresie doby,
- modele regresyjne, służące wyznaczeniu i kwantyfikacji czynników determinujących wpływ otoczenia drogi i jej cech geometrycznych na prędkość pojazdów.

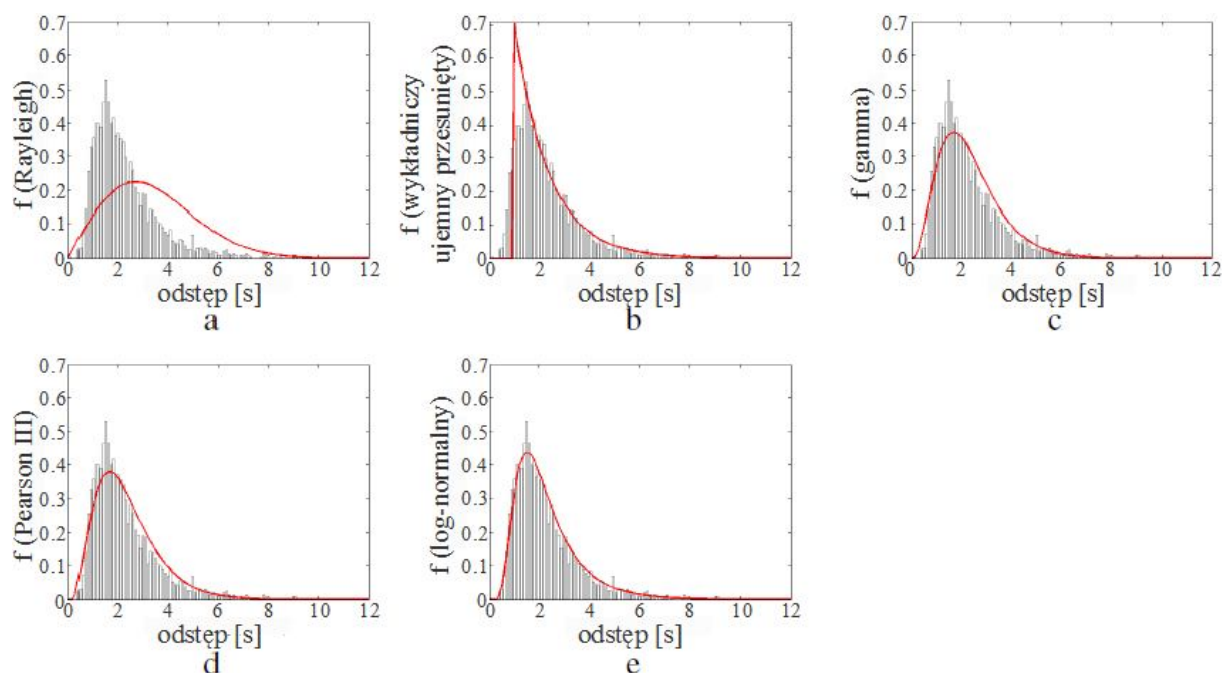
W badaniach odstępów między pojazdami w potoku ruchu i ruchu kolumnowym w zmiennych warunkach oświetlenia, stosuje się m.in. następujące metody analiz [28]:

- porównanie rozkładów odstępów między pojazdami w potoku ruchu i w ruchu kolumnowym,
- oceny udziału odstępów niebezpiecznych (U_{onb}), zagregowanego deficytu odstępu niebezpiecznego (ZDON) między pojazdami na podstawie analiz modelu kinematycznego ruchu,

- modele regresyjne, za pomocą których ocenia się wpływ czynników drogowo-ruchowych na udział odstępów niebezpiecznych w potoku pojazdów.

Trudność porównań rozkładów odstępów między pojazdami polega na identyfikacji postaci funkcji gęstości prawdopodobieństwa $f(x)$ tego rozkładu. Badania Schuhla [74], a następnie Haighta [39] doprowadziły do stworzenia uniwersalnego rozkładu takich odstępów, nazwanego modelem Hyperlanga, stanowiącym złożenie dwóch funkcji: rozkładu Erlanga opisującego poruszanie się w kolumnie oraz wykładniczego wyrażającego ruch swobodny. Model taki posiada jednak kilka parametrów, wobec czego jego stosowanie jest bardzo trudne i dlatego poszukiwano prostszych modeli, które wystarczająco dokładnie opiszą naturę występowania odstępów między pojazdami.

Ha i inni [37,38] zestawili podstawowe modele jedno-, dwu- lub trójparametryczne pod względem dokładności ich dopasowania, efektywności dla szerokich zakresów natężeń ruchu oraz łatwości adaptacji (liczby parametrów) w odwzorowaniu rozkładu odstępów między pojazdami. Przykład takiego zestawienia na poligonie o natężeniu 1550 P/h pokazano na rys. 2.3. Oceniono, że najbardziej efektywnym modelem odstępów między pojazdami jest 2-parametryczny (parametry kształtu i skali) rozkład gamma. Porównanie rozkładów odstępów w różnych warunkach oświetlenia może polegać na zestawieniu różnic parametrów kształtu i skali.



Rys. 2.3. Przykładowe dopasowanie funkcji gęstości prawdopodobieństwa rozkładu odstępów między pojazdami przy pomocy modelu Rayleigh'a (a), wykładniczego ujemnego przesuniętego (b), gamma (c), Pearsona III (d) oraz log-normalnego (e) wg [37].

Wartość graniczną (krytyczną) odstępów między pojazdami, poniżej której jest on uważany za niebezpieczny, można wyznaczyć z następującego równania, nawiązującego do fizycznego modelu ruchu:

$$\Delta t_{kryt} = \frac{V_2^2}{7,2 \cdot V_1 \cdot (a_2 + g \cdot i)} - \frac{V_1}{7,2 \cdot (a_1 + g \cdot i)} + \frac{V_2}{V_1} \cdot t_r + \frac{3,6 \cdot l_p}{V_1} [s] \quad (2.26)$$

Udział odstępów niebezpiecznych (U_{onb}) jest ilorazem liczby odstępów, dla których $\Delta t < \Delta t_{kryt}$ i liczby wszystkich odstępów w określonym przedziale czasu. W niektórych badaniach [64] udział ten jest ilorazem sumy odstępów niebezpiecznych i sumy odstępów w ruchu wymuszonym (car-following). Wskaźnik *ZDON* (zsumowany deficyt odstępów niebezpiecznych) został sformułowany w badaniach Sona [79]. Dla każdej pary pojazdów, między którymi odstęp był niebezpieczny, autor określił jego deficyt, tzn. różnicę pomiędzy odstępem krytycznym, a rzeczywistym. Wartość *ZDON* powstaje poprzez zsumowanie wszystkich deficytów w pewnym interwale czasowym.

Parametry U_{onb} i *ZDON* są miarami zagrożenia w określonym przedziale czasu. Porównania tych miar w różnych warunkach oświetlenia w pośredni sposób mogą wyjaśnić zmiany wartości wskaźników wypadkowych powiązanych ze zdarzeniami najechania na tył pojazdu oraz z tymi typami zdarzeń, w których istotną okolicznością jest dostępny czas do podjęcia manewru kompensującego błędy człowieka.

Przedmiotem badań Davisa i jego współpracowników [13,16,17] były analizy w skali mikro polegające na odtworzeniu mechanizmu wystąpienia zderzenia tylnego przy pomocy metod symulacyjnych Markov Chain Monte Carlo (MCMC) w programie WinBUGS [48,80]. Autorzy wskazali sposób modelowania wartości odstępu w parze pojazdów, który może być przeniesiony do skali makro i wykorzystany do wyznaczenia udziału odstępów niebezpiecznych z rozkładów matematycznych.

2.3. Stan badań wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd

2.3.1. Wpływ ciemności na wzrost zagrożenia brd

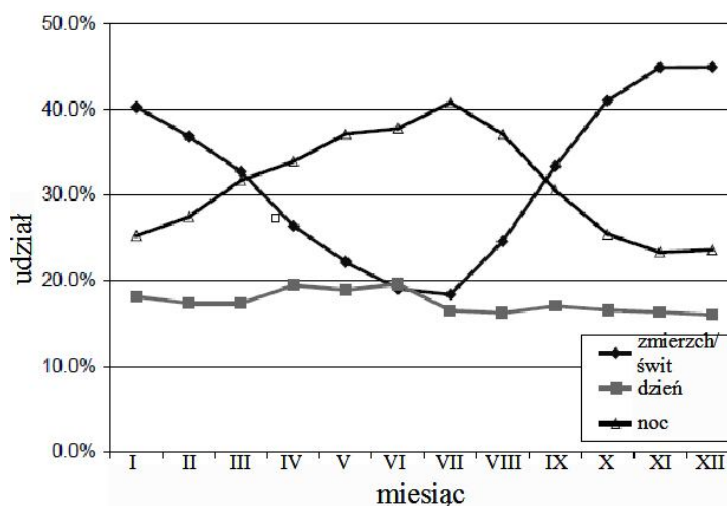
Analizy danych statystycznych o wypadkach oraz charakterystyka ruchu nocnego wskazują na wzrost zagrożenia wypadkami w okresie nocy. Określenie wpływu warunków oświetlenia na wzrost takiego zagrożenia było przedmiotem wielu badań. Synteza części z nich została zawarta w pracach Elvika z zespołem [24,25], w których stwierdzono m.in., że ryzyko powstania wypadku w okresie ciemności jest 1,5-2,0 razy większe niż przy świetle dziennym. Wzrost ryzyka wypadku w nocy jest największy w grupie pieszych i młodych kierowców. Rośnie także udział wypadków skutkujących wypadnięciem pojazdu z drogi.

Obok syntezy innych badań, w pracy [24] oszacowano również wpływ warunków oświetlenia na bezpieczeństwo ruchu na podstawie relatywnego wskaźnika *IS* (2.12), którego wartość przy świetle dziennym wynosi 1,0. Wskaźnik ten dla wypadków w nocy i w okresach przejściowych (zmrzch, świt) oszacowano na poziomie 1,5 (95% przedział ufności 1,2-2,0, dane z Norwegii) dla wszystkich wypadków; 1,2 (95% p.u. 1,1-1,5) dla wypadków z pojazdami oraz 2,1 (95% p.u. 1,5-4,0) dla wypadków z pieszymi. Wyższe wskaźniki skali zagrożenia (3,0-4,0) uzyskano w przypadku wypadków śmiertelnych [27] (dane z USA).

Sullivan i Flannagan [83,84,86] prowadzili liczne badania zagrożenia brd w nocy na podstawie bazy danych z lat 1987-97 z Arizony (USA). W [83] zauważyli m.in., że całkowita liczba wypadków śmiertelnych w „nocy” (w godzinach 18:00-6:00) jest w przybliżeniu taka sama, jak w „dzień” (6:00-18:00), pomimo mniejszych natężeń ruchu w nocy. Choć głównym czynnikiem determinującym powstawanie wypadków w nocy jest wpływ oświetlenia, zauważono również duże znaczenie zmęczenia kierowców i udziału

alkoholu jako okoliczności wypadku. Na przykład w 1997 roku udział wypadków śmiertelnych związanych z alkoholem wyniósł 59% w „nocy” oraz 17% w „dzień”.

W celu wskaźnikowego porównania zagrożenia wypadkami śmiertelnymi w zależności od warunków oświetlenia autorzy w [83], założyli istnienie 3 równych czasowo 6-godzinnych okresów: „zmrzchu/świt” (17:00-20:00 i 4:00-7:00), „dnia” (7:00-10:00 i 14:00-17:00) oraz „nocy” (20:00-23:00 i 1:00-4:00). „Zmierzch/świt” zawiera wszystkie ruchome godziny zmrzchu i świtu w ciągu roku, „dzień” i „noc” są z kolei związane odpowiednio ze światłem i ciemnością przez cały rok. Sposób analizy pośrednio nawiązuje do relatywnego wskaźnika PS (2.11), niewyznaczonego wprost, jednak możliwego do odczytania z wykresów jako iloraz udziałów wypadków śmiertelnych w „nocy” i w „dzień”. Badania ukazały szczególnie wysokie zagrożenie wypadkami z udziałem pieszych (rys. 2.4). Przecinanie się wykresów wartości udziałów wypadków w ciągu doby w okresach „zmrzchu/świt” oraz „nocy” w kolejnych miesiącach roku jest efektem opisanego powyżej przyjęcia przedziałów godzinowych.



Rys. 2.4. Zmienność udziału śmiertelnych wypadków z udziałem pieszych w kolejnych miesiącach roku w latach 1987-1997 w USA [83].

Zagrożenie wypadkami bez udziału pieszych („pojazd-pojazd” oraz pojedynczych pojazdów) określono jako podobne w „nocy” i w „dzień”. Takie proste porównanie może być jednak mylące, gdyż nie bierze pod uwagę mniejszego natężenia ruchu i związanego z nim spadku wystawienia na ryzyko wypadku w okresie nocy. Wypadki śmiertelne z udziałem rowerzystów częściej miały miejsce przy świetle dziennym niż w nocy. Nie podano jednak wyjaśnienia takich statystyk.

Przy pomocy tej samej bazy danych autorzy zbadali również wpływ występowania łuków poziomych na liczbę wypadków w różnych warunkach oświetleniowo-pogodowych. Dostosowując wskaźnik IS (2.12) do potrzeb analizy liczb wypadków zaczerpniętych z [83] można oszacować, że w nocy na łukach poziomych występuje 1,33 razy większe zagrożenie wypadkowe niż przy świetle dziennym (tabl. 2.5).

W kolejnych badaniach [83] wzięto pod uwagę jedynie wypadki śmiertelne w godzinie, w której nastąpiło przesunięcie czasu ze standardowego na letni (i odwrotnie) w okresie 9 tygodni przed i po tym przesunięciu. W analizie uwzględniono zarówno godzinę poranną (przejście z okresu „nocy” w „dzień”), jak i wieczorną (zmianę z „dnia” w „noc”).

Wskaźnik *PS*, wyrażający stosunek liczby wypadków w ciemności do liczby wypadków przy świetle dziennym, oszacowano dla 4 grup wypadków śmiertelnych (tabl. 2.6). Wykazano, że wpływ okresu nocy na zagrożenie wypadkami z pieszymi jest mniejszy na skrzyżowaniach, a znacznie większy na nieoświetlonych drogach poza zabudową. Dla wypadków z pieszymi wieczorem notowano wyższe wskaźniki niż rano. Większe zagrożenie wypadnięciem pojazdu na nieoświetlonym łuku występuje natomiast rano.

Tabl. 2.5. Oszacowanie zagrożenia występującego na nieoświetlonych łukach poziomych w nocy na podstawie danych wypadkowych z lat 1987-1997 w USA [83].

Warunki oświetlenia	ukształtowanie poziome drogi		IS
	odcinek prosty	łuk	
światło dzienne	152131	44370	1,00
noc	146656	56911	1,33
mgła	5694	1801	1,08
zmierzch	7381	2411	1,12

Tabl. 2.6. Ilorazy (*PS*) liczby wypadków śmiertelnych w ciemności i przy świetle dziennym w 4 grupach badawczych na podstawie danych wypadkowych z lat 1987-1997 w USA [83].

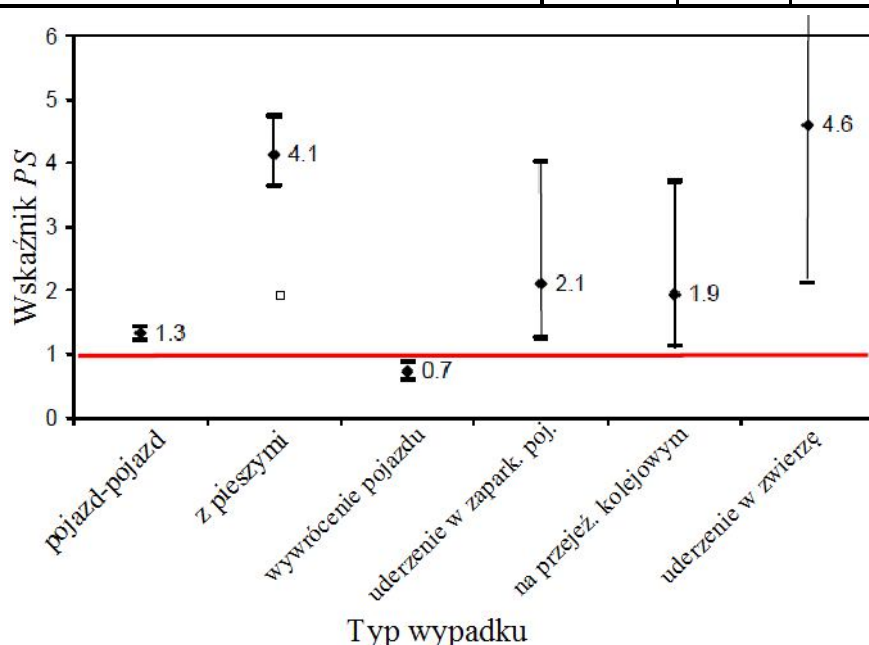
grupa wypadków	wiosna		jesień	
	rano	wieczór	rano	wieczór
z pieszymi	3,23	3,58	3,04	4,07
z pieszymi na skrzyżowaniach	1,43	2,57	2,88	4,70
z pieszymi poza zabudową bez oświetlenia	3,00	5,20	3,55	6,75
wypadnięcie pojazdu z drogi na łuku	1,48	0,76	1,30	1,14

Te same dane wypadkowe posłużyły badaczom do analiz ryzyka wypadkowego z podziałem na typy wypadków [84]. Tym razem wyodrębniono jedynie okresy zmierzchu 3 tygodnie „przed i po” zmianie czasu ze standardowego na letni (i odwrotnie). W tabl. 2.7 pokazano liczby wypadków w ciemności i przy świetle dziennym oraz wskaźniki *PS* oszacowane dla wszystkich typów. Wadą dostępnej autorom bazy danych był brak podziału wypadków typu „pojazd-pojazd” na zderzenia czołowe, boczne i tylne. Bardzo szczegółowo potraktowano natomiast różne rodzaje przeszkód. W tabl. 2.7 wyróżniono wypadki o największej wartości wskaźnika *PS*. Zamieszczono także wartość wskaźnika *PS* oszacowaną w grupie wypadków „wywrócenie pojazdu”, w której spodziewano się wysokiego zagrożenia w nocy, ale analizy tego nie potwierdziły. Zespolono ze sobą rodzaje przeszkód niewykazujące wzrostu zagrożenia wypadkami w nocy.

Wartości wskaźnika wyróżnionych typów wypadków wraz z 95% przedziałami ufności, wyznaczonymi wg zależności (2.15) pokazano na rys. 2.5. Obok bardzo dużego zagrożenia wypadkami z pieszymi, istotny jest również wzrost wartości wskaźnika wypadków typu „pojazd-pojazd” ($PS=1,33$). Małą wartość wskaźnika 0,73 dla wypadków typu „wywrócenie pojazdu”, wskazującą na większe zagrożenie w okresie „dnia” niż w „nocy”, zinterpretowano lepszą widocznością przy świetle dziennym, przy której kierowcy podejmują większe ryzyko przy omijaniu przeszkód na drodze. Wysokie wskaźniki wypadków w wyniku uderzenia w zaparkowany pojazd oraz wypadków na przejeździe kolejowym mają prawdopodobnie silny związek z niewystarczającym oświetleniem. Zagrożenie wypadkami ze zwierzętami wytłumaczono ich większą aktywnością w ciemności i utrudnionymi warunkami ich postrzegania przez kierowców.

Tabl. 2.7. Ilorazy (*PS*) liczby wypadków śmiertelnych w ciemności i przy świetle dziennym dla różnych typów wypadków na podstawie danych wypadkowych z lat 1987-1997 w USA [84].

Zdarzenie	"ciemno"	"jasno"	suma	wskaznik PS
typu pojazd-pojazd	1454	1091	2545	1,33
z pieszymi	1147	277	1424	4,14
wywrócenie pojazdu	174	239	413	0,73
uderzenie w drzewo	168	170	338	0,99
z rowerzystami	77	86	163	0,90
uderzenie w słup, barierę, przepust, znak, inny obiekt	196	218	414	0,90
wjechanie do rowu, w krawężnik, nasyp, ogrodzenie, itp.	137	159	296	0,86
uderzenie w zaparkowany pojazd	38	18	56	2,11
wypadek na przejeździe kolejowym	35	18	53	1,94
uderzenie w zwierzę	23	5	28	4,60
POZOSTAŁE	120	158	278	0,76
SUMA	3569	2439	6008	1,46

Rys. 2.5. Wartości wskaźnika *PS* wraz z 95% przedziałami ufności dla wyróżnionych typów wypadków na podstawie danych wypadkowych z lat 1987-1997 w USA [84].

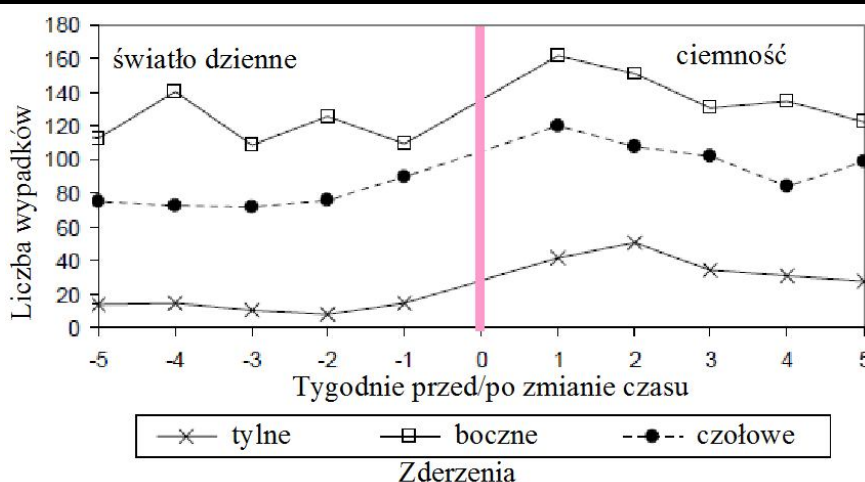
Brak w opisywanych badaniach szczegółowego podziału wypadków typu „pojazd-pojazd” zrekompenrowano w pracy [86]. Baza danych została poszerzona i obejmowała 15 lat (1987-2001), a badania dotyczyły 5-tygodniowych okresów „przed i po” zmianie czasu w okresie jesieni i wiosny (tabl. 2.8 i rys. 2.6). Spośród wypadków typu „pojazd-pojazd” najwyższym ryzykiem związanym z ciemnością charakteryzują się zderzenia tylne ($PS=2,35$). Choć wartości wskaźnika *PS* zderzeń czołowych i bocznych są niewiele większe od 1, to wyraźny jest skok liczby tych wypadków w okresie „przed i po” zmianie czasu. W dokładniejszych analizach zauważono, że gdy uderzonym w tył podczas zderzenia tylnego jest pojazd ciężarowy, to wskaźnik *PS* wynosi 8,08.

Rozszerzeniem badań Sullivana i Flannagana dotyczących wpływu ukształtowania poziomego drogi na występowanie wypadków w nocy była praca [85]. Baza danych o wypadkach obejmowała lata 1987-2004 i dotyczyła wszystkich wypadków śmiertelnych w USA. Badania ponownie przeprowadzono dla 5 -tygodniowych okresów „przed i po”

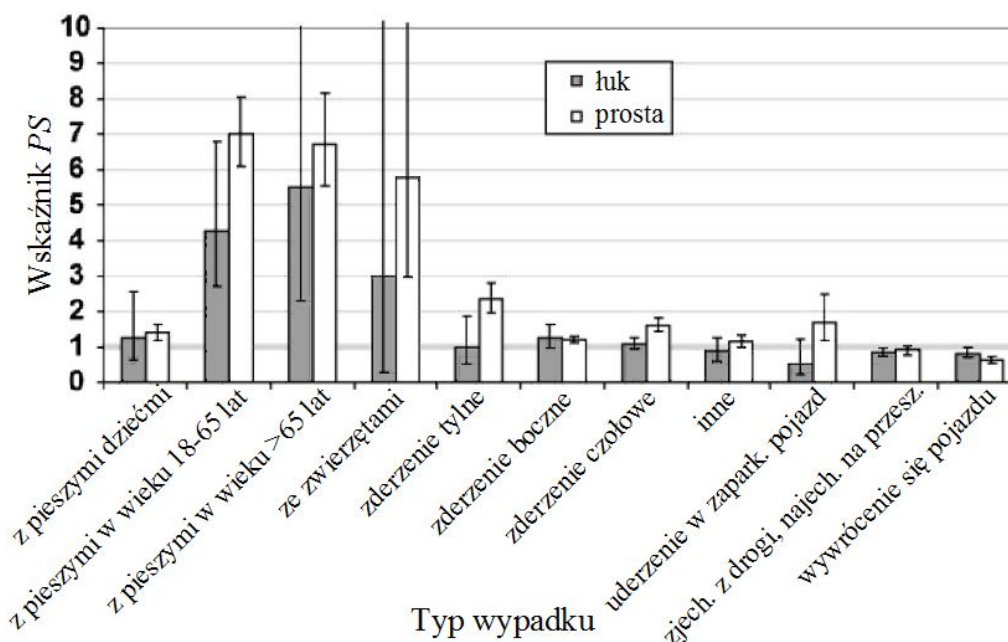
zmianie czasu w okresie jesieni i wiosny. Potwierdzono wykazany we wcześniejszych badaniach [83] wzrost zagrożenia wypadkami w nocy na odcinkach prostych w stosunku do łuków poziomych i zaobserwowano, że wzrost ten jest szczególnie wyraźny w przypadku wypadków z pieszymi w wieku 18-65 lat ($PS(\text{ciemno}/\text{jasno})=7,0$ na odcinku prostym w porównaniu do 4,2 na łuku), ze zwierzętami, w wyniku zderzenia tylnego i uderzenia w zaparkowany pojazd (rys. 2.7).

Tabl. 2.8. Ilorazy (PS) liczby wypadków śmiertelnych typu „pojazd-pojazd” w ciemności i przy świetle dziennym na podstawie danych wypadkowych z lat 1987-2001 w USA [86].

Rodzaj wypadku	Warunki oświetlenia		Wskaźnik PS (ciemno/jasno)
	„ciemno”	„jasno”	
Zderzenie tylne	289 (70%)	123 (30%)	2.35
Zderzenie boczne	1099 (52%)	1008 (48%)	1.09
Zderzenie czołowe	785 (55%)	649 (45%)	1.21



Rys. 2.6. Zmienność liczby śmiertelnych wypadków typu „pojazd-pojazd” w okresie jesiennej zmiany czasu na podstawie danych wypadkowych z lat 1987-2001 w USA [86].



Rys. 2.7. Wartości wskaźnika PS wraz z 95% przedziałami ufności dla wyróżnionych typów wypadków na podstawie danych wypadkowych z lat 1987-2004 w USA [85].

Sullivan i Flannagan w swoich badaniach zwrócili uwagę, że z przyjętej metody, opartej na relatywnych wskaźnikach oceny zagrożenia wypadkowego wynikają następujące ograniczenia:

- brak odzwierciedlenia różnic wystawienia na ryzyko,
- nieuwzględnienie innych czynników poza oświetleniem oraz interakcji pomiędzy tymi czynnikami, które mogą wpływać na wyniki badań,
- potencjalnie niska aktywność pieszych w ciemności, co może oznaczać niedoszacowanie badanych wskaźników.

Johansson, Wanvik i Elvik w pracy [52] wskazali na pewne ograniczenie badań Sullivana i Flannagana, polegające na przyjęciu okresów sięgających 9 tygodni „przed i po” zmianie czasu z letniego na standardowy (i odwrotnie). Okresy te są mocno związane z warunkami zimowymi, które mogą znacznie wpływać na wyniki oszacowań wskaźników zagrożenia wypadkowego. Błąd związany z nieoszacowanym wpływem warunków zimowych na wskaźnik wypadkowy został zminimalizowany przez Johanssona i współautorów dzięki wykorzystaniu wskaźnika *IS* zgodnie ze wzorem (2.17). Wartości *IS* wraz z 95% przedziałami ufności (2.21) wyznaczone dla różnych grup uczestników wypadków w zależności od występowania zabudowy przy drodze przedstawiono w tabl. 2.9. Dane wypadkowe pochodzą z Norwegii (lata 1996-2005), Szwecji (1997-2006) oraz Holandii (1987-2006). Wskaźniki wzrostu ryzyka wypadku z pieszymi są niższe niż we wcześniej omawianych pracach. Wykazują jednak duże zróżnicowanie w zależności od kraju (najwyższe poza zabudową w Holandii - 4,61, a najniższe w Norwegii - 1,19). Wysokie zagrożenie oszacowano także w przypadku rowerzystów i motocyklistów. Brak zabudowy wpływa na podwyższenie wartości wskaźnika *IS*.

Tabl. 2.9. Oszacowanie ryzyka wypadkowego związanego z ciemnością przy pomocy relatywnego wskaźnika *IS* na podstawie danych wypadkowych z Norwegii, Szwecji i Holandii [52].

Grupa uczestników ruchu	Relatywne zagrożenie wypadkowe związane z ciemnością					
	Obszar zabudowany		Obszar niezabudowany		Wszystkie odcinki (średnia ważona – 25% obszar zabud.; 75% obszar niezabud.)	
	<i>IS</i>	95%-prz.ufn.	<i>IS</i>	95%-prz.ufn.	<i>IS</i>	95%-prz.ufn.
Piesi	2,08	(1,73; 2,51)	2,29	(0,82; 6,37)	2,24	(1,05; 5,41)
Rowerzyści	1,52	(1,18; 1,95)	2,37	(0,74; 7,57)	2,16	(0,85; 6,17)
Motocykliści	1,55	(1,39; 1,72)	2,08	(0,98; 4,41)	1,95	(1,09; 3,74)
Kierowcy pojazdów	0,94	(0,85; 1,04)	1,21	(0,83; 1,76)	1,14	(0,84; 1,58)
Wszyscy	1,28	(1,20; 1,37)	1,47	(1,08; 2,01)	1,43	(1,11; 1,85)

Niejawnienie się w badaniach [83,84,85,86] wzrostu zagrożenia wystąpieniem wypadków pojedynczych pojazdów (m.in. wypadków w wyniku najechania na przeszkodę lub wywrócenia się pojazdu) w nocy może być spowodowane specyfiką dróg w USA. Dowodem istnienia wzorcowej grupy wypadków z udziałem pojedynczego pojazdu poza zabudową na polskich drogach (w woj. świętokrzyskim), charakteryzujących się największą ciężkością (ponad 80% z nich to wypadki z ofiarami śmiertelnymi lub ciężko rannymi), które znacznie częściej występują w „nocy” niż w „dzień” są wyniki pracy Nowakowskiej [63].

Lin z zespołem [58] przeprowadzili badania, których celem było oszacowanie zagrożenia wypadkowego w kolejnych 2-godzinnych przedziałach w ciągu doby w grupie kierowców pojazdów ciężarowych. Jako okres porównawczy w stosunku do godzin o złych warunkach oświetlenia przyjęli godziny 10:00-12:00. Wzrost ryzyka wypadkowego oszacowano na ok. 60% w godzinach 16:00-18:00 oraz ok. 40% w godzinach: 20:00-22:00, 0:00-2:00 oraz 6:00-8:00. Godziny te przypadają na okres zmierzchu, nocy oraz świtu.

Badaniom określającym stopień zagrożenia wypadkami śmiertelnymi z udziałem pieszych w nocy została poświęcona praca [77]. Na podstawie bazy danych o wypadkach z pieszymi z lat 1986-2003 na Florydzie (USA), Siddiqui wraz z zespołem oszacowali relatywne ryzyko wypadków tej grupy uczestników ruchu, które wynosiło 5,88 na skrzyżowaniach oraz 4,00 na pozostałych odcinkach. Ciemność związana z okresem nocy silnie oddziałuje na wzrost zagrożenia wypadkami z pieszymi na skrzyżowaniach.

Przedmiotem badań de Ony [18] było określenie prawdopodobieństwa ciężkości wypadku jako miary zagrożenia w zależności od szeregu danych drogowo-ruchowych przy pomocy sieci Bayesa zgodnie z metodologią opisaną w rozdz. 2.2.2. Cecha o nazwie „ciężkość wypadku” została określona jako zmienna dyskretna, przyjmująca 2 wartości: „lekko ranny” oraz „ofiara śmiertelna lub ciężko ranny”. Wypadek jako rekord bazy danych przyjmował wartość przedmiotowej cechy na podstawie ofiary o największych obrażeniach. Jedną ze zmiennych mających największy wpływ na ciężkość wypadków było oświetlenie (tabl. 2.10). Przy świetle dziennym prawdopodobieństwo wysokiej ciężkości wypadku wynosi 0,44. W nocy przy braku oświetlenia wzrasta ono do 0,55. Obecność sztucznego oświetlenia wpływa na spadek ocenianego prawdopodobieństwa do 0,37.

Tabl. 2.10. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej „ciężkość wypadku” przy znajomości wartości zmiennej „oświetlenie” wg [18].

zmienna	wartość	prawdopodobieństwo warunkowe	
		lekko ranny	ofiara śmiertelna lub ciężko ranny
oświetlenie	zmerch/świt	0,5486	0,4514
	światło dzienne	0,5615	0,4385
	niepełne oświetlenie	0,6239	0,3761
	pełne oświetlenie	0,6254	0,3746
	brak oświetlenia	0,4527	0,5473

Simoncic [78] wykonując wnioskowanie na podstawie sieci Bayesa założył odwrotny warunek do de Ony [18], tzn. wyznaczył prawdopodobieństwo wystąpienia danego oświetlenia jako okoliczności wypadku pod warunkiem znanej ciężkości wypadku. Jeśli wiemy, że ciężkość wypadku = „ofiara śmiertelna lub ciężko ranny”, to z prawdopodobieństwem 0,253 wypadek ten miał miejsce w nocy. W przypadku ciężkości „lekko ranny” prawdopodobieństwo to wynosi 0,241. Nie należy porównywać wyników obu przytoczonych badań, ponieważ Simoncic w obrębie cechy „oświetlenie” rozgraniczył jedynie wartości „światło dzienne” i „noc”, nie podając informacji na temat sztucznego oświetlenia, ani zmierzchu i świtu.

2.3.2. Wpływ sztucznego oświetlenia na bezpieczeństwo ruchu w nocy

Ze względu na istotną rolę oświetlenia drogi i jej otoczenia w procesie percepcji oraz przetwarzania informacji, ważnym czynnikiem wpływającym na brd w okresie braku światła słonecznego jest obecność sztucznego oświetlenia. Wpływ obecności takiego oświetlenia na wskaźniki wypadkowe w okresie nocy jest często określany przy pomocy wskaźnika IS zgodnie z zależnością (2.18).

Badaniom efektywności stosowania sztucznego oświetlenia na podstawie danych o wypadkach z lat 1987-2006 w Holandii poświęcono pracę [98]. Obecność takiego oświetlenia wpływa na poprawę brd w nocy ($IS=0,51$ dla wypadków śmiertelnych oraz 0,54 dla wypadków z rannymi) oraz o zmierzchu i świcie (0,69). Sztuczne oświetlenie kompensuje zatem częściowo spadek bezpieczeństwa związany z brakiem (noc) lub ograniczeniem (zmrzch/świt) światła słonecznego. Wanvik [98] oszacował również ryzyko wypadków w nocy na drodze oświetlonej i nieoświetlonej poza obszarem zabudowanym w stosunku do okresu światła dziennego, wykorzystując wzór (2.17). Uzyskane przez niego wartości IS zestawiono w tabl. 2.11. Szczególną uwagę zwraca fakt, że sztuczne oświetlenie ma znacznie większy wpływ na zmniejszenie liczby wypadków z udziałem pieszych, rowerzystów i motorowerzystów niż na liczbę wypadków z udziałem pojazdów samochodowych oraz motocykli.

Tabl. 2.11. Oszacowanie ryzyka wypadku w ciemności oraz wpływu sztucznego oświetlenia na poszczególne okoliczności i typy wypadków poza zabudową przy pomocy relatywnego wskaźnika IS [98].

okoliczności/typy wypadków	droga oświetlona		droga nieoświetlona		Wpływ sztucznego oświetlenia	
	IS (2.17) (szt.ośw./ św.dziennie)	95% przedział ufności	IS (2.17) (ciemność/ św.dziennie)	95% przedział ufności	IS (2.18) (szt.ośw./ ciemność)	95% przedział ufności
wszystkie	1,17	(1,11; 1,22)	2,45	(2,24; 2,67)	0,48	(0,43; 0,53)
dobra pogoda	1,11	(1,06; 1,17)	2,16	(1,90; 2,38)	0,51	(0,46; 0,57)
deszcz	1,53	(1,36; 1,73)	2,92	(2,28; 3,75)	0,52	(0,40; 0,69)
sucha nawierzchnia	1,04	(0,98; 1,11)	2,35	(2,06; 2,68)	0,44	(0,38; 0,51)
mokra nawierzchnia	1,23	(1,13; 1,33)	2,32	(1,95; 2,76)	0,53	(0,44; 0,64)
z pieszymi	2,41	(1,76; 3,30)	4,61	(2,65; 8,00)	0,46	(0,22; 0,93)
z rowerzystami	1,81	(1,61; 2,05)	5,29	(4,03; 6,96)	0,34	(0,25; 0,46)
z motorowerami	1,48	(1,30; 1,68)	3,87	(2,79; 5,35)	0,38	(0,27; 0,54)
z motocyklami	1,70	(1,40; 2,07)	2,31	(1,49; 3,60)	0,73	(0,45; 1,19)
z pojazdami	0,99	(0,93; 1,05)	1,88	(1,69; 2,10)	0,53	(0,46; 0,60)
najechanie na przeszkodę	0,71	(0,63; 0,81)	1,44	(1,20; 1,73)	0,49	(0,40; 0,62)
zderzenie czołowe	1,28	(1,14; 1,43)	2,44	(1,92; 3,10)	0,52	(0,40; 0,68)
zderzenie boczne	1,37	(1,26; 1,49)	2,60	(2,09; 3,23)	0,53	(0,42; 0,67)
najechanie na zwierzę	2,09	(1,79; 2,45)	4,81	(4,00; 5,79)	0,43	(0,34; 0,55)
zderzenie tylne	1,26	(1,15; 1,39)	3,67	(2,93; 4,58)	0,34	(0,27; 0,44)
prędkość min. 120 km/h	1,00	(0,85; 1,18)	1,86	(1,48; 2,32)	0,54	(0,41; 0,71)

Syntezę badań wpływu sztucznego oświetlenia na poprawę bezpieczeństwa ruchu w nocy zawarto w pracach Elvika i Vaa [24,25]. Na podstawie wyników z 38 badań różnych autorów ocenili oni, że sztuczne oświetlenie drogowe redukuje o blisko 60% liczbę wypadków śmiertelnych ($IS=0,40$), o prawie 30% liczbę zdarzeń z udziałem rannych ($IS=0,71$) oraz o ponad 15% liczbę kolizji drogowych ($IS=0,84$). Obok relatywnych

wskaźników zagrożenia w odniesieniu do typów i okoliczności wypadków podobnych, jak w tabl. 2.11, oszacowali oni również wskaźniki dotyczące wypadków na skrzyżowaniach ($IS=0,60-0,78$) i stwierdzili, że obecność sztucznego oświetlenia przyczynia się do redukcji liczby wypadków o 22-40%. W [24,25] przedstawiono także syntezę badań wpływu polepszenia jakości istniejącego oświetlenia na poprawę brd. Przy 2-krotnym zwiększeniu poziomu oświetlenia następuje redukcja liczby wypadków o ok. 5%, przy 2 do 5-krotnym – o ok. 10%, a przy ponad 5-krotnym – o ok. 30%. Usunięcie istniejącego oświetlenia powoduje wzrost liczby wypadków o 17%.

Wpływ obniżenia natężenia sztucznego oświetlenia na brd był też przedmiotem badań Monsere'a i Fischera [60]. Przy pomocy metody regresji Empirical Bayes (EB) opisanej w rozdz. 2.2.2 autorzy określili zmianę w liczbie wypadków w badaniach „przed-po” obniżeniu natężenia oświetlenia na odcinkach drogowych oraz skrzyżowaniach. Jako zmienne w regresyjnym modelu SPF (2.2) przyjęto natężenie ruchu oraz (w przypadku odcinków) długość odcinka, będące miarami wystawienia na ryzyko, oraz zmienną normalizującą ze względu na wpływ roku analizy. Badania wykazały wzrost liczby wypadków z udziałem rannych w nocy o 39%, a wszystkich wypadków w nocy o 29% na odcinkach drogowych, na których nastąpiła redukcja natężenia oświetlenia. Na skrzyżowaniach, na których pełne oświetlenie zredukowano do częściowego, zanotowano wzrost liczby wszystkich wypadków o 2,5% oraz spadek liczby wypadków z rannymi w tym okresie o 12%. Zauważono jednak równoczesny spadek w tych miejscach liczby wypadków przy świetle dziennym. Niewielka redukcja natężenia oświetlenia na skrzyżowaniach wywołała spadek liczby wypadków o 35-40% przy jednoczesnym spadku wypadków w okresie „dnia”. Autorzy sformułowali hipotezę, że niewielkie ograniczenie sztucznego oświetlenia może w niektórych sytuacjach poprawić dostrzegalność drogi.

Sullivan i Flannagan we wspomnianej już pracy [83] wykazali, że obecność sztucznego oświetlenia znacznie poprawia bezpieczeństwo na łukach poziomych ($IS(szt.o\sw./\sw.dzienne)=0,76$) w porównaniu do jego braku ($IS(ciemno\acute{s}c/\sw.dzienne)=1,70$).

Wyniki badań wpływu instalacji sztucznego oświetlenia na wskaźniki wypadkowe na skrzyżowaniach w Kanadzie, przeprowadzonych przez Bruneau i Morina [8] są podobne, jak w opisywanej wcześniej syntezie Elvika i Vaa. Wykazano spadek liczby wszystkich wypadków o 29% w przypadku instalacji niestandardowego (słabszej jakości) oświetlenia oraz 39% przy oświetleniu standardowym. Jako metodę badawczą wykorzystano szacowanie wskaźników WZ (2.14), w których czynnikiem modyfikującym liczbę wypadków było natężenie ruchu.

Zakres wspomnianej wcześniej pracy Siddiqui'ego z zespołem [77] obejmował również oszacowanie zagrożenia wypadkami z udziałem pieszych w zależności od obecności sztucznego oświetlenia. Ryzyko takich wypadków w ciemności zostało wcześniej wyrażone wysokimi wartościami wskaźników IS (5,88 na skrzyżowaniach oraz 4,00 na pozostałych odcinkach). Przy obecności sztucznego oświetlenia następuje częściowa kompensacja ryzyka odzwierciedlona spadkiem IS odpowiednio do 2,17 na skrzyżowaniach i 1,72 na pozostałych odcinkach.

Przytoczone w rozdz. 2.3.1 badania de Ony [18] wykazały wpływ sztucznego oświetlenia na obniżenie ciężkości wypadków w nocy (prawdopodobieństwo, że wypadek będzie ciężki maleje o 0,17 w porównaniu do braku oświetlenia).

W publikacji CEDR [15] wskazano między innymi, że spadek liczby wypadków, jaki zakładano dzięki stosowaniu oświetlenia, nie został w pełni osiągnięty na odcinkach między skrzyżowaniami. W Wielkiej Brytanii na odcinkach dróg z oświetleniem liczba wypadków zmniejszyła się o 10%, a nie jak wcześniej zakładano o 30%. Wobec tego uznano, że nie ma przesłanek, aby doświetlać wszelkie nowe odcinki dróg. Zgodnie z sugestiami brytyjskich zaleceń projektowania oświetlenia dróg powinno się zakładać możliwą redukcję liczby wypadków o 10% na oświetlanych odcinkach autostrad i dróg ekspresowych oraz o 12,5% na zamiejskich odcinkach dróg jednojezdniowych.

Ograniczony wpływ wprowadzania sztucznego oświetlenia na poprawę bezpieczeństwa ruchu może być efektem tzw. kompensacji ryzyka przez kierujących pojazdami, objawiającej się m.in. wzrostem prędkości i obniżeniem koncentracji, na co zwrócili uwagę Assum i inni [3].

Pozycje literaturowe na temat oświetlenia ulicznego [15] skupiają się na nowych typach lamp, które zarówno poprawiają bezpieczeństwo, jak i są energooszczędne. Często w tego typu publikacjach wykazuje się, że widzialność elementów oznakowania dróg rzadko odpowiada potrzebom uczestników ruchu. Trudno w literaturze znaleźć badania na temat nawierzchni dróg i ich wpływu na bezpieczeństwo ruchu w nocy.

2.3.3. Wpływ oświetlenia na pośrednie miary brd

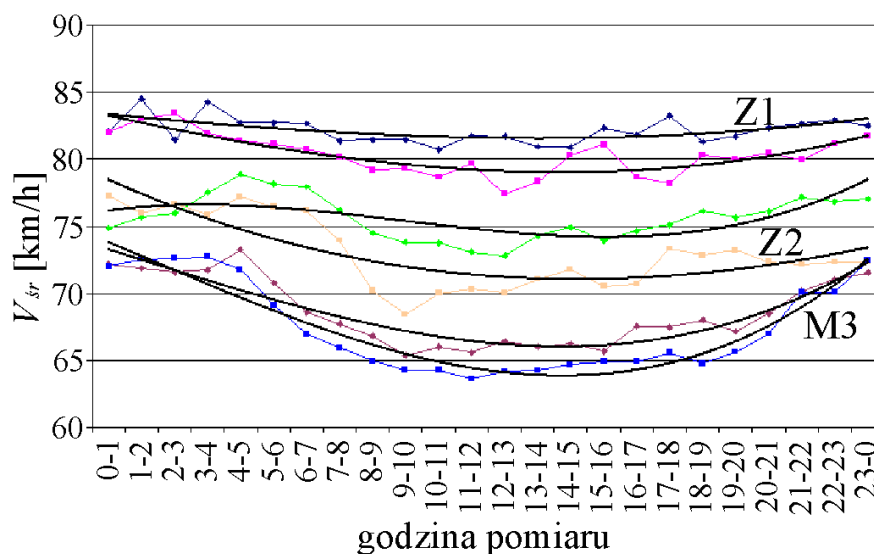
Prędkość jako pośrednia miara brd w nocy

Prędkość pojazdów determinowana jest przez wiele czynników związanych z zachowaniem kierującego, a także wynikających ze stanu drogi i jej otoczenia, natężenia ruchu oraz warunków pogodowych. Dobór prędkości przez kierowców jest w dużym stopniu związany z warunkami i ograniczeniami widoczności, w tym percepcją obrazu drogi i przetwarzaniem odbieranych informacji, opisanymi w rozdz. 2.1.3. Zbiór ogólnych determinant wyboru prędkości przez kierujących pojazdami był już przedmiotem licznych, szczegółowych badań zebranych w [30]. Wybór ten zależy m.in. od:

- czasu podróży – pora doby, pora roku,
- cech pojazdów – rodzaj, charakterystyka dynamiczna, wyposażenie, wiek i stan techniczny pojazdu, poziom komfortu jazdy,
- cech kierowców – cechy fizyczne (płeć i wiek), psychiczne (motywacje jazdy, wpływ innych osób), znajomość drogi,
- cech drogi i jej otoczenia – przekrój poprzeczny, geometria w planie i przekroju podłużnym, stan i rodzaj nawierzchni, organizacja ruchu, charakterystyka otoczenia,
- warunków atmosferycznych – ciśnienie atmosferyczne, zachmurzenie, nasłonecznienie, temperatura, opady, wilgotność powietrza, mgła, prędkość wiatru,
- przepisów prawnych – administracyjne limity prędkości, kary za przekroczenie dopuszczalnych prędkości.

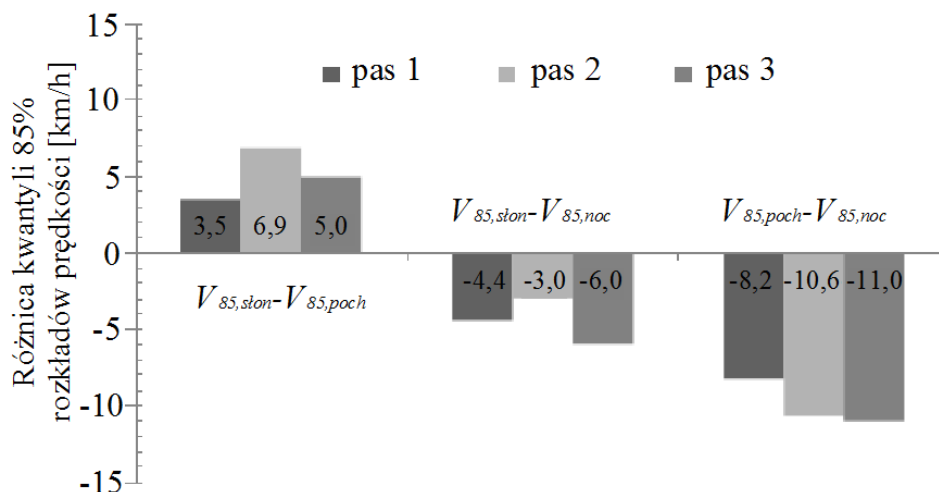
Tylko nieliczne z badań, których syntezę przedstawiono w [30] są związane z określeniem wpływu nocnych ograniczeń widoczności na prędkość. W badaniach [29,30,31,88] wykazano, że zarówno prędkość pojazdów w ruchu swobodnym, jak i prędkość potoków ruchu zmieniają się istotnie w ciągu doby. Charakter tych zmian zależy m.in. od lokalizacji drogi. W przypadku dróg poza obszarem zabudowy z ogólnym limitem prędkości 90 km/h obserwowano spadek średniej prędkości (V_{sr}) o 2,0-3,3 km/h oraz kwantyle 85% (V_{85}) o 2,0-5,6 km/h w godzinach nocnych. Zmniejszenie prędkości na drogach zamiejskich w okresie nocy można tłumaczyć zarówno reakcją kierujących na pogorszone warunki widoczności, jak i dobowym rytmem sprawności psychofizycznej kierujących i ich zmęczeniem.

Przeciwnie do odcinków zamiejskich, na drogach w obrębie zabudowy (w tym na odcinkach drogowych przejść przez miejscowości) zaobserwowano wzrost prędkości w godzinach nocnych [31]. Wzrost ten (rys. 2.8) nie może być tłumaczony jedynie zróżnicowaniem limitu prędkości (50 km/h w godz. 5:00-23:00 i 60 km/h w pozostałych godzinach), gdyż był obserwowany także w okresie jednolitego limitu 60 km/h, tj. przed rokiem 2004. Istnieje przypuszczenie, że zwiększona prędkość w nocy w obrębie zabudowy jest związana częstszym występowaniem sztucznego oświetlenia, spadkiem aktywności otoczenia drogi oraz mniejszym ryzykiem kontroli prędkości.



Rys. 2.8. Porównanie linii trendów dobowej zmiany prędkości na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości w okresach „przed” i „po” zmianie limitu prędkości [31] (Z1 – jezdnia o szer. 7,0 m i pobocza bitumiczne, Z2 – jezdnia 7,0 m i pobocza gruntowe, M3 – jezdnia 8,0-9,0 m i chodnik).

Bassani i Mutani [4] na bazie danych z kilku 2-jezdniowych 3-pasowych dróg szybkiego ruchu we Włoszech zbudowali regresyjne modele estymacji prędkości w różnych warunkach oświetlenia: przy słonecznej pogodzie, zachmurzeniu oraz w nocy. Zmiennymi objaśnianymi w ich modelach były kwantyle V_{50} , V_{85} oraz odchylenie standardowe rozkładu prędkości. Średnie obserwowane wartości zmian kwantyla 85% rozkładu prędkości pojazdów pomiędzy okresem światła dziennego ze słoneczną lub pochmurną pogodą oraz okresem nocy (odpowiednio $V_{85,ston} - V_{85,noc}$ oraz $V_{85,poch} - V_{85,noc}$) przedstawiono na rys. 2.9. W „nocy” wartości V_{85} są większe o 3-6 km/h niż w „dzień” przy słonecznej pogodzie oraz o 8,2-11,0 km/h większe niż w „dzień” przy pogodzie pochmurnej.



Rys. 2.9. Średnie predykowane wartości zmian kwantyla 85% rozkładu prędkości pojazdów pomiędzy okresem światła dziennego ze słoneczną lub pochmurną pogodą oraz okresem nocy [4].

Model estymacji V_{85} wyraża się następującym wzorem, zgodnym z zależnością (2.2), dotyczącą metody uogólnionej regresji liniowej:

$$V_{85} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log_{10}(E) + \beta_2 \cdot NP + \beta_3 \cdot SP + \beta_4 \cdot V_{dop} \quad (2.27)$$

gdzie:

- E – luminacja nawierzchni [luks],
- NP – numer pasa ruchu (od 1 do 3),
- SP – szerokość pasa ruchu [m],
- V_{dop} – prędkość dopuszczalna [km/h].

Wartości współczynników kierunkowych w modelach estymacji V_{85} (2.27) oraz współczynników determinacji R^2 zostały przedstawione w tabl. 2.12.

Tabl. 2.12. Współczynniki regresyjnych modeli estymacji 85% kwantyla prędkości w różnych warunkach oświetlenia w okresie lata i zimy [4].

	słonecznie		pochmurno		noc	
	lato	zima	lato	zima	lato	zima
Współczynniki modelu regresyjnego						
β_0	-0,007	0,692	-0,042	-0,301	0,001	-0,286
β_1	6,181	3,810	2,367	7,883	-3,403	5,860
β_2	8,511	5,332	7,579	3,698	10,761	5,872
β_3	1,335	3,136	6,635	-1,414	1,494	3,781
β_4	0,536	0,786	0,604	0,725	1,088	0,921
Współczynniki determinacji R^2 modelu						
R^2	0,80	0,81	0,85	0,70	0,95	0,73

W badaniach zaobserwowano duży wpływ luminacji nawierzchni (E) na wartość kwantyla 85% rozkładu prędkości. Przy świetle dziennym wartość V_{85} wzrasta przy wzroście wartości E . W nocy podobna tendencja występuje jedynie zimą. Latem wzrost luminacji powoduje spadek V_{85} w nocy. W ciemności wartości luminacji nawierzchni są jednak wyraźnie niższe niż przy świetle dziennym.

Wpływ szerokości pasa ruchu na prędkość jest nieco większy w nocy niż w słoneczny dzień. Przy pochmurnej pogodzie w „dzień” wpływ ten jest ok. 5 razy większy. Szeroki pas

ruchu powoduje tendencję do lekceważenia złych warunków atmosferycznych przez kierowców. W ciemności prędkość jazdy jest silniej zależna od prędkości dopuszczalnej niż przy świetle dziennym.

Przedmiotem badań Assuma i innych [3] był wpływ wprowadzenia oświetlenia sztucznego na prędkość i stopień koncentracji uwagi na odcinkach prostych i łukach poziomych. Pomiary prędkości odbywały się 3 tygodnie przed oraz 4 tygodnie po wprowadzeniu sztucznego oświetlenia. Poziom koncentracji uwagi kierowców mierzono przy pomocy obserwacji za pomocą ukrytych kamer na prostym odcinku drogi o długości 200 m. Poziom ten oznacza liczbę zmian pozycji pojazdu względem osi pasa ruchu o więcej niż 13 cm przypadającą średnio na jeden przejazd. Im większa wartość tego wskaźnika, tym niższa koncentracja. Wyniki pomiarów zestawiono w tabl. 2.13.

Tabl. 2.13. Wyniki badań prędkości oraz koncentracji kierowców „przed i po” zainstalowaniu oświetlenia drogowego (w nawiasach podano liczebność prób) wg [3].

okres doby, obecność sztucznego oświetlenia	średnia prędkość [km/h]		poziom koncentracji
	odcinki proste	łuki poziome	
przed instalacją oświetlenia - noc	77,8 (20348) ^a	70,8 (14228)	0,59 (123)
po zainstalowaniu oświetlenia - noc	81,4 (15201)	71,3 (17510)	0,94 (107)
przed instalacją oświetlenia - dzień	78,0 (39395)	72,1 (28289)	0,69 (131)
po zainstalowaniu oświetlenia - dzień	79,0 (29905)	70,3 (35078)	0,77 (154)

Badania autorów [3] polegały na porównaniach ilorazów prędkości w „nocy” i w „dzień”, „przed i po” instalacji sztucznego oświetlenia. Jeśli zachodzi nierówność (2.28), mamy do czynienia z kompensacją ryzyka, związanego z wpływem nocnych ograniczeń widoczności, objawiającą się wzrostem prędkości przy obecności sztucznego oświetlenia.

$$\frac{\text{predkosc_w_nocy_\" po\"}}{\text{predkosc_w_dzień_\" po\"}} > \frac{\text{predkosc_w_nocy_\" przed\"}}{\text{predkosc_w_dzień_\" przed\"}} \quad (2.28)$$

Nierówność (2.28) została spełniona zarówno w próbie odcinków prostych ($1,03 > 1,00$), jak i łuków ($1,01 > 0,98$). Kompensację ryzyka oszacowano odpowiednio na 3,5 i 3,2%. Podobną nierówność zastosowano w oszacowaniu stopnia koncentracji. W tym przypadku kompensacja ryzyka polega na obniżeniu koncentracji. Obliczono, że spadek koncentracji związany z instalacją sztucznego oświetlenia w porównaniu do braku światła wyniósł 42% (nierówność $1,22 > 0,86$).

Norweskie badania zawarte w syntezie Elvika i Vaa [24,25] również wskazują na wzrost średniej prędkości pojazdów w nocy o ok. 3% w przypadku obecności sztucznego oświetlenia.

Czynnikami atmosferycznymi związanymi bezpośrednio z warunkami oświetlenia są zamglenie oraz położenie słońca nisko nad horyzontem, związane z oślepieniem kierowcy. Oddziałują one na warunki ruchu, w tym na prędkość, przez pogorszenie warunków. Świecące w oczy kierowców słońce spowodowało wg badań Szczuraszka [88] obniżenie średniej prędkości samochodów osobowych o 4,9% i 9,6% (w zależności od pasa ruchu), dostawczych o 4,3% i ciężarowych o 3%. W warunkach zamglenia spadek prędkości średniej pojazdów osobowych wynosi 18%.

Znacznie większy spadek prędkości wykazały badania holenderskie [96]. Zarówno na prawym, jak i lewym pasie autostrady przy ograniczeniu widoczności do 50-60 m, spowodowanym mgłą, prędkość średnia oraz kwantyle prędkości spadają o 25-30%.

Trudno w literaturze odnaleźć badania wpływu oświetlenia na odchylenia standardowe czy wskaźniki zmienności prędkości pojazdów. Nie spotkano się również ze szczegółowymi analizami rozkładów i dystrybuant prędkości, ani z modelami jej estymacji w zmiennych warunkach oświetlenia.

Odstępy między pojazdami jako pośrednia miara brd w nocy

Problem odstępów między pojazdami jako pośredniej miary zagrożeń bezpieczeństwa jest jednym z głównych przedmiotów badań brd w Unii Europejskiej. W 2007 roku powstał zamówiony przez Komisję Europejską projekt SASPENCE. Safe Speed And Safe Distance [1,26]. Większość krajów UE posiada stosowne prawo regulujące zachowywanie bezpiecznego odstępu między pojazdami, a w niektórych z nich, m.in. w Austrii, Niemczech, Włoszech i Szwecji [7,97], za przekroczenie tego prawa grozi mandat.

Odstępy między pojazdami były do tej pory wykorzystywane głównie w opisie zagrożeń wypadkami typu „zderzenie tylne”. Wg [26] najechania na tył pojazdu w Europie stanowią ok. 13% wszystkich wypadków, ok. 3,5% wypadków śmiertelnych, ok. 5,5% wypadków z ciężko rannymi oraz ok. 14,0% z lekko rannymi. W USA udział tego typu wypadków wynosi ok. 30%. Liczne są też kolizje w wyniku zderzenia tylnego, chociaż szczegółowa ocena tego zjawiska jest trudna z uwagi na sposób rejestracji kolizji w bazie danych o wypadkach.

Wraz ze wzrostem natężenia ruchu rośnie także liczba małych odstępów między pojazdami, co skutkuje zwiększonym prawdopodobieństwem zaistnienia wypadku typu najechanie na tył pojazdu. Son i inni [79] udowodnili statystyczną zależność częstotliwości wypadków w wyniku „zderzenia tylnego” od występowania niebezpiecznych odległości między pojazdami. Wpływ natężenia ruchu oraz odstępów między pojazdami na częstotliwość występowania „zderzenia tylnego” potwierdziły także badania opisane w [22].

W [27] przy pomocy analizy wystawienia na ryzyko stwierdzono, że zagrożenie wystąpieniem wypadku w wyniku zderzenia tylnego w nocy jest ponad 2-krotnie większe niż przy świetle dziennym. Stwierdzono, że taka skala zagrożenia może być związana z:

- większym udziałem odstępów niebezpiecznych między pojazdami w ruchu nocnym, tj. tendencją do jazdy w kolumnach nawet przy mniejszych natężeniach ruchu,
- zmniejszeniem sprawności psychomotorycznej kierowców w nocy, w tym wydłużeniem ich czasu reakcji.

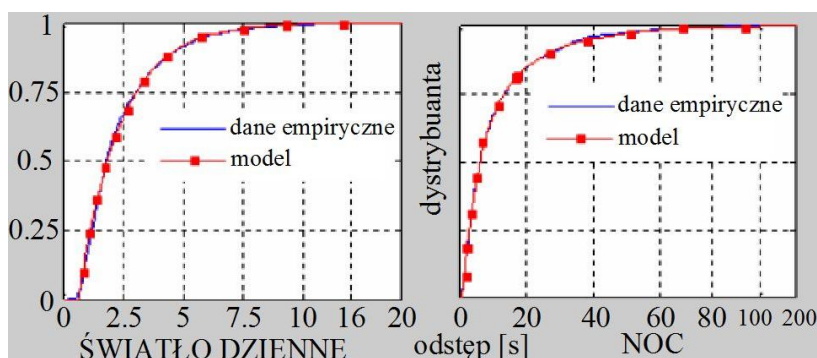
Son [79] zbudował modele predykcji wypadków w wyniku zderzenia tylnego. Podstawową zmienną objaśniającą w modelach był *ZDON* (suma deficytów odstępów niebezpiecznych między pojazdami, tzn. suma różnic pomiędzy odstępem krytycznym, a rzeczywistym w pewnym interwale czasowym), opisany w rozdz. 2.2.4. Stwierdzono, że 10% spadek wartości *ZDON* powoduje redukcję liczby wypadków w wyniku zderzenia tylnego o 16,9% w godzinach szczytu (6:00-9:00 i 16:00-19:00), 8,4% w środku „dnia” (9:00-16:00) oraz jedynie 3,7% w „nocy” (19:00-6:00). Badanie przeprowadzono na autostradach

w obszarze miejskim w USA. Uzyskany wynik pozwala przypuszczać, że jeśli małe odstępy pomiędzy pojazdami słabiej wpływają na liczbę wypadków w wyniku zderzenia tylnego w nocy, to mogą być również mniej zależne od natężenia ruchu w tym okresie doby.

W innych badaniach [28,54] podjęto próbę wykorzystania udziału odstępów niebezpiecznych jako zmiennej objaśniającej do modeli predykcji wypadków. Zmienna ta jest jednak zbyt silnie skorelowana z natężeniem ruchu i nie podnosi wystarczająco stopnia objaśnienia liczby wypadków. Konieczna jest budowa oddzielnych modeli opisujących odstępy między pojazdami.

Van der Horst [96] porównał dystrybuanty odstępów między pojazdami na holenderskich autostradach w warunkach ograniczeń widoczności do 50-60 m spowodowanych mgłą. Okazało się, że takie warunki nie mają wpływu na rozkład odstępów.

Badania Zhanga [100] dotyczyły modeli rozkładów odstępów niebezpiecznych w różnych warunkach oświetlenia na drogach w USA. Celem pracy była aplikacja stworzonego przez Zhanga modelu do obliczeń rozkładów odstępów. Dobroć dopasowania tego modelu sprawdzano w różnych warunkach oświetlenia. Badania skupiały się na weryfikacji modelu, w związku z czym ich celem nie było porównanie rozkładów odstępów przy świetle dziennym i w nocy (rys. 2.10). Z przedstawionych na rys. 2.10 wykresów dystrybuant odstępów między pojazdami możemy jednak odczytać w przybliżeniu udział tzw. „krótkich” odstępów. Na przykład przy świetle dziennym udział odstępów mniejszych od 3,0 s wynosi ok. 75%, a w nocy ok. 20%. Interesujące mogłoby być porównanie tak oszacowanej ok. 3,75-krotnej różnicy udziału „krótkich” odstępów ze skalą ryzyka wypadku w wyniku zderzenia tylnego, wyrażoną przez iloraz liczby takich wypadków przy świetle dziennym i w nocy.

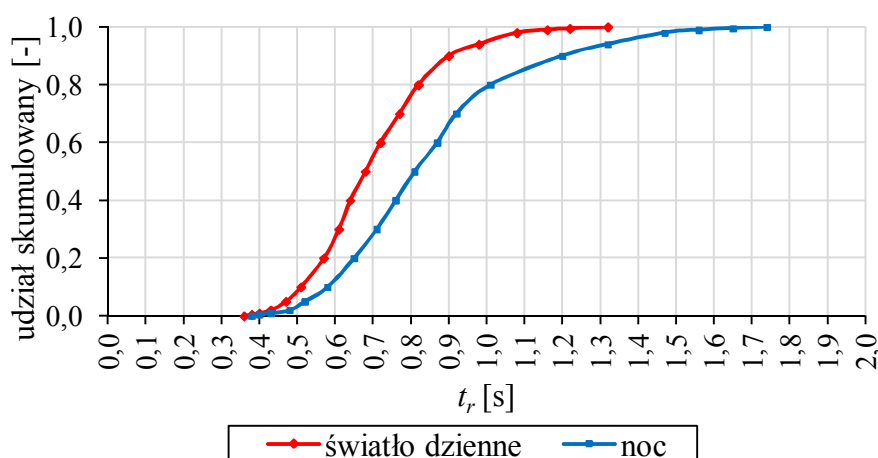


Rys. 2.10. Dystrybuanty odstępów między pojazdami przy świetle dziennym i w nocy na drogach w USA [100].

Istotnym parametrem w analizach niebezpiecznych odstępów między pojazdami jest czas reakcji kierowców, występujący w nierówności (2.26). W nocy czas ten wzrasta wraz ze spadkiem luminancji (jasności powierzchniowej), co z kolei prowadzi do wydłużenia drogi hamowania. Badania czasu reakcji można znaleźć w literaturze psychologicznej i sądowej [14,19,55,65,95]. Najnowsze prace bazują na badaniach czasu reakcji przy użyciu czujników radarowych lub GPS przy drodze [87] i w pojeździe [72,76,94] oraz w symulatorach ruchu [20]. Takie badania są jednak często prowadzone przy pełnej koncentracji kierowców oraz jedynie w konkretnych sytuacjach na drodze, co może w niepełnym stopniu odzwierciedlać rzeczywiste zachowanie użytkowników dróg. Według badań Plainisa i Murraya [70] czas

reakcji kierowcy waha się od 0,2 s w optymalnych warunkach oświetlenia (światło dzienne) do 0,6 s w ciemności. Taki wzrost czasu reakcji powoduje wydłużenie drogi hamowania o ok. 5m przy prędkości 50km/h do ok. 14m przy prędkości 130km/h. Autorzy wysnuli hipotezę, że taka różnica czasu reakcji może wyjaśniać znaczny wzrost ciężkości wypadków w nocy.

Hartmann [14] przedstawił dystrybuanty rozkładów czasów reakcji w "dzień" i w „nocy”. Własną adaptację tych dystrybuant ze skali logarytmicznej na standardową pokazano na rys. 2.11. Wg [14] czas reakcji kierowców zawiera się w przedziale: 0,35-1,4 s w „dzień” oraz 0,4-1,8 s w „nocy” (dolne granice przedziałów dotyczą 0,2%, a górne 99% badanej populacji). Ponadto u 80% kierowców różnica w czasach reakcji między „dnem” i nocą wyniosła 0,2 s. Wydłużony czas reakcji w nocy może dotyczyć szczególnie kierowców pojazdów ciężarowych, wśród których problemem jest często nadmierne zmęczenie. Rozkłady czasów reakcji wg Hartmanna zostały wykorzystane w badaniach własnych.



Rys. 2.11. Dystrybuanty czasów reakcji t_r kierowców przy świetle dziennym i w nocy wg [14]

Do badań odstępów między pojazdami można również zaliczyć prace dotyczące ruchu kolumnowego. Większość z nich [71,75,89] dotyczy jednak modelowania postaci rozkładu odstępów między pojazdami w kolumnach i ma wiele wspólnych cech z przytoczonymi już wcześniej pracami. Nie spotkano się z badaniami, których przedmiotem byłby wpływ warunków oświetlenia na ruch kolumnowy pojazdów.

2.4. Wnioski w celu ukierunkowania własnych badań

Badania zagraniczne dotyczące wpływu ograniczeń widoczności na bezpieczeństwo ruchu drogowego doprowadziły do następujących wniosków:

- W nocy występuje znaczny wzrost zagrożenia brd w stosunku do okresu światła dziennego. Wzrost ten szacowany przy pomocy wskaźników, np. PS (2.11) lub IS (2.12) w całym zbiorze wypadków wynosi zazwyczaj 40-50%;
- Wzrost zagrożenia związany z okresem nocy jest większy o ok. 20% poza obszarem zabudowy niż w jej obrębie;
- Wypadki w nocy charakteryzują się z reguły większą ciężkością. Prawdopodobieństwo wypadku o dużej ciężkości w nocy jest o ok. 11% większe niż przy świetle dziennym;
- W okresie nocy występuje bardzo duży wzrost zagrożenia bezpieczeństwa ruchu pieszego pomimo niewielkich natężeń takiego ruchu. Prawdopodobieństwo uwikłania

pieszego w wypadku w „nocy” jest 1,40-6,75 razy większe niż w „dzień” w zależności od występowania zabudowy, miejsca zdarzenia i obecności sztucznego oświetlenia;

- Na łukach poziomych w nocy występuje relatywny wzrost ryzyka wypadku w stosunku do odcinków prostych o ponad 30% w porównaniu z okresem światła dziennego. Wzrost ten nie był spodziewany ze względu na jednoczesny spadek o niecałe 30% ryzyka wypadku w wyniku wywrócenia się pojazdu;
- Spośród wypadków typu „pojazd-pojazd” największy (2 do 4-krotny) wzrost ryzyka wypadku w nocy dotyczy zderzeń tylnych. Wzrost zagrożenia wystąpienia zderzenia czołowego i bocznego jest mniejszy i wynosi od 1,1 do 2,6 razy;
- Obecność sztucznego oświetlenia wpływa na obniżenie ryzyka wypadkowego w nocy o ok. 40-60% w stosunku braku takiego oświetlenia. Zagrożenie to jest jednak nadal wyższe niż przy świetle dziennym. Ograniczony wpływ sztucznego oświetlenia na poprawę brd może być efektem tzw. kompensacji ryzyka przez kierowców, objawiającej się m.in. wzrostem prędkości i obniżeniem koncentracji;
- Zwiększone ryzyko wypadków w nocy dotyczy szczególnie młodych uczestników ruchu, co wynika z połączenia dwóch niekorzystnych czynników, tj. braku doświadczenia i skłonności do ryzykownych zachowań.

Głównym źródłem wzrostu zagrożenia wypadkowego w nocy są pogarszające się warunki percepcji drogi i jej otoczenia. Dlatego dominującą rolę wśród przyczyn wypadków w nocy odgrywa czynnik ludzki.

W większości dostępnych badań wykorzystywano relatywne miary zagrożenia wypadkami drogowymi w nocy. Trudno znaleźć szczegółowe analizy uwzględniające istotny, bezpośredni wpływ rozwiązań infrastrukturalnych na zdarzenia drogowe związane z ciemnością. Takie czynniki jak dostępność do dróg, rodzaj przekroju poprzecznego drogi, czy też parametry łuków poziomych mogą jednak pośrednio wpływać na błędy uczestników ruchu, ale w literaturze brak jest danych o ilościowych oszacowaniach takiego wpływu.

Brak jest jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, jak zmieniają się zachowania kierujących w sytuacji poprawy warunków oświetlenia w nocy. Ogólnie można stwierdzić, że poprawa warunków oświetlenia potencjalnie stwarza kierującym pojazdami więcej możliwości podejmowania poprawnych decyzji, ale równocześnie lepsza rozpoznawalność drogi i jej otoczenia może prowadzić do subiektywnej oceny sytuacji na drodze jako mniej niebezpiecznej niż jest w rzeczywistości. Najważniejszym skutkiem takiej oceny może być zmiana zachowań kierujących pojazdami w stronę bardziej ryzykownej jazdy, w tym zwiększenia prędkości jazdy lub niezachowywania bezpiecznych odstępów między pojazdami. Jednak mimo tych wątpliwości większość prac badawczych potwierdza skuteczność oświetlenia dróg i skrzyżowań jako środka poprawy bezpieczeństwa ruchu, chociaż skuteczność ta jest często mniejsza od wstępnie zakładanej.

Wśród wielu determinant zdarzeń drogowych dominującą rolę odgrywa nadmierna prędkość, tj. prędkość nieadekwatna do warunków drogowo-ruchowych. Badania czynników determinujących wybór prędkości przez kierujących pojazdami wskazują m.in. na:

- Bardzo duże (szczególnie przy złych warunkach atmosferycznych) powiązanie prędkości ze standardem technicznym drogi (w tym z szerokością pasa ruchu), przy mniejszej roli ogólnych lub lokalnych ograniczeń prędkości;
- Wpływ elementów zagospodarowania otoczenia drogi tworzących ogólny obraz przestrzeni odbieranej przez kierującego. Wraz z rosnącą liczbą takich elementów maleje prędkość. W nocy zawęża się odbierany przez kierującego obraz drogi i może maleć wpływ zagospodarowania jej otoczenia;
- Wzrost prędkości, mimo nocnych ograniczeń widoczności. W wielu przypadkach rejestrowano na odcinkach drogowych przejść przez miejscowości zwiększenie prędkości o 4-6 km/h, a na drogach szybkiego ruchu o 3-6 km/h;
- Spadek prędkości na zamiejskich odcinkach dróg krajowych w nocy (z reguły o 2-3 km/h). Istotną rolę, poza ograniczeniami widoczności, może w tym przypadku odgrywać dobowy biologiczny rytm funkcjonowania człowieka;
- Spadek prędkości w nocy w okresie letnim z powodu wzrostu luminacji nawierzchni. Zimą tendencja ta jest odwrotna;
- Większą zależność prędkości jazdy od prędkości dopuszczalnej w ciemności niż przy świetle dziennym.
- Częsty wzrost prędkości pojazdów w przypadku obecności sztucznego oświetlenia;
- Redukcję prędkości o 18-30% w przypadku ograniczeń widoczności związanych z mgłą lub opadami śniegu. Mokra jezdnia nie wywiera większego wpływu na prędkość pojazdów w ruchu swobodnym. Sytuacja ulega zmianie, gdy opady deszczu powodują równoczesne ograniczenia widoczności;

Trudno odnaleźć w literaturze szczegółowe badania dotyczące wpływu warunków oświetlenia na odstępy między pojazdami, będące pośrednią miarą zagrożenia wypadkowego. Z dostępnych materiałów można wywnioskować, że w ciemności występuje tendencja do jazdy z mniejszymi odstępami niż przy świetle dziennym, co w powiązaniu z dłuższymi czasami reakcji powoduje wzrost potencjalnego zagrożenia występowania zdarzeń drogowych typu „zderzenie tylne”.

Po zapoznaniu się z dostępnymi badaniami zauważono następujące luki w wiedzy dotyczącej ocen wpływu nocnych ograniczeń widoczności na bezpieczeństwo ruchu:

- Niewystarczająca szczegółowość badań dotyczących wpływu infrastruktury drogowej na brd w różnych warunkach oświetlenia;
- Niewystarczające określenie wpływu warunków oświetlenia na brd w krajowych badaniach oraz pomijanie stosowanych w świecie nowych metod oceny zagrożenia wypadkowego;
- Brak szczegółowego określenia wpływu warunków oświetlenia oraz infrastruktury drogowej na prędkość i miary jej rozproszenia w różnych warunkach oświetlenia;
- Brak badań, których głównym przedmiotem jest ocena wpływu nocnych ograniczeń widoczności na odstępy między pojazdami;
- Brak prób minimalizacji wpływu czynnika ludzkiego na wyniki przedmiotowych badań, np. poprzez odrzucenie z analiz wypadków związanych z alkoholem.

Zaobserwowane luki w wiedzy dotyczą zarówno badań zagranicznych, jak i krajowych, w których problem zagrożeń brd w ruchu nocnym nie został jeszcze wystarczająco rozpoznany.

Rozpoznanie metod badań wykorzystywanych w analizach zagrożeń bezpieczeństwa ruchu doprowadziło do następujących wniosków:

- Podstawowymi narzędziami służącymi ocenie zagrożeń brd są analizy regresyjne. W niektórych przypadkach zachodzą jednak trudności we włączeniu do modeli regresyjnych dodatkowych zmiennych, reprezentujących wpływ elementów infrastruktury na brd (szerszy opis takich trudności znajduje się w rozdz. 5). Trudności te polegają m.in. na braku możliwości odzwierciedlenia w modelach zależności pomiędzy zmiennymi objaśniającymi;
- W zagranicznych badaniach coraz częściej wykorzystuje się modele graficzne, których główną zaletą jest możliwość przeprowadzenia kompleksowych analiz z uwzględnieniem zależności przyczynowo-skutkowych cech wypadków oraz korelacji pomiędzy zmiennymi, które w modelach regresyjnych były niezależne. Takie narzędzia powinny umożliwić określenie wpływu cech dróg i ich otoczenia na brd;
- W przypadku ograniczonej możliwości odzwierciedlenia rzeczywistego zagrożenia bezpieczeństwa ruchu przez modele wypadkowe wykorzystuje się pośrednie miary oceny takiego zagrożenia, w tym m.in. prędkość i odstęp między pojazdami w potoku ruchu i w ruchu kolumnowym. Zakłada się, że parametry ruchu drogowego mogą w pośredni sposób wyrażać zmiany zagrożenia brd. Porównanie miar pośrednich z uwzględnieniem różnych cech geometrii i otoczenia dróg umożliwia pośrednią ocenę wpływu infrastruktury drogowej na brd w zmiennych warunkach oświetlenia.

Odpowiedni dobór metod badań z uwzględnieniem prób określenia wpływu infrastruktury drogowej na brd w różnych warunkach oświetlenia jest szczególnie istotny w kontekście dowodu jednej z głównych tez pracy postawionych w rozdz. 3.2.

3. CELE, TEZY I ZAKRES PRACY ORAZ METODY BADAŃ

3.1. Cele pracy

Opisane w rozdz. 2 uwarunkowania ruchu nocnego oraz zaobserwowane na podstawie studiów literatury i dotychczasowych badań luki wiedzy dotyczącej wpływu nocnych ograniczeń widoczności na bezpieczeństwo ruchu drogowego, doprowadziły do sformułowania następujących podstawowych celów pracy:

- Identyfikacja przyczyn zjawiska zwiększonego zagrożenia brd w warunkach nocnych ograniczeń widoczności oraz określenie skali tego zagrożenia;
- Opis wpływu cech dróg i parametrów ruchu na jego bezpieczeństwo w różnych warunkach oświetlenia przy pomocy narzędzi regresyjnych oraz metod bayesowskich;
- Identyfikacja dodatkowych miar pośrednich, związanych z prędkością oraz odstępami między pojazdami, które pozwolą w lepszym stopniu wyjaśnić wzrost zagrożenia brd w okresie nocy.

Poza realizacją podanych powyżej celów pracy o charakterze naukowym, można również sformułować następujące cele użyteczne:

- Wykorzystanie i rozwinięcie w polskich warunkach metod analiz brd opartych na modelach graficznych w oparciu o wiedzę na temat szerokiego zakresu zastosowania tych metod w innych dziedzinach nauki;
- Porównania wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd na polskich drogach na tle istniejącej wiedzy i wyników dostępnych badań z różnych krajów.

3.2. Tezy pracy

W powiązaniu z podanymi w rozdz. 3.1 celami pracy, sformułowano również następujące, naukowe tezy pracy:

- Obok samej roli człowieka, rozwiązania infrastruktury drogowej oraz wybrane parametry ruchu mają istotny wpływ na okoliczności powodujące zwiększone zagrożenie brd w okresie nocnych ograniczeń widoczności. Wpływ ten może być opisany w sposób ilościowy;
- W badaniach bezpieczeństwa ruchu drogowego można stosować, obok podstawowych narzędzi analiz regresyjnych, także narzędzia analiz oparte na metodach bayesowskich, dzięki którym uzyskuje się znaczne uproszczenie analiz, przy zachowaniu ich wymaganej dokładności;
- Wpływ cech dróg i parametrów ruchu na pośrednie miary brd, takie jak prędkość oraz odstępy między pojazdami zależy od warunków oświetlenia.

Dowód prawdziwości lub odrzucenie postawionych tez będzie równocześnie osiągnięciem zakładanych celów pracy.

3.3. Zakres pracy

Osiągnięcie nakreślonych celów oraz weryfikacja tez rozprawy wymagały realizacji następującego zakresu analiz i badań:

- 1) Analizy danych o rejestrowanych zdarzeniach drogowych na sieci dróg krajowych i dróg wojewódzkich Małopolski, obejmujące:
 - budowę baz danych o wypadkach wraz z weryfikacją informacji zawartych w kartach wypadkowych,
 - określenie dobowej i sezonowej zmienności ryzyka wypadków,
 - porównanie wskaźników ciężkości wypadków w poszczególnych porach doby,
 - określenie struktury typów i okoliczności wypadków w poszczególnych porach doby,
 - identyfikację zagrożenia występowaniem wypadków o specyficznych okolicznościach w różnych warunkach oświetlenia,
 - określenie potencjalnego wpływu tzw. „czynnika ludzkiego” na występowanie wypadków drogowych w nocy,
 - oszacowanie relatywnego zagrożenia wypadkowego w okresie nocy.
- 2) Inwentaryzacja sieci dróg wojewódzkich Małopolski z uwzględnieniem charakterystyk geometrii i otoczenia tych dróg. Budowa baz danych drogowo-ruchowych na odcinkach niebezpiecznych w ciągu dróg krajowych i wojewódzkich.
- 3) Budowa regresyjnych modeli predykcji wypadków oraz modeli graficznych współzależności cech wypadków z uwzględnieniem nocnych ograniczeń widoczności. Konstrukcję modeli oparto na bazie danych drogowo-ruchowych, obejmującej 468 odcinków niebezpiecznych (270 na drogach krajowych i 198 na drogach wojewódzkich Małopolski). Łącznie utworzono 796 modeli regresyjnych, na które składają się: 72 modele predykcji liczby wypadków na drogach krajowych i 77 modeli na drogach wojewódzkich, 501 modeli predykcji wypadków różnych typów na drogach krajowych, 25 modeli predykcji liczby wypadków niezwiązanych z alkoholem ani zmęczeniem lub zaśnięciem kierowcy i wypadków przed godziną 23:00 w nocy na drogach krajowych oraz 121 na drogach wojewódzkich. 18 modeli predykcji wypadków o największej wartości współczynnika R_p^2 (0,45-0,80) określono jako „reprezentatywne”. Zbudowano 2 modele graficzne odzwierciedlające współzależności pomiędzy cechami wypadków na drogach krajowych i wojewódzkich. W budowie tych modeli posłużoną się metodą krokową z weryfikacją poprawności modeli w każdym kroku.
- 4) Analizy wpływu pory doby na pośrednie miary bezpieczeństwa ruchu drogowego, obejmujące:
 - empiryczne badania prędkości i odstępów między pojazdami na podstawie danych z 24-godzinnych pomiarów na 404 odcinkach dwupasowych dwukierunkowych zamiejских dróg krajowych i przejść drogowych przez małe miejscowości,
 - określenie wpływu warunków oświetlenia na prędkość pojazdów,
 - określenie wpływu pory doby na odstępy między pojazdami,
 - analizy ruchu kolumnowego w różnych warunkach oświetlenia,

- identyfikację wpływu wybranych parametrów ruchu na: prędkość, udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami, udział pojazdów jadących w kolumnach i parametry ruchu kolumnowego przy pomocy modeli regresyjnych wraz z wyborem postaci tych modeli.

3.4. Przyjęte metody badań

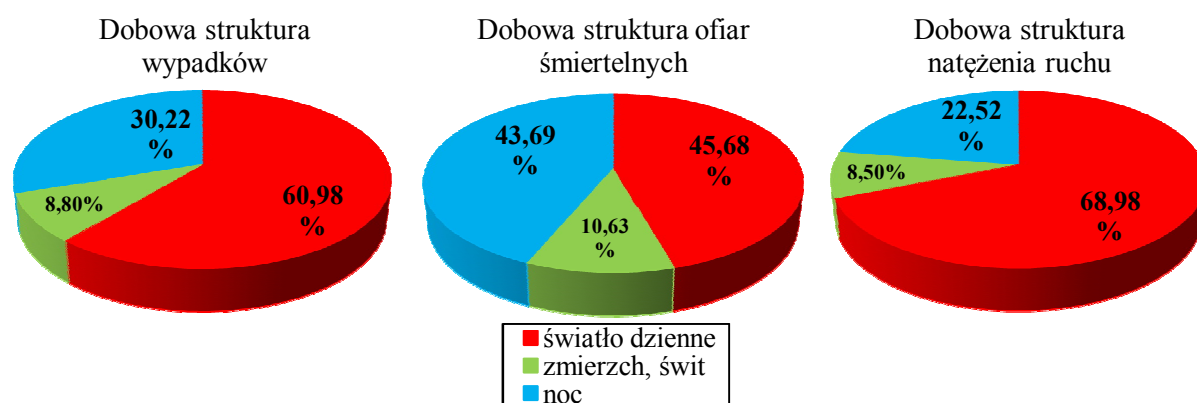
W niniejszej rozprawie można wyróżnić następujące grupy badań związane z przyjętymi metodami ich realizacji:

- 1) Analizy danych o rejestrowanych zdarzeniach drogowych w zmiennych warunkach oświetlenia. Analizy te obejmują budowę baz danych (opisanych w rozdz. 4.1), jej weryfikację oraz ogólne i szczegółowe analizy statystyczne. W celu identyfikacji trendów wypadkowych zastosowano proste narzędzia sortowania oraz metody analiz statystycznych, dostępne w programach Microsoft Excel oraz Access. W obrębie analiz wypadkowych wykonano również oceny relatywnego zagrożenia wypadkami w okresie nocnych ograniczeń widoczności przy pomocy metody wskaźnikowej opisanej w rozdz. 2.2.3.
- 2) Empiryczne badania prędkości i odstępów między pojazdami. Badania te wykonane zostały techniką automatycznej rejestracji parametrów ruchu przy pomocy detektorów pneumatycznych i magnetycznych, rejestrujących czas zgłoszenia pojazdu, prędkość, rozstaw osi oraz odstęp do pojazdu poprzedzającego. Szerszy opis przedmiotowych badań znajduje się w rozdz. 6.1. Wyniki własnych badań uzupełniono danymi z wieloletniej bazy danych, którą dysponuje Katedra Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu Politechniki Krakowskiej. Bazę danych przetworzono w programach Microsoft Excel oraz STATISTICA PL 7.1. Część danych ruchowych połączono z danymi o rejestrowanych zdarzeniach drogowych oraz opisującymi cechy geometryczne dróg.
- 3) Budowa modeli predykcji wypadków z uwzględnieniem zmiennych objaśniających o potencjalnym wpływie na zagrożenie wypadkowe w warunkach nocnych ograniczeń widoczności. Przy budowie modeli wykorzystano metody regresyjne (rozdz. 2.2.1) oraz metody graficzne oparte na sieciach Bayesa (rozdz. 2.2.2). Budowę modeli regresyjnych zrealizowano przy pomocy funkcji „Uogólnione modele liniowe i nieliniowe” w programie STATISTICA PL 7.1, a modeli graficznych przy pomocy programu SAMIAM. Modele stworzono na podstawie baz danych o wypadkach oraz cechach dróg i ich otoczenia. Opisy tych baz znajdują się w rozdziałach 4.1 i 5.1.
- 4) Badania wpływu warunków oświetlenia na pośrednie miary bezpieczeństwa ruchu drogowego, tj. prędkość i odstępy między pojazdami w różnych porach doby. Badania te zrealizowano przy pomocy metod opisanych w rozdz. 2.2.4. Metodami tymi są w szczególności analizy statystyczne oraz porównania rozkładów wraz z ich parametrami, dystrybuant i trendów zmian analizowanych miar w różnych warunkach oświetlenia. Ocena wpływu czynników drogowo-ruchowych na prędkość, udział odstępów niebezpiecznych w potoku pojazdów i parametry ruchu kolumnowego zrealizowano przy pomocy funkcji „Estymacja nieliniowa” w programie STATISTICA PL 7.1.

4. ANALIZY DANYCH O REJESTROWANYCH WYPADKACH DROGOWYCH

4.1. Bazy danych wypadkowych

Analizy danych o zdarzeniach drogowych wykonano w oparciu o dwie bazy danych. Dane o wypadkach na całej sieci dróg krajowych w Polsce zaczerpnięto z Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji drogowych (SEWiK), a na drogach wojewódzkich Małopolski z Zarządu Dróg Wojewódzkich w Krakowie. Baza SEWiK wykorzystana w rozprawie obejmuje statystyki wypadkowe z lat 2005-09 (5 lat analizy). W tym okresie zanotowano na drogach krajowych 48044 wypadki, w których śmierć poniosło 9289, a rannych zostało 66981 osób (tabl. 4.1). Około 30% z tych wypadków oraz 44% ofiar śmiertelnych przypada na okres nocy (rys. 4.1). Takie wskaźniki struktury wypadków w nocy są dużo wyższe od wskaźnika natężenia ruchu w nocy (22,5%), które jest podstawową jednostką wystawienia na ryzyko [22,41].



Rys. 4.1. Zestawienie procentowych dobowych wskaźników struktury wypadków, ofiar śmiertelnych oraz natężenia ruchu na drogach krajowych.

Baza zaczerpnięta z ZDW w Krakowie obejmuje dłuższy okres, tj. lata 1999-2010. Jej wadą jest natomiast niejednorodność danych w poszczególnych latach, co sprawia duże trudności w zespoleniu bazy w całość. Kilkakrotnie w wymienionym okresie zmieniały się kody wypadków. W kolejnych latach stopniowo poprawiała się również dokładność i szczegółowość danych zawartych w bazie. Dopiero od roku 2007 rozpoczęto uzupełnianie bazy z podobną szczegółowością, jak na drogach krajowych. Szczegółowość ta dotyczy przede wszystkim wskazania dokładnej lokalizacji (hektometrażu) każdego wypadku. Ze względu na wskazane ograniczenia do analiz szczegółowych wybrano przedział lat 2007-10 (4 lata analizy). W okresie tym na drogach wojewódzkich w Małopolsce zanotowano 2658 wypadków, w których śmierć poniosło 268, a rannych zostało 3640 osób (tabl. 4.1). Udział okresu nocy w liczbie wypadków wynosi 25%, a w liczbie zabitych ponad 45%.

Celem budowy dwóch baz danych było uwzględnienie w analizach i modelach predykcji wypadków w okresie nocy dróg o różnych funkcjach i charakterystykach technicznych. Spodziewano się, że klasa dróg oraz wynikające z niej różnice parametrów

geometrycznych, ruchowych, dostępności, wyposażenia i otoczenia może w istotny sposób determinować zagrożenie wypadkowe.

Tabl. 4.1. Dane o wypadkach i wskaźnikach ich ciężkości na drogach krajowych (DK) w Polsce w latach 2005-09 oraz na drogach wojewódzkich (DW) w Małopolsce w latach 2007-2010.

grupa dróg	obszar	wypadki	ranni	ofiary śmiertelne	ofiary	W_{CR} [l.ran/100 wyp.]	$W_{Coś}$ [l.of.śmier./100 wyp]
DK	zabudowany	19427	24892	2497	27389	128,1	12,9
	niezabudowany	28617	42089	6792	48881	147,1	23,7
	razem	48044	66981	9289	76270	139,4	19,3
DW	zabudowany	1922	2554	148	2702	132,9	7,7
	niezabudowany	736	1086	120	1206	147,6	16,3
	razem	2658	3640	268	3908	136,9	10,1

Rekordy baz danych pochodzą z kart wypadkowych wypełnianych przez policjantów na miejscu zdarzenia. Karty takie zawierają informacje na temat miejsca zdarzenia (m.in. zabudowy, lokalizacji, rodzaju i geometrii drogi, rodzaju nawierzchni), jego okoliczności (rodzaju, przyczyny, warunków atmosferycznych, oświetlenia, stanu nawierzchni) oraz uczestników (sprawców i ofiar wraz z wiekiem, płcią i obecnością alkoholu). Należy wspomnieć, że policjanci skupiając się na odnotowaniu danych osobowych i ubezpieczeń uczestników wypadku oraz wskazaniu winy mogą popełnić błędy w interpretacji niektórych okoliczności wypadku, które są mniej istotne z prawnego punktu widzenia. Ewentualne błędy lub braki w niektórych rubrykach kart wypadkowych szacowane są na kilka do kilkunastu procent. Statystyczna istotność tych błędów w analizach statystycznych może być minimalizowana dzięki dużym rozmiarom prób. Bardzo ważne z punktu widzenia celów badań objętych niniejszą pracą jest prawidłowe określenie warunków oświetlenia jako okoliczności wypadku. Błędy w tej rubryce zminimalizowano poprzez weryfikację wskazanej godziny wypadku ze znanymi godzinami wschodu i zachodu słońca. Ze względu na możliwe opóźnienie w przybyciu policji na miejsce zdarzenia i błąd we wskazaniu dokładnej godziny wypadku mogący sięgać kilkudziesięciu minut, zdecydowano o nieuwzględnianiu okresu zmierzchu i świtu w szczegółowych analizach oświetlenia jako okoliczności wypadków.

Dzięki zastosowaniu w analizach porównawczych relatywnych metod oceny zagrożenia brd w nocy wyeliminowano problem rozbieżności przedziału lat uwzględnianych w analizach wypadków obu opisywanych grup dróg.

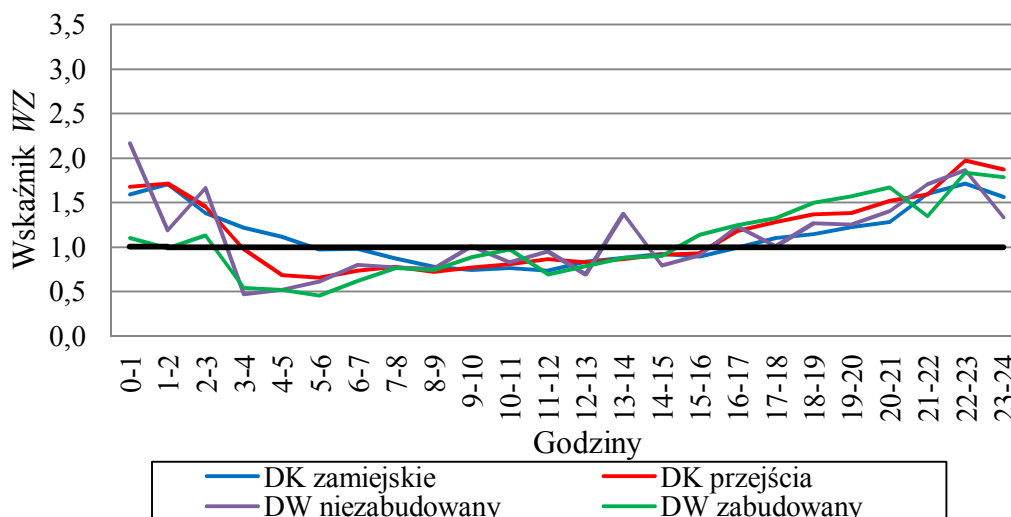
4.2. Dobowa i sezonowa zmienność ryzyka wypadków

4.2.1. Oszacowanie relatywnego wpływu pory doby na wypadkowość

Podstawowym źródłem dobowej zmienności liczby wypadków (LW) są zmiany natężenia ruchu (Q), będącego podstawową jednostką wystawienia na ryzyko. Gdyby rola pozostałych czynników determinujących zagrożenie wypadkowe była jednakowa w kolejnych godzinach doby, to profil dobowej zmienności liczby wypadków pokrywałby się z profilem zmienności natężenia ruchu. Różnice przebiegu obu profili mogą natomiast wskazywać na zmienne w ciągu doby znaczenie innych determinant wypadków. Relatywny wpływ ciemności związanej z okresem nocy można oszacować przy pomocy wskaźników WZ , wyrażonych następującym wzorem zgodnym z opisaną w rozdz. 2 zależnością (2.14):

$$WZ = \frac{LW^{godzina_analizy} / Q^{godzina_analizy}}{LW^{doba} / Q^{doba}} \quad (4.1)$$

Ocena wpływu oświetlenia na ryzyko wypadkowe przy pomocy wskaźnika WZ jest pośrednia z uwagi na różne godziny wschodu i zachodu słońca w poszczególnych dniach roku, ale można przyjąć, że godz. 22:00-4:00 są nocnymi, a godziny 8:00-15:00 dziennymi przez cały rok. Przedstawione na rys. 4.2 wartości wskaźnika WZ w kolejnych godzinach doby wskazują na występowanie „okresu niebezpiecznego” w godzinach związanych z brakiem lub ograniczeniem oświetlenia naturalnego. Okres ten na zamiejskich odcinkach dróg krajowych przypada na godziny 17:00-5:00, na przejściach dróg krajowych przez miejscowości na godziny 16:00-3:00, a na drogach wojewódzkich są to godziny 15:00-3:00 (obszar zabudowany) oraz 16:00-3:00 (poza zabudowę). Wartości wskaźnika WZ w godzinach 22:00-3:00 zawierały się w przedziale 1,0-2,2. W godzinie 3:00-4:00 nastąpił spadek relatywnego zagrożenia na drogach wojewódzkich. Istnieje jednak przypuszczenie, że część wypadków pojedynczych pojazdów na tych drogach nie jest rejestrowana.



Rys. 4.2. Porównanie relatywnego ryzyka wypadku w kolejnych godzinach doby.

Wpływ pory doby na wypadkowość jest zmienny w zależności od grup uczestników ruchu. Z dotychczasowych analiz wiadomo, że niektóre z tych grup (m.in. piesi) są szczególnie narażeni na ryzyko wypadku związane z ograniczeniem widoczności. Brak jest pełnej wiedzy na temat ryzyka wypadków np. samochodów ciężarowych o dużym udziale w ruchu nocnym. Z tego powodu porównania relatywnego ryzyka w kolejnych godzinach doby przy pomocy wskaźnika WZ rozszerzono o poszczególne grupy uczestników ruchu. Przedmiotowy wskaźnik wyraża się wzorem:

$$WZ = \frac{LW_{grupa_uzytkownikow}^{godzina_analizy} / Q_{wszystkie_pojazdy}^{godzina_analizy}}{LW_{grupa_uzytkownikow}^{doba} / Q_{wszystkie_pojazdy}^{doba}} \quad (4.2)$$

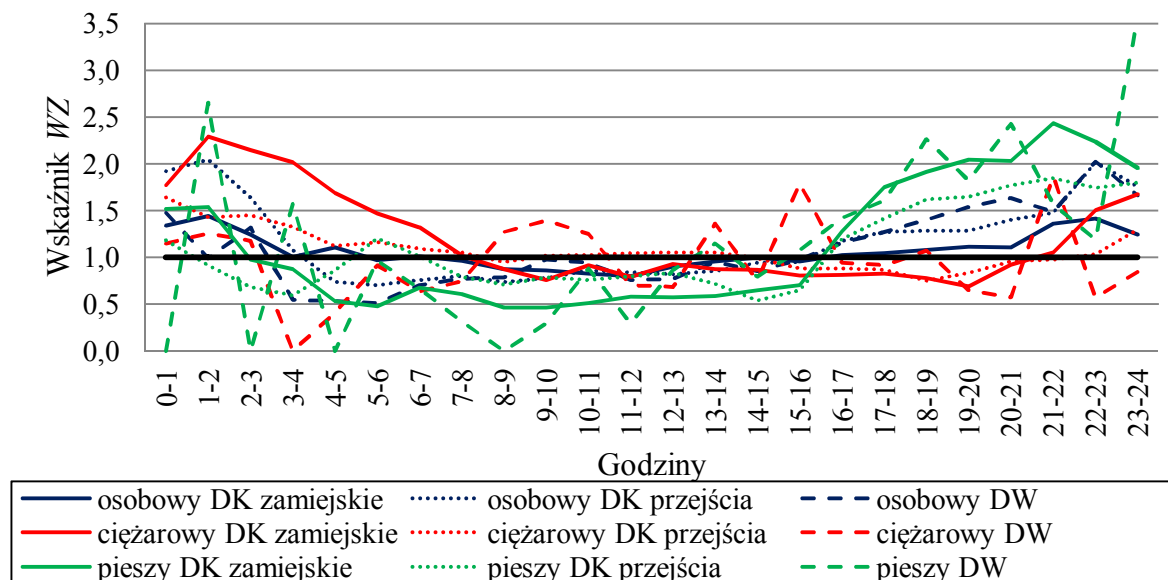
We wzorze (4.2) przyjęto duże uproszczenie polegające na odniesieniu godzinowych udziałów wypadków danej grupy uczestników ruchu do ruchu wszystkich pojazdów. Brak jest bowiem danych pozwalających na dokładne określenie obrazu dobowej zmienności

poszczególnych grup uczestników ruchu, a szczególnie pieszych. Równocześnie jednak należy zauważyć, że wypadki danej grupy uczestników ruchu powstają nie tylko w obrębie tej grupy, ale są powiązane także z ruchem innych pojazdów, wobec czego wprowadzone uproszczenie można uznać za dopuszczalne.

Na rys. 4.3 pokazano zestawienie wartości wskaźnika WZ w trzech podstawowych (najbardziej licznych) grupach uczestników ruchu: pojazdów osobowych (kolor niebieski), ciężarowych (czerwony) oraz pieszych (zielony). Wypadki z dróg wojewódzkich nie zostały podzielone ze względu na ich lokalizację (zabudowa/poza zabudową) z powodu małej liczby wypadków poza obszarem zabudowanym i zbyt małej liczebności niektórych grup uczestników ruchu.

Największe relatywne zagrożenie wypadkami z udziałem pojazdów osobowych występuje na odcinkach dróg krajowych na terenach zabudowy w godzinach 21:00-3:00 oraz na drogach wojewódzkich w godzinach 19:00-1:00. Dobowe wahania wskaźnika WZ tej grupy uczestników ruchu na zamiejskich odcinkach dróg krajowych są mniejsze. Takie tendencje mogą być efektem większej liczby potencjalnych konfliktów ruchowych spowodowanych obsługą otoczenia w miejscowościach.

Poza zabudową w ciągu dróg krajowych (szczególnie w godzinach 23:00-7:00) znacznie wzrasta relatywne zagrożenie wypadkami, których sprawcą był kierowca pojazdu ciężarowego, co jest prawdopodobnie efektem dużego ruchu ciężarowego w nocy, szczególnie dalekobieżnego oraz wynika ze zmęczenia i obniżenia koncentracji kierowców. Tak wyraźnego wzrostu ryzyka wypadku z udziałem pojazdów ciężarowych w nocy nie zanotowano na terenie zabudowy, ani na drogach wojewódzkich.



Rys. 4.3. Porównanie relatywnego ryzyka wypadku w kolejnych godzinach doby w podstawowych grupach uczestników ruchu.

Piesi są szczególnie narażeni na wypadki w godzinach 17:00-2:00, kiedy ich największa ruchliwość zbiega się w czasie z ograniczeniami ich dostrzegalności przez kierowców. Największe wartości wskaźnika WZ w grupie pieszych występują na drogach krajowych poza zabudową (1,5-2,4), niewiele mniejsze są na odcinkach przejść drogowych

przez miejscowości (1,0-1,8). Wskaźniki WZ na drogach wojewódzkich wykazują duże godzinowe wahania ze względu na małą liczebność wypadków z udziałem pieszych.

Wysokie ryzyko wypadkowe ($WZ=1,6-3,0$) występuje również w godzinach 18:00-24:00 w innych grupach niechronionych użytkowników dróg, tj. rowerzystów (głównie poza zabudową) oraz motorowerzystów i motocyklistów (bez względu na zabudowę) na drogach krajowych.

4.2.2. Sezonowa zmienność ryzyka wypadków w nocy

Wraz z założeniem, że pogorszenie warunków oświetlenia zwiększa ryzyko wypadków, należałoby oczekiwać wzrostu liczby wypadków w miesiącach o rosnącym udziale godzin nocnych w dobie. Należy jednak zauważyć, że dodatkowym czynnikiem decydującym o powstawaniu wypadków jest natężenie ruchu, a także zmieniająca się aktywność pieszych wraz ze zmianami warunków atmosferycznych. Wraz z porami roku zmieniają się także motywacje podróży wpływające na zachowania uczestników ruchu. Z tych powodów postawiona na wstępie teza nie jest już tak oczywista. Dlatego za celowe uznano podjęcie analiz zmienności liczby wypadków w kolejnych miesiącach roku, charakteryzujących się zróżnicowanymi warunkami oświetlenia i warunkami atmosferycznymi. Dodatkowym celem przedmiotowej analizy jest stwierdzenie, czy występują okresy o nieproporcjonalnie większym, w stosunku do ogólnej liczby wypadków, zagrożeniu wypadkami z ofiarami śmiertelnymi w nocy.

W poszczególnych miesiącach występuje różna liczba godzin „dnia” i „nocy”. W celu miarodajnego oszacowania ryzyka wypadkowego konieczne zatem będzie wprowadzenie takiego wskaźnika zagrożenia WZ , który uwzględni średnią liczbę wypadków przypadającą na godzinę „dnia” i „nocy”. Przedmiotowy wskaźnik jest analogiczny do opisanego w rozdz. 2.2.3 przy pomocy zależności (2.14) i wyraża się następującym wzorem:

$$WZ = \frac{12 \cdot LW_{miesiac}^{okres_doby} / LH_{miesiac}^{okres_doby}}{LW_{caly_rok}^{okres_doby} / LH_{caly_rok}^{okres_doby}} \quad (4.3)$$

gdzie:

LH - liczba godzin przypadająca średnio w określonym miesiącu (lub w całym roku) na dany okres doby („dzień” lub „noc”).

Należy zauważyć, że wartość wskaźnika WZ w tym przypadku nie odzwierciedla relatywnego zagrożenia związanego z brakiem oświetlenia, tzn. nie przyjmuje wartości 1,0 w okresie światła dziennego. Wobec tego potrzebna jest dodatkowa korekta tego wskaźnika zgodnie z prostym wzorem:

$$WZ_{noc/dzien} = \frac{WZ_{noc}}{WZ_{dzien}} \quad (4.4)$$

Na podstawie tak oszacowanych wartości wskaźnika $WZ_{noc/dzien}$ można zaobserwować zgodną tendencję do wzrostu zagrożenia wypadkami na wszystkich analizowanych drogach w „nocy” w październiku, listopadzie, grudniu i styczniu (rys. Z4.1 w załączniku nr 1). Spadek takiego zagrożenia występuje z kolei od kwietnia do lipca. Tendencje te są

szczególnie wyraźne na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości i dróg wojewódzkich.

Zmienność liczby wypadków w kolejnych dniach tygodnia wskazuje na wzrost zagrożenia w piątek, niezależnie od wpływu oświetlenia. Ograniczenia widoczności w największym stopniu determinują ryzyko wypadku w sobotę i w niedzielę.

4.3. Porównania wskaźników ciężkości wypadków w poszczególnych porach doby

Wraz z warunkami oświetlenia obok liczby wypadków, może zmieniać się także ich ciężkość. Ograniczenia widoczności mogą przyczyniać się do późniejszego dostrzegania przeszkód i konfliktów na drodze, co powoduje opóźnienia w podjęciu manewru hamowania i tym samym skutkuje wzrostem ciężkości wypadku. Takie wnioski wynikają ze statystyk wypadkowych z innych krajów, przedstawionych w rozdz. 2.1.2. W celu weryfikacji tych wniosków w polskich warunkach wyznaczono wskaźniki ciężkości wypadków przy świetle dziennym i w nocy (tabl. 4.2). Rozróżnienie ze względu na występowanie w nocy sztucznego oświetlenia daje dodatkową informację, ale nie jest ona pełna, gdyż nie mamy wiedzy, jaki jest udział odcinków z oświetleniem w poszczególnych grupach dróg. Można założyć, że występowanie oświetlenia poza zabudową jest sporadyczne (krótkie odcinki, skrzyżowania). Znacznie częściej takie oświetlenie występuje w obrębie zabudowy.

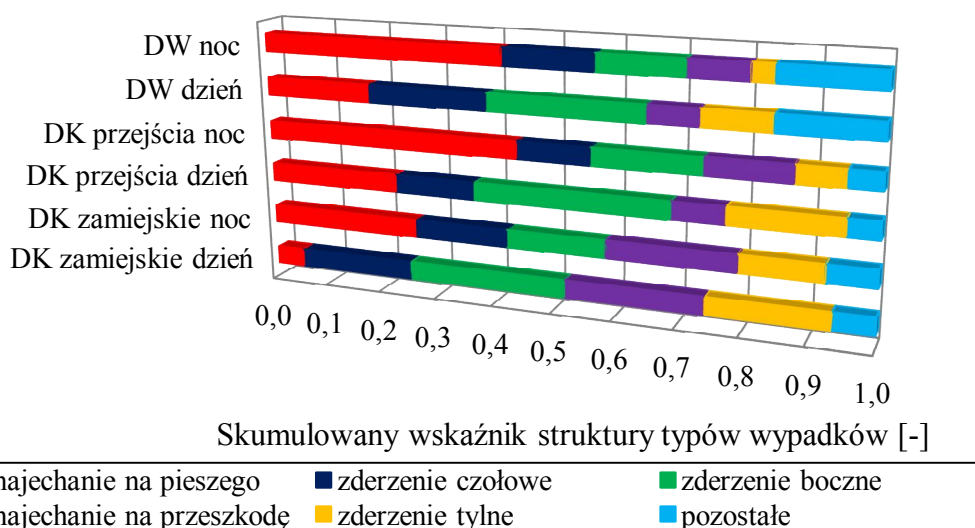
Tabl. 4.2. Wskaźniki ciężkości wypadków przy różnych warunkach oświetlenia.

grupa dróg	warunki oświetlenia	wypadki	ranni	ofiary śmiertelne	W_{CR} [l.ran./100wyp.]	W_{CoS} [l.of.śmier./100 wyp.]
DK zamiejskie	światło dzienne	17181	26972	3157	157,0	18,4
	noc	8945	11633	2929	130,1	32,7
	noc, droga oświetlona	1435	1981	360	138,0	25,1
	noc, droga nieoświetlona	7510	9652	2569	128,5	34,2
DK przejścia	światło dzienne	12114	15948	1087	131,6	9,0
	noc	5576	6777	1129	121,5	20,2
	noc, droga oświetlona	3688	4548	624	123,3	16,9
	noc, droga nieoświetlona	1888	2229	505	118,1	26,7
DW	światło dzienne	1754	2489	129	141,9	7,4
	noc	664	849	108	127,9	16,3
	noc, droga oświetlona	272	351	27	129,0	9,9
	noc, droga nieoświetlona	283	352	69	124,4	24,4

Przedstawione powyżej wyniki analiz jednoznacznie wskazują, że obok wzrostu zagrożenia wypadkiem w okresie nocy, wzrasta również ryzyko poniesienia śmierci w takim wypadku, co jest zgodne ze statystykami wypadkowymi z innych krajów. Istotne jest także zmniejszenie ryzyka wypadku śmiertelnego na odcinkach dróg ze sztucznym oświetleniem. Mniejszą niż na drogach zamiejskich ciężkość wypadków na odcinkach zabudowanych i na drogach wojewódzkich, można przypisać mniejszym prędkościom na tych drogach.

4.4. Struktura typów wypadków w różnych okresach doby

Warunki oświetlenia mogą mieć wpływ na zwiększoną częstotliwość powstawania tych typów wypadków, które są głównie efektem błędów zachowań uczestników ruchu, wynikających z ograniczeń postrzegania drogi oraz niedostatku informacji. Takie sytuacje występują często w nocy. Powyższa hipoteza znajduje potwierdzenie w dotychczasowych pracach opisanych w rozdziałach 2.1 i 2.3, gdzie wskazuje się m.in. na grupę pieszych jako uczestników ruchu najbardziej narażonych na wypadki w nocy. Ze względu na ograniczenia widoczności oraz błędy oceny prędkości i odległości w nocy, spodziewany jest także wzrost udziału wypadków w wyniku najechania na przeszkodę lub na inny pojazd, w których powstawaniu dużą rolę odgrywa standard techniczny drogi, tj. czytelność jej przebiegu i występowanie przeszkód w jej otoczeniu. W celu potwierdzenia podanych powyżej tez wraz z próbą oceny wpływu rodzaju dróg na strukturę wypadków, wykonano analizy takiej struktury z uwzględnieniem różnych grup dróg i różnych warunków oświetlenia (rys. 4.4).



Rys. 4.4. Porównanie struktury typów wypadków w przyjętych okresach doby na drogach krajowych i wojewódzkich.

Statystyczną istotność różnic dwóch wskaźników struktury oceniano przy pomocy testu parametrycznego dla takich wskaźników w programie STATISTICA PL 7.1 [49,82]. Porównywane wskaźniki struktury przyjmują wartości p_1 i p_2 . Wartość wskaźnika połączonego wyznacza się ze wzoru:

$$\bar{p} = \frac{p_1 \cdot n_1 + p_2 \cdot n_2}{n_1 + n_2} \quad (4.5)$$

gdzie:

n_1, n_2 – łączna liczba elementów w pierwszym/ drugim zbiorze.

Ocena istotności statystycznej polega na weryfikacji hipotezy $H_0: p_1 = p_2$ wobec hipotezy alternatywnej $H_1: p_1 > p_2$ lub $p_1 < p_2$ (w zależności od wartości wskaźników struktury) na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Statystyka testowa t przyjmuje następującą wartość [49]:

$$|t| = \frac{|p_1 - p_2|}{\sqrt{\bar{p} \cdot (1 - \bar{p}) \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (4.6)$$

Przy wartościach n_1 i n_2 większych od 50 (dla wszystkich prób rozważanych w niniejszym rozdziale) oraz przy prawdziwości hipotezy H_0 , statystyka t ma standardowy rozkład normalny $N(0, 1)$, którego dystrybuanta opisana jest funkcją $F(x)$. Wartość t porównuje się z wartością krytyczną, która w naszym przypadku wynosi:

$$t_{kryt} = F^{-1}(1 - \alpha) \quad (4.7)$$

Warto zauważyć, że t_{kryt} jest w rzeczywistości kwantylem $(1 - \alpha)$ standardowego rozkładu normalnego i dla zadanego poziomu istotności wynosi 1,645. Jeżeli $|t| > t_{kryt}$, to wartość statystyki t znajduje się w obszarze krytycznym $|t| \in (t_{kryt}, +\infty)$. Istnieje wówczas podstawa do odrzucenia hipotezy H_0 i przyjęcia hipotezy alternatywnej H_1 , wobec czego różnica wskaźników struktury jest statystycznie istotna [49]. W przeciwnym przypadku nie możemy stwierdzić, że porównywane wskaźniki różnią się od siebie.

Opisany sposób oceny istotności statystycznej różnic wskaźników struktury został wykorzystany do wszystkich porównań takich wskaźników w niniejszym rozdziale.

Z analizy struktury typów wypadków wynikają następujące spostrzeżenia:

- Przy świetle dziennym na wszystkich rodzajach dróg dochodzi do największej liczby wypadków typu „pojazd-pojazd”, głównie zderzeń bocznych. Znacznie mniej, szczególnie poza zabudową, jest wypadków typu najechanie na pieszego, co świadczy o ogromnej roli dostrzegalności pieszych przez kierujących pojazdami;
- Struktura wypadków w „nocy” różni się od struktury wypadków w „dzień”, głównie bardzo dużym statystycznie istotnym wzrostem udziału wypadków typu najechanie na pieszego we wszystkich grupach dróg. Na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości występuje również wyraźny wzrost częstości zdarzeń związanych z najechaniem na przeszkodę. Taki sam wzrost na drogach wojewódzkich okazał się statystycznie nieistotny. Uwagę zwraca kilkukrotny wzrost częstości zdarzeń z pieszymi na drogach zamiejskich pomimo potencjalnie niskich natężeń tych uczestników ruchu;
- Wraz ze wzrostem udziału wypadków z pojedynczym pojazdem w nocy, następuje spadek udziału wskaźników struktury wszystkich wypadków typu „pojazd-pojazd”. Spośród nich statystycznie nieistotny, głównie z uwagi na mniejsze liczebności prób, okazał się spadek udziału wypadków typu „zderzenie czołowe” na drogach wojewódzkich i przejściach dróg krajowych przez miejscowości oraz wypadków typu „zderzenie tylne” na drogach wojewódzkich;
- Na drogach wojewódzkich Małopolski występuje większy udział wypadków z grupy „pozostałe”, na które w większości składają się wypadki typu „wywrócenie się pojazdu”. Tak podwyższony udział tej grupy wypadków może być efektem większej

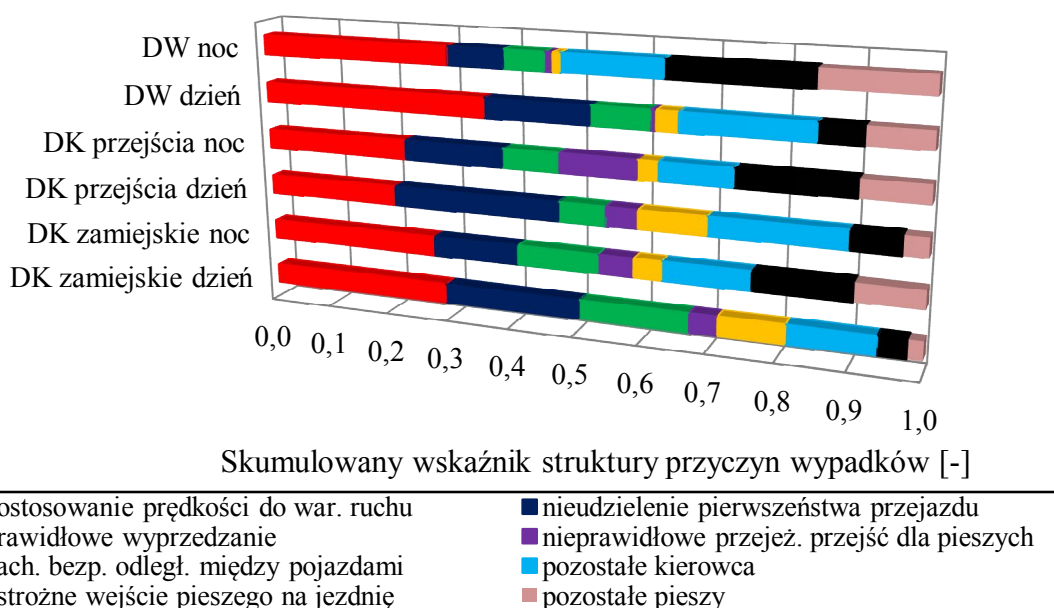
krętości, wynikającej z na ogół niższej klasy tych dróg. Udział wypadków z grupy „pozostałe” nie jest determinowany przez warunki oświetlenia.

Możliwość porównania struktury wypadków rejestrowanych w warunkach występowania sztucznego oświetlenia ze strukturą wypadków w innych warunkach oświetlenia są ograniczone z uwagi na specyfikę oświetlania dróg zamiejskich (oświetlenie części skrzyżowań lub niebezpiecznych odcinków). We wszystkich grupach dróg można jednak zauważyć wzrost udziału wypadków typu najechanie na pieszego i najechanie na przeszkodę w przypadku braku sztucznego oświetlenia.

4.5. Struktura okoliczności wypadków w różnych warunkach oświetlenia

Celem analizy okoliczności wypadków podawanych w kartach zdarzeń drogowych jest stwierdzenie, czy warunki oświetlenia wpływają na błędne zachowania uczestników ruchu, których skutkiem mogą być sytuacje wypadkowe. Częściowo odpowiedź na tak postawione pytanie została już udzielona w rozdz. 4.4, gdyż niektóre typy wypadków są skorelowane z określonymi przyczynami i częstość występowania wypadków określonego typu wskazuje pośrednio na częstość występowania danej okoliczności wypadków. Np. wypadki z udziałem pieszych są powiązane z najczęściej podawanymi okolicznościami „nieprawidłowe przejeżdżanie przejść dla pieszych” oraz „nieostrożne wejście pieszego na jezdnię przed jadącym pojazdem”. Tym samym, wobec dominującego udziału wypadków z pieszymi, należy oczekiwać, że podane okoliczności będą stanowiły także istotny udział wśród wszystkich okoliczności wypadków. Podobnie wypadki typu zderzenie boczne są najczęściej powiązane z okolicznością nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu, a najechanie na tył pojazdu z niezachowaniem bezpiecznej odległości między pojazdami.

Wyniki przeprowadzonej analizy przedstawiono na rys. 4.5.



Rys. 4.5. Porównanie struktury przyczyn wypadków w przyjętych okresach doby.

Z analizy struktur okoliczności wypadków wynikają następujące spostrzeżenia:

- Na drogach krajowych udział niedostosowania prędkości do warunków ruchu jako okoliczności wypadków osiąga podobne wartości w „dzień” i w „nocy”. Ze względu na dużą liczebność próby na zamiejskich odcinkach dróg krajowych, spadek wskaźnika struktury takich wypadków o 1,5% w nocy okazał istotny statystycznie. Nieistotny jest spadek udziału przedmiotowych wypadków na drogach wojewódzkich;
- We wszystkich analizowanych grupach dróg około 2-krotnie spada w nocy udział okoliczności wypadków określanych jako nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu oraz niezachowanie bezpiecznej odległości między pojazdami, co może być związane głównie ze spadkiem natężenia ruchu w „nocy”. Na drogach wojewódzkich spadki te nie są jednak istotne statystycznie. Różnice wskaźników struktury wypadków w wyniku nieprawidłowego wyprzedzania są istotne jedynie w grupie dróg zamiejskich;
- Około 3-4-krotnie wzrasta wśród okoliczności udział wypadków z winy pieszego. Wzrost ten we wszystkich grupach dróg jest istotny statystycznie i zgodny z opisanymi powyżej korelacjami okoliczności i rodzajów wypadków;
- Udział wypadków z pieszymi spowodowanych przez kierowców istotnie wzrasta w nocy jedynie w obrębie zabudowy dróg krajowych. Na odcinkach dróg wojewódzkich wypadki z pieszymi w znacznej większości powstają z winy samych pieszych.

Pomimo wspomnianych w rozdz. 4.4 ograniczeń, porównanie struktury okoliczności wypadków w warunkach sztucznego oświetlenia i ciemności potwierdza negatywny wpływ braku oświetlenia na bezpieczeństwo pieszych.

W podsumowaniu opisanych analiz można stwierdzić, że znalazła potwierdzenie teza o wpływie warunków oświetlenia na strukturę okoliczności wypadków, która dodatkowo różni się w zależności od grupy dróg. Okres „nocy” sprzyja szczególnie zwiększeniu udziału różnych błędów pieszych jako okoliczności wypadków, co potwierdza wpływ warunków oświetlenia na decyzje podejmowane przez pieszych, a także wskazuje na prawdopodobne zwiększenie roli nietrzeźwości pieszych w nocy jako determinanty ich zachowań. Niższe wartości natężeń ruchu w nocy przyczyniają się do spadku udziału okoliczności silnie związanych z wypadkami typu „pojazd-pojazd”. Wbrew przypuszczeniom nie obserwuje się wpływu okresu nocy na wzrost udziału niedostosowania prędkości do warunków ruchu jako okoliczności wypadków.

4.6. Specyficzne okoliczności wypadków w różnych warunkach oświetlenia

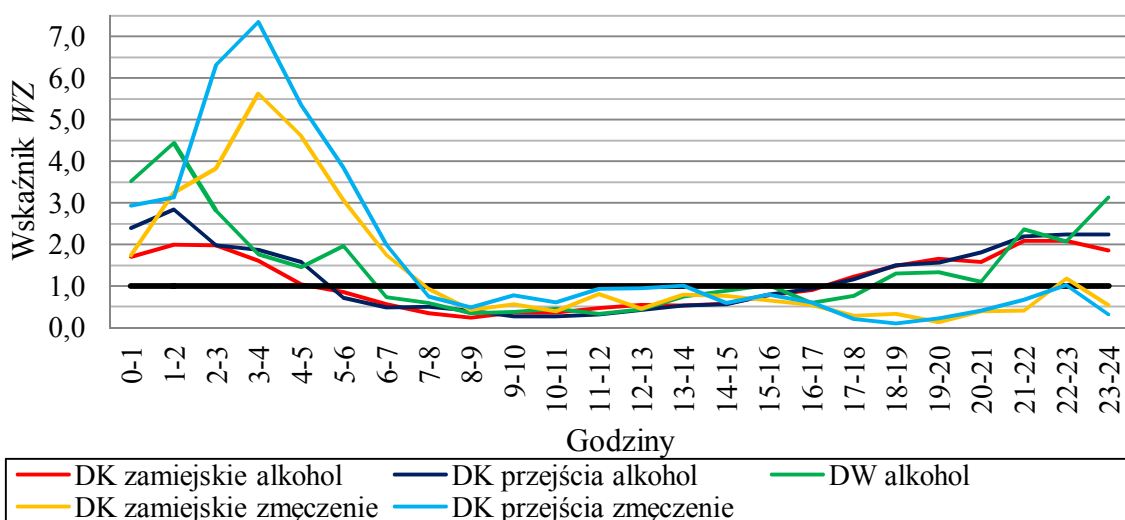
Wśród wielu specyficznych, niezwiązanych z infrastrukturą drogową, uwarunkowań ruchu mogących mieć wpływ na jego bezpieczeństwo w nocy, ważną rolę odgrywają te, które są związane bezpośrednio z percepcją drogi oraz przetwarzaniem informacji. Należą do nich m.in. wiek uczestników ruchu, ich nietrzeźwość, a także zmęczenie lub zaśnięcie. Te trzy czynniki wybrano do analiz ich powiązania z bezpieczeństwem ruchu w różnych porach doby.

Nietrzeźwość jest wymieniana jako jedna z przyczyn wypadków i jest rejestrowana w statystykach wypadkowych. Średnio w kraju w ostatnich latach ok. 9% wypadków związanych jest z nietrzeźwością ich sprawców. Przedmiotem podjętych analiz była ocena udziału tej okoliczności wypadków w różnych porach doby, a szczególnie w nocy. Oczekiwano, że w nocy ten udział będzie większy, gdyż jest to pora doby, w której dochodzi do sumowania się niekorzystnych efektów ograniczeń widoczności z pogorszoną sprawnością nietrzeźwego uczestnika ruchu, co drastycznie zwiększa prawdopodobieństwo wypadku. Zmęczenie lub zaśnięcie jest rzadziej niż alkohol (na drogach krajowych w ok. 3,5% wypadków, a na wojewódzkich jedynie w kilku wypadkach) wskazywane jako przyczyna wypadków. Istnieje jednak uzasadnione przypuszczenie częstszego występowania tej okoliczności w nocy ze względu na rytm biologiczny człowieka.

Powyższe przypuszczenia znajdują potwierdzenie w danych statystycznych, co ilustruje pokazana na rys. 4.6 dobową zmienność wskaźnika WZ , którego ogólną formułę podaje wzór (2.14). W przedmiotowych analizach wskaźnik WZ wyrażony jest wzorem:

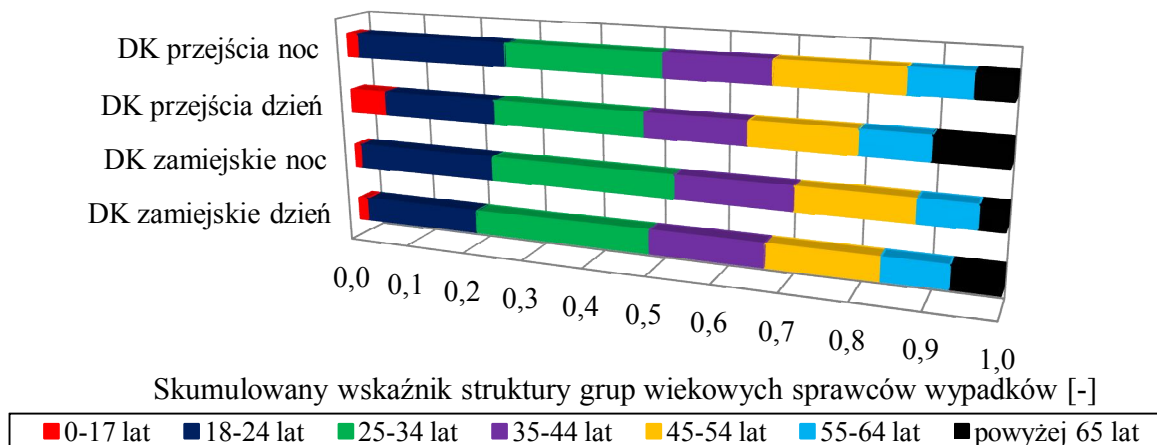
$$WZ = \frac{LW_{konkretna_przyczyna}^{godzina_analizy} / LW_{wszystkie_wypadki}^{godzina_analizy}}{LW_{konkretna_przyczyna}^{doba} / LW_{wszystkie_wypadki}^{doba}} \quad (4.8)$$

Zagrożenie wypadkiem w wyniku zmęczenia lub zaśnięcia kierowcy drastycznie wzrasta po północy i jest bardzo wysokie aż do godziny 7:00. Maksymalny udział wypadków pod wpływem alkoholu przypada na godziny 0:00-2:00.



Rys. 4.6. Porównanie relatywnego ryzyka wypadku pod wpływem alkoholu oraz z wyniku zmęczenia lub zaśnięcia w kolejnych godzinach doby.

Ze względu na ograniczenia w dostępie do pełnej bazy danych wypadkowych, analizowano strukturę wiekową sprawców wypadków tylko na drogach krajowych. Uwzględniono przy tym podział na zbiory wypadków rejestrowanych w okresie „dnia” i „nocy”. Celem analiz było rozstrzygnięcie, czy struktura wiekowa sprawców wypadków w „nocy” różni się od takiej struktury w okresie „dnia” i czy jako problem należy traktować udział starszych osób w ruchu nocnym. Pod uwagę brano wszystkie wypadki, niezależnie czy sprawcą był kierowca, czy pieszy. Wyniki analiz zaprezentowano na rys. 4.7.



Rys. 4.7. Porównanie struktury wieku sprawców wypadków w przyjętych okresach doby.

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że największy istotny statystycznie wzrost udziału sprawców wypadków w nocy w stosunku do okresu światła dziennego występuje w grupie wiekowej 18-24 lata. Może to świadczyć o niewystarczającym doświadczeniu tej grupy uczestników ruchu do poruszania się w warunkach nocnych ograniczeń widoczności a także o przeszacowywaniu swoich umiejętności. Ponadto istotny statystycznie jest również wzrost udziału w wypadkach sprawców w wieku od 45 do 54 lat na przejściach drogowych przez miejscowości.

Udział grupy wiekowej powyżej 65 lat wśród sprawców wypadków w „nocy” wykazał istotny statystycznie spadek w stosunku do okresu „dnia” i był najmniejszy spośród wszystkich grup wiekowych ponad 17 lat. Brak jest danych o udziale tej grupy wiekowej w ruchu nocnym, ale można zaryzykować stwierdzenie, że starsze osoby, dzięki doświadczeniu i bardziej zachowawczemu stylowi jazdy, nie są głównym źródłem zagrożeń bezpieczeństwa ruchu w nocy w grupie kierujących pojazdami.

4.7. Określenie potencjalnego wpływu tzw. „czynnika ludzkiego” na występowanie wypadków drogowych w nocy

Jednym z podstawowych celów pracy jest poszukiwanie wpływu infrastruktury drogowej na zagrożenie wypadkowe w nocy. Takie poszukiwanie jest utrudnione ze względu na złożoność okoliczności wypadków, na które składają się również czynniki osobowe, demograficzne, związane z pojazdem, a także z regulacjami prawnymi i nadzorem nad ruchem. Z analiz wykonanych w rozdz. 4.6 wynika, że w okresie nocy, a szczególnie po godzinie 23:00, dużą rolę w występowaniu wypadków odgrywa tzw. „czynnik ludzki”. Trudno bowiem oszacować wpływ infrastruktury drogowej na wypadki pod wpływem alkoholu lub w wyniku zmęczenia czy zaśnięcia. Można przypuszczać, że dla kierowcy

będącego pod wpływem alkoholu jazda po prostym odcinku drogi jest łatwiejsza niż jazda po łuku lub przejazd przez skrzyżowanie. Z drugiej jednak strony różnorodność elementów geometrycznych dróg (w tym łuków i skrzyżowań) powinna sprzyjać wzrostowi koncentracji i obniżać poczucie zmęczenia. Istnieje możliwość, że wyposażenie dróg może częściowo „wybaczać” kierowcom nawet tak oczywiste błędy, jak jazda pod wpływem alkoholu czy zaśnięcie podczas prowadzenia pojazdu. Trudno jest jednak oszacować ewentualny stopień takiej kompensacji. Brakuje szczegółowych badań na ten temat.

Wyniki analiz z rozdz. 4.6 znajdują potwierdzenie w statystykach dotyczących okoliczności wypadków w godzinach 23:00-4:00 (tabl. 4.3). Ok. 45% wypadków w tym okresie było związanych przynajmniej z jedną z trzech przyczyn: alkoholem, zmęczeniem bądź zaśnięciem lub młodym wiekiem sprawcy.

Tabl. 4.3. Udział wybranych okoliczności wypadków w okresie tzw. „głębokiej nocy”, tj. w godzinach 23:00-4:00, na drogach krajowych.

Okoliczność	liczba wypadków		udział wypadków w godz. 23:00-4:00 [%]
	23:00-4:00	cała doba	
Razem	4454	48044	9,3
zmęczenie lub zaśnięcie kierowcy	457	1660	27,5
sprawca w wieku 18-24 lat	1205	8948	13,5
sprawca pod wpływem alkoholu	736	4238	17,4
min. jedna ze wskazanych okoliczności	1996	13672	14,6

Rola infrastruktury wśród determinant wypadków w okresie tzw. „głębokiej nocy” jest mocno ograniczona. W związku z tym podejmując próbę oceny wpływu infrastruktury drogowej na wypadkowość w nocy, można przyjąć dwa sposoby postępowania, zmierzające do minimalizacji wpływu „czynnika ludzkiego”:

- Odrzucić z analiz wypadki silnie związane z czynnikami osobowymi, wskazanymi w tabl. 4.3,
- Przeprowadzić oddzielne analizy w okresie nocy przed godziną 23:00, kiedy potencjalny wpływ czynników ludzkich powiązanych ze zmęczeniem, alkoholem itp. jest mniejszy.

Wskazane sposoby analiz powinny wpłynąć na wzrost wiarygodności modeli predykcji wypadków, w których zmiennymi objaśniającymi są dane drogowo-ruchowe. Takie próby oczywiście nie oznaczają, że w zredukowanym zbiorze wypadków pozostaną jedynie te bezpośrednio związane z wpływem infrastruktury drogowej. Niemożliwa jest bowiem całkowita eliminacja wpływu pozostałych czynników, w związku z czym z góry należy przyjąć, że analizy modelowe będą charakteryzowały się pewnym błędem.

Podczas studiów literatury nie spotkano się z pracami, w których byłby podjęty jeden ze wskazanych powyżej sposobów analiz.

4.8. Relatywne zagrożenie wypadkami w okresie nocy

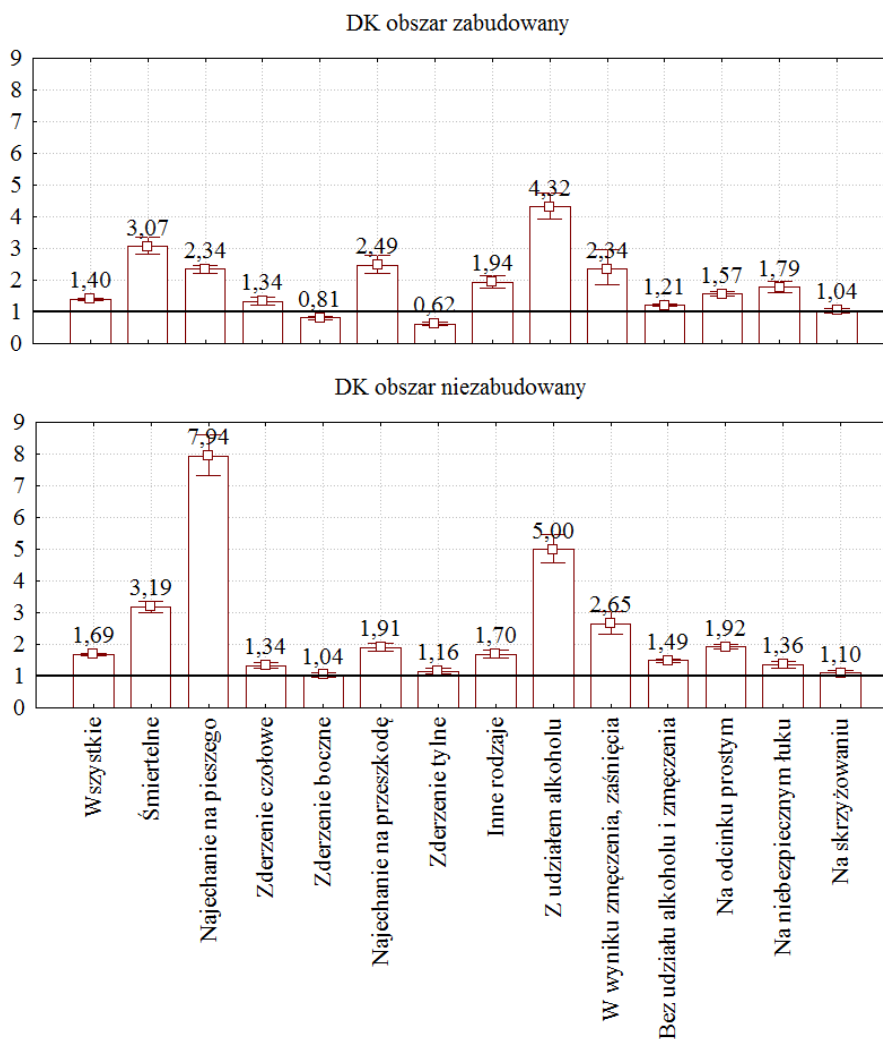
Zarówno wyniki badań zagranicznych opisanych w rozdz. 2.3, jak i dotychczas przedstawione godzinowe wahania wskaźników zagrożenia wskazują, że również na polskich drogach należy spodziewać się wzrostu zagrożenia wypadkowego w „nocy” w stosunku do okresu „dnia”. Znając strukturę wypadków w różnych porach doby, można wysnuć również hipotezę o wyższym zagrożeniu niektórymi typami lub okolicznościami wypadków w warunkach nocnych ograniczeń widoczności w stosunku do pory doby. W celu weryfikacji tych przypuszczeń i oszacowania skali takiego zagrożenia podjęto analizy z wykorzystaniem relatywnych wskaźników opisanych w rozdz. 2.

Zagrożenie wypadkami w nocy w stosunku do okresu światła dziennego zostało oszacowane w odniesieniu do miary wystawienia na ryzyko, jaką jest natężenie ruchu. W tym celu konieczna jest wiedza o udziale pojazdów poruszających się w obu tych okresach. Udziały te zostały oszacowane na podstawie danych z losowo wybranych 120 pomiarów. Pomiarów te wybrano z bazy 1334 całodobowych pomiarów prędkości i odstępów między pojazdami (szerzej opisanej w rozdz. 6.1). W oparciu o oddzielne pomiary natężenia oświetlenia przy pomocy luksomierza w dobrych warunkach atmosferycznych o świcie i zmierzchu przyjęto, że okres nocny zaczyna się 45 minut po zachodzie słońca, a kończy 45 minut przed wschodem. Początek okresu światła dziennego następuje natomiast 15 minut po wschodzie słońca, a koniec 15 minut przed zachodem. Dla każdego miesiąca w roku określono średnią godzinę wschodu i zachodu słońca na podstawie danych z [44]. Znając ramy czasowe przedmiotowych okresów doby wyznaczono udziały natężeń ruchu dla każdego miesiąca, a następnie skorygowano je o współczynniki wahań sezonowych (tabl. Z4.1 w załączniku nr 1) zgodnie z [92,93]. Na podstawie tych analiz stwierdzono, że średnio w ciągu roku 68,98% ruchu odbywa się przy świetle dziennym, a 22,52% w nocy.

Wskaźniki zagrożenia WZ wyznaczono za pomocą ogólnego wzoru (2.14), który w przypadku opisywanych analiz przyjmuje postać:

$$WZ = \frac{LW^{noc} / Q^{noc}}{LW^{dzien} / Q^{dzien}} \quad (4.9)$$

95% przedziały ufności WZ przyjmują wartości zgodnie ze wzorem (2.21). Wyniki oszacowań wskaźnika przedstawiono na rys. 4.8. Kwantyfikacji wskaźników nie przeprowadzono na drogach wojewódzkich Małopolski z uwagi na brak dostępnej wiedzy o udziale natężenia ruchu w poszczególnych okresach doby.



Rys. 4.8. Wskaźniki zagrożenia wypadkowego związanego z nocą wraz z 95% przedziałami ufności dla różnych typów i okoliczności wypadków.

Zgodnie z przypuszczeniami analizy wykazały wzrost zagrożenia wypadkami w nocy o ok. 40% w obszarze zabudowanym oraz ok. 70% poza zabudową. Ryzyko wypadku śmiertelnego wzrasta ok. 3-krotnie w ciemności. Wzrost zagrożenia wypadkami z pieszymi jest szczególnie wysoki na zamiejskich odcinkach dróg. Ograniczenia widoczności wpływają również na ryzyko najeżdżania na przeszkodę, szczególnie na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości. Potwierdził się również wskazywany we wcześniejszych analizach danych o wypadkach spadek zagrożenia wypadkami typu „pojazd-pojazd”. Istotnie wysoki jest wzrost udziału tzw. „czynnika ludzkiego”, tzn. alkoholu oraz zmęczenia lub zaśnięcia kierowcy, jako okoliczności wypadku. Wypadki niezwiązane z tego typu błędami zdarzają się w nocy „jedynie” o 20-50% częściej niż przy świetle dziennym. W obrębie zabudowy nocą wzrasta o ok. 80-90% ryzyko wypadku na niebezpiecznym łuku, a poza zabudową na odcinku prostym. Brak naturalnego oświetlenia ma niewielki wpływ na występowanie wypadków na skrzyżowaniach, gdyż wraz z ciemnością maleje natężenie ruchu i jednocześnie wystawienie na ryzyko zdarzeń typu „pojazd-pojazd”, najczęściej występujących na przecięciu się dróg.

Przeprowadzono również oddzielne badania przy pomocy tego samego wskaźnika z uwzględnieniem obecności lub braku sztucznego oświetlenia. W tym celu konieczna była

wiedza o sztucznym oświetleniu, niemożliwa do uzyskania z samych baz danych o wypadkach. Informacje o sztucznym oświetleniu pozyskano z własnej z bazy danych o 270 odcinkach niebezpiecznych. Ze względu na ograniczenie wielkości zbioru danych, wyniki oszacowań mogą charakteryzować się większym błędem, dlatego wyciągnięto z nich jedynie następujące ogólne wnioski:

- Na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości obecność sztucznego oświetlenia poprawia bezpieczeństwo jedynie o ok. 15% w stosunku do jego braku;
- Występowanie sztucznego oświetlenia na drogach poza zabudową w znacznym stopniu wpływa na wzrost bezpieczeństwa ruchu, obniżając wskaźnik zagrożenia około 2-krotnie; Przypuszczalnie związane jest to z lepszą dostrzegalnością pieszych i przeszkód bocznych.

Korzystając z metody „ilorazu szans” *IS* zaproponowanej przez Johanssona z zespołem [52] przeprowadzono analizy skali zagrożenia wypadkowego w nocy, których głównym założeniem była próba minimalizacji wpływu innych czynników poza oświetleniem. Jako cel badań obrano określenie ryzyka wypadku w godzinach porannych oraz wieczornych. Godziny analizy oraz godziny porównawcze podstawiane do wzoru (2.17) zestawiono w tabl. 4.4. Analizę przeprowadzono w godzinach, które w odpowiednio dobranych równych okresach w ciągu roku przypadają na „dzień” lub „noc”. Godziny porównawcze umożliwiają minimalizację wpływu sezonowości ruchu na szacowane zagrożenie wypadkowe. Do badań włączono również drogi wojewódzkie Małopolski w okresie wieczornym, gdyż w porannych godzinach analizy mała liczebność wypadków nie zapewniała wiarygodności oszacowań.

Tabl. 4.4. Zestawienie parametrów trzech analizowanych przypadków wraz z ich wartościami „ilorazów szans” na podstawie metody zaczerpniętej z [52].

	Drogi krajowe – godziny poranne			Drogi krajowe – godziny wieczorne			Drogi wojewódzkie – godziny wieczorne		
	okres	wypadki		okres	wypadki		okres	wypadki	
		11.05- 31.07	12.11- 31.01		11.05- 31.07	12.11- 31.01		6.05- 11.08	1.11- 06.02
godzina analizy	5.00- 6.00	360	296	17.00- 19.00	1313	1689	17.00- 19.00	93	112
godzina porównawcza	8.00- 15.00	4219	3286	8.00- 15.00	4219	3286	8.00- 15.00	261	265
Wskaźnik <i>IS</i>		1,06		1,65		1,19			
przedział ufności 95%	dolny	0,91		1,54		0,86			
	górnny	1,24		1,77		1,51			

Badania wykazały, że spadek bezpieczeństwa związany z brakiem naturalnego oświetlenia dotyczy przede wszystkim godzin wieczornych. Dzieje się tak głównie ze względu na utrzymujące się jeszcze co najmniej do godz. 19:00-20:00, bez względu na porę roku, duże natężenia ruchu, będące bezpośrednią miarą wystawienia na ryzyko. Ponieważ profil natężenia ruchu nie zależy od zmieniających się w ciągu roku godzin wschodu i zachodu słońca, można przyjąć, że oszacowana wartość wskaźnika *IS* jest w dużej mierze determinowana przez oświetlenie. Oszacowano, że na drogach krajowych występuje ok. 65%, a na wojewódzkich Małopolski ok. 20% wzrost zagrożenia wypadkowego, związany z ograniczeniem widoczności w godzinach wieczornych w okresie „zimowym”.

4.9. Wnioski z analiz danych o wypadkach

Przeprowadzone analizy danych statystycznych o wypadkach na drogach o różnych funkcjach, pozwalają na sformułowanie uwag i wniosków o charakterze ogólnych informacji, a także wyznaczających kierunki dalszych prac, w tym związanych z identyfikacją wpływu czynników infrastrukturalnych na zagrożenia wypadkami w warunkach nocnych ograniczeń widoczności. W odniesieniu do wpływu nocnych ograniczeń widoczności na zagrożenia bezpieczeństwa ruchu stwierdzono, że:

- Częstość występowania wypadków w nocy odniesiona do natężenia ruchu jest w zależności od lokalizacji i funkcji drogi oraz przedziału godzin w „nocy” 1,0-2,2 razy większa niż w „dzień”. Okresem o największym, relatywnym zagrożeniu wypadkami w nocy jest przedział godzin 17:00-3:00;
- Na przejściach drogowych przez miejscowości oraz na drogach wojewódzkich Małopolski relatywny wzrost zagrożenia bezpieczeństwa ruchu w grupie pojazdów w nocy dotyczy kierujących samochodami osobowymi, a poza terenami zabudowy kierujących samochodami ciężarowymi. Może to być powiązane z rosnącym udziałem samochodów ciężarowych w ruchu nocnym i prawdopodobnym wpływem zmęczenia kierujących tymi pojazdami;
- Grupą uczestników ruchu szczególnie narażoną na wzrost ryzyka wypadku w nocy są piesi. Relatywny (bez uwzględnienia różnic natężeń ruchu pieszego) wskaźnik zagrożenia wypadkami tej grupy uczestników ruchu w nocy wynosi 2,34 w przypadku dróg w terenie zabudowanym i aż 7,94 na zamiejskich drogach krajowych;
- Obok wzrostu zagrożenia wypadkami w nocy, wzrasta również ryzyko poniesienia śmierci w takich wypadkach. Wartość wskaźnika ciężkości wypadków w nocy wzrasta 1,5-2 razy w przypadku obecności sztucznego oświetlenia oraz 2-3,5 razy bez takiego oświetlenia. Ponadto zagrożenie śmiercią w wypadkach na drogach krajowych w nocy jest ok. 1,7-krotnie większe poza zabudową niż w miejscowościach, czego przyczynami mogą być: gorsza widoczność, większa prędkość przy mniejszych natężeniach ruchu, zmęczenie, spadek koncentracji uwagi oraz zjawisko olśnienia;
- Obecność sztucznego oświetlenia łagodzi skutki wypadków, tzn. powoduje spadek wskaźnika ciężkości wypadków, szczególnie poza zabudową;
- Struktura wypadków w „nocy” w stosunku do okresu „dnia” charakteryzuje się bardzo dużym wzrostem udziału zdarzeń z pieszymi i pojedynczymi pojazdami przy rzadszym występowaniu wypadków typu „pojazd-pojazd”. Uwagę zwraca kilkukrotny wzrost częstości zdarzeń z pieszymi na drogach zamiejskich, pomimo potencjalnie małych natężeń ruchu pieszych;
- Wbrew przypuszczeniom nie zaobserwowano w żadnej grupie dróg wzrostu udziału niedostosowania prędkości do warunków ruchu jako okoliczności wypadków w nocy;
- Znaczny wzrost częstości występowania wypadków z pieszymi w nocy dotyczy wypadków zarówno w wyniku błędu kierowcy, jak i pieszego;
- Wśród przyczyn wypadków w „nocy” istotną rolę odgrywa nietrzeźwość (4-5-krotny wzrost zagrożenia) oraz zmęczenie sprawców wypadków (2,5-krotny);

- Duży udział wśród sprawców wypadków w „nocy” osób z grup wiekowych 18-24 i 25-34 lat może świadczyć o niewystarczającym doświadczeniu młodych kierowców do poruszania się w warunkach nocnych ograniczeń widoczności, a także o przeszacowywaniu swoich umiejętności;
- Spadek udziału grupy wiekowej powyżej 65 lat wśród sprawców wypadków w nocy może być efektem mniejszego udziału kierowców z tej grupy w ruchu nocnym, ale również doświadczeniem i bardziej zachowawczym stylem jazdy;
- Szacowane za pomocą wskaźników relatywnych zagrożenie wypadkowe wzrasta w nocy o 40-70% w stosunku do okresu dnia. W przypadku wypadków śmiertelnych wzrost ten jest ponad trzykrotny. Najbardziej wzrasta zdarzeń zagrożenie wypadkami z pieszymi oraz w wyniku najechania na przeszkodę, a w mniejszym stopniu zagrożenie wypadkami w wyniku zderzenia czołowego. Ryzyko wystąpienia wypadku w wyniku zderzenia bocznego lub tylnego ograniczenie mniej zależy od pory doby.

Z analizy danych statystycznych o wypadkach tylko w niewielkim stopniu można wskazywać na infrastrukturę drogową jako bezpośrednią przyczynę rejestrowanych wypadków w „nocy”. Takiego wpływu nie można jednak pomijać, gdyż może on obejmować:

- Wypadki typu „najechnięcie na pieszego”, których potencjalnymi przyczynami, obok nieprawidłowych zachowań samych pieszych i ograniczeń ich dostrzegalności, mogą być: brak lub nieprawidłowa lokalizacja przejść dla pieszych, fizyczne ograniczenia widoczności przejść, brak urządzeń dla pieszych wzdłuż drogi, nieprawidłowa lokalizacja przystanków autobusowych, słabo dostrzegalne oznakowanie pionowe i poziome, rozwiązania preferujące duże prędkości w strefie przejść dla pieszych, brak oświetlenia w strefach koncentracji pieszych;
- Wypadki typu najechnięcie na przeszkodę, których potencjalnymi przyczynami mogą być: pozostawienie przeszkód zbyt blisko krawędzi drogi bez ich zabezpieczeń, występowanie przeszkód w strefach zwiększonego ryzyka opuszczenia drogi, dopuszczanie zbyt dużych prędkości w strefach występowania przeszkód bocznych;
- Wypadki na łukach poziomych, których potencjalnymi przyczynami mogą być: błędy rozwiązań przekroju poprzecznego, niewystarczające oznakowanie poziome i pionowe, niejednorodność geometryczna drogi (nieoczekiwane pojawianie się łuków o zróżnicowanych parametrach geometrycznych), fizyczne ograniczenia widoczności;
- Wypadki na skrzyżowaniach. W badaniach ujawniła się bardzo duża rola oświetlenia skrzyżowań typu rondo oraz zapewnienia dostatecznie wczesnej dostrzegalności tych skrzyżowań, szczególnie na ciągach dróg z dużymi prędkościami.

5. MODELE PREDYKCJI WYPADKÓW Z UWZGLĘDNIENIEM NOCNYCH OGRANICZEŃ WIDOCZNOŚCI

Studia literatury oraz opis stanu badań na temat wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd, będące przedmiotem rozdziałów 2.1 i 2.3 w połączeniu z analizami danych o wypadkach wraz z określeniem skali zagrożenia wypadkowego w nocy w rozdz. 4 doprowadziły do realizacji pierwszego ramowego celu pracy. Drugim takim celem, będącym przedmiotem niniejszego rozdziału jest: „opis wpływu cech dróg i parametrów ruchu na jego bezpieczeństwo w różnych warunkach oświetlenia przy pomocy narzędzi regresyjnych oraz metod bayesowskich”. W opisie tym główną uwagę poświęcono porównaniom modeli predykcji wypadków odpowiadających różnym warunkom oświetlenia, mając świadomość ograniczeń modeli regresyjnych jako narzędzi prognozowania wskaźników wypadkowych. Obie wyżej wymienione metody wraz z ich uwarunkowaniami i przykładami zostały przedstawione w rozdz. 2.2.

5.1. Bazy danych i założenia do budowy modeli predykcji wypadków

Podstawą do przeprowadzenia analiz wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd było stworzenie baz danych, w których obok danych wypadkowych opisanych w rozdz. 4.1 znalazły się również informacje o natężeniu ruchu jako podstawowej mierze wystawienia na ryzyko oraz o infrastrukturze drogowej. Wiedzę o cechach dróg pozyskiwano na podstawie wizji terenowych polegających na sporządzeniu na całym przedmiotowym odcinku drogi nagrania wykonanego kamerą umieszczoną w pojeździe, skierowaną na prawą stronę jezdni. Nagraniu towarzyszył komentarz dotyczący tych elementów, których określenie na podstawie samego obrazu sprawiałoby trudność (kilometr i hektometr drogi, rodzaj punktu dostępności, ograniczenia prędkości, nazwy miejscowości), występowanie przystanków autobusowych, sztucznego oświetlenia, przeszkód bocznych itp.

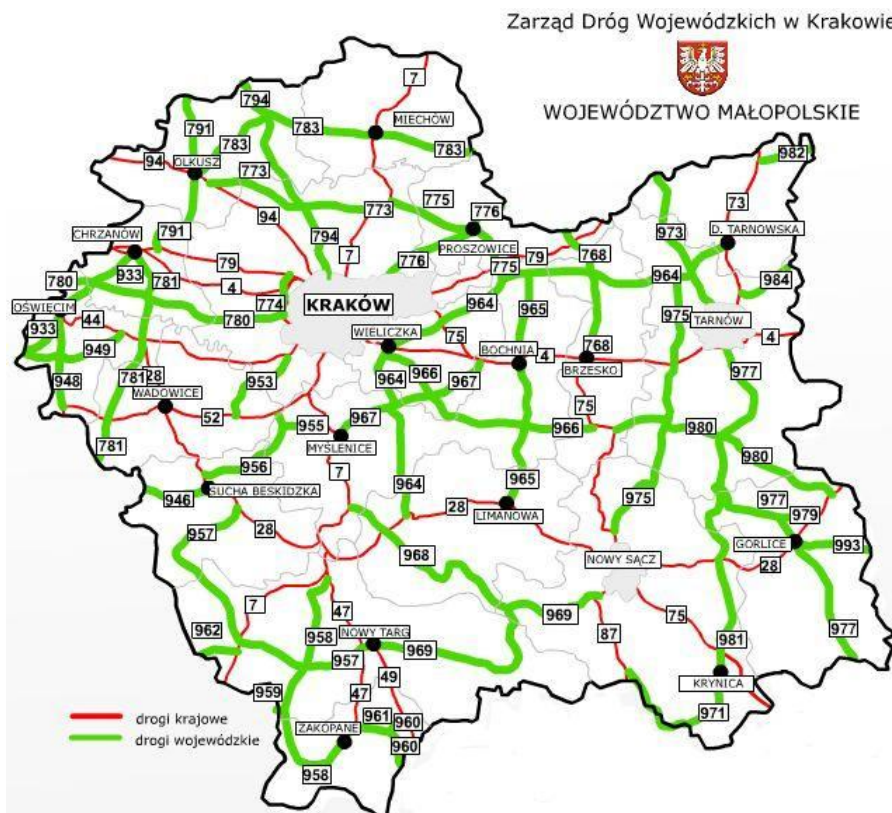
5.1.1. Wybór „odcinków niebezpiecznych”

Objęcie badaniami całej sieci dróg krajowych byłoby niemożliwe ze względu na koszty i czasochłonność. Ponadto włączenie do analiz odcinków, na których nie zanotowano żadnego wypadku, byłoby sprzeczne z metodologią, która zakłada poszukiwanie związków pomiędzy cechami dróg a wypadkami w nocy w porównaniu do okresu światła dziennego. Sprzeczność ta wynika z niemożliwości porównania np. 0 wypadków w „dzień” i 0 wypadków w „nocy”. Założono, że miarodajność porównania wskaźników wypadkowych w obu przedmiotowych okresach wzrasta wraz ze wzrostem liczby wypadków na konkretnych odcinkach dróg.

Powyższe czynniki zdecydowały, że analizy ograniczono do tzw. „odcinków niebezpiecznych”, tzn. jednorodnych o wysokiej gęstości wypadków. Odcinki wyselekcjonowano na wybranych drogach krajowych klasy G i GP, zapewniających

wystarczające zróżnicowanie regionalne, aby móc reprezentować całą sieć zarządzaną przez Generalną Dyрекcyję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA).

Na sieć znajdującą się w gestii Zarządu Dróg Wojewódzkich w Krakowie składają się drogi klasy Z i G o łącznej długości 1371,9 km. „Odcinki niebezpieczne” na tych drogach zostały wyselekcjonowane po uprzedniej inwentaryzacji całej sieci tych dróg, która na rys. 5.1 oznaczona została kolorem zielonym.

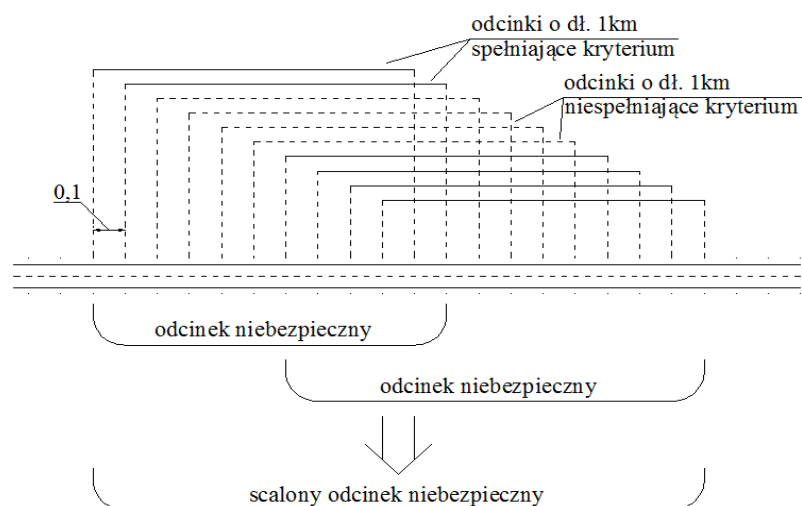


Rys. 5.1. Sieć dróg wojewódzkich województwa małopolskiego zaczerpnięta z [50]

Jednorodność odcinków dotyczyła rodzaju przekroju poprzecznego, lokalizacji i prędkości dopuszczalnej. Kryterium klasyfikującym dany fragment drogi jako niebezpieczny była gęstość wypadków na tym odcinku większa lub równa od podwójnej średniej gęstości szacowanej w odniesieniu do drogi krajowej lub wojewódzkiej, na których usytuowany jest analizowany odcinek. Gęstość dotyczyła wszystkich wypadków, które znajdowały się w bazach opisanych w rozdz. 4.1, tzn. z lat 2005-09 na drogach krajowych i 2007-10 na drogach wojewódzkich Małopolski. Brano również pod uwagę łagodniejsze kryterium, tzn. 1,5 średniej gęstości, jednak takie założenie spowodowałoby znaczny wzrost liczby odcinków niebezpiecznych i spadek ich znaczenia. Na każdej z dróg krajowych, ze względu na niejednorodność rozwiązań w zakresie utrzymania i środków organizacji ruchu w różnych oddziałach GDDKiA, średnia gęstość wypadków wyznaczana była oddzielnie w obrębie każdego województwa.

Pierwszym etapem selekcji był podział każdej drogi na odcinki o długości 1 km z krokiem 0,1 km i przyporządkowanie do każdego fragmentu drogi odpowiedniej liczby wypadków. Następnie na każdej z dróg krajowych obliczona została gęstość wypadków jako średnia arytmetyczna liczby wypadków ze wszystkich kilometrowych odcinków. W kolejnym kroku zostały odrzucone odcinki niespełniające opisanego powyżej kryterium podwójnej

średniej gęstości wypadków. W przypadku, gdy odcinki częściowo się pokrywały lub bezpośrednio przylegały do siebie, scalane były w jeden odcinek (rys. 5.2). Efektem opisanych działań jest powstanie odcinka, który przyjmowano za tzw. „odcinek niebezpieczny”. Taki odcinek podlegał następnie weryfikacji ze względu na opisany powyżej wymóg jednorodności. W wyniku takiego sprawdzenia odcinek pierwotnie niejednorodny mógł zostać podzielony na mniejsze jednorodne z ponownym sprawdzeniem kryterium podwójnej gęstości na każdym z fragmentów powstałych w wyniku podziału. W ten sposób niektóre odcinki niebezpieczne są krótsze niż 1 km.



Rys. 5.2. Graficzna interpretacja tzw. „odcinka niebezpiecznego”.

Przy pomocy opisanego powyżej sposobu wyselekcjonowano 270 (112 w obszarze zabudowanym i 158 poza zabudową) odcinków niebezpiecznych o łącznej długości 256,6 km na drogach krajowych oraz 198 (128 w obrębie zabudowy i 70 poza nią) o łącznej długości 226,6 km na drogach wojewódzkich Małopolski. Łącznie ze względu na grupę dróg, obszar oraz okres doby wyodrębniono 18 baz danych. Zestawienia ogólnych wskaźników wypadkowych obliczonych według wzorów (2.23), (2.24) i (2.25) dla wszystkich wymienionych baz odcinków niebezpiecznych przedstawiono w tabl. 5.1 i tabl. 5.2.

Tabl. 5.1. Zestawienie wartości wskaźników wypadkowych w różnych porach doby na najbardziej niebezpiecznych 270 odcinkach dróg krajowych.

baza			liczba odcinków	długość [km]	l. wypadków [szt./lat analizy]	średnie natężenie [P/okres]	D_w	D_w^*	U_w	W_z	W_z^*
obszar	okres	symbol									
zabudowany	doba	DK-Z-DO	112	103	946	11327	1,8	1,8	0,444	0,90	0,90
	noc	DK-Z-NO			370	2529	0,7	1,6	0,778	0,75	1,12
	dzień	DK-Z-DZ			483	7883	0,9	2,0	0,326	0,55	0,81
niezabudowany	doba	DK-NZ-DO	158	153,6	1120	10914	1,5	1,5	0,366	0,73	0,73
	noc	DK-NZ-NO			491	2437	0,6	1,4	0,719	0,68	1,02
	dzień	DK-NZ-DZ			501	7595	0,7	1,4	0,235	0,39	0,57
całość	doba	DK-C-DO	270	256,6	2066	11080	1,6	1,6	0,398	0,80	0,80
	noc	DK-C-NO			861	2474	0,7	1,5	0,743	0,71	1,06
	dzień	DK-C-DZ			984	7710	0,8	1,6	0,273	0,46	0,67

Uwagę zwraca najwyższa we wszystkich grupach dróg, niezależnie od zabudowy, wartość względnego wskaźnika wypadkowości U_w [wyp/mln poj.km/rok] w nocy. Wskaźnik ten [32] uwzględnia wystawienie na ryzyko w postaci natężenia ruchu. Wskaźniki gęstości

wypadków D_W [wyp/km/rok] i zagrożenia W_Z [-] nie oddają w pełni różnic pomiędzy przedmiotowymi okresami ze względu na różne natężenie ruchu. W celu pokazania tych różnic wprowadzono korektę wskaźników, dzieląc wartość D_W przez udział ruchu w danym okresie oświetleniowym. Skorygowane wskaźniki oznaczono odpowiednio D_W^* i W_Z^* .

Tabl. 5.2. Zestawienie wartości wskaźników wypadkowych w różnych porach doby na najbardziej niebezpiecznych 198 odcinkach dróg wojewódzkich Małopolski.

baza			liczba odcinków	długość [km]	l. wypadków [szt./lat analizy]	średnie natężenie [P/okres]	D_w	D_w^*	U_w	W_z	W_z^*
obszar	okres	symbol									
zabudowany	doba	DW-Z-DO	128	168,5	970	6596	1,4	1,4	0,478	0,83	0,83
	noc	DW-Z-NO			243	1473	0,4	0,8	0,536	0,44	0,66
	dzień	DW-Z-DZ			650	4589	1,0	2,1	0,461	0,67	0,98
niezabudowany	doba	DW-NZ-DO	70	58,1	352	5872	1,5	1,5	0,565	0,93	0,93
	noc	DW-NZ-NO			82	1311	0,4	0,8	0,590	0,46	0,68
	dzień	DW-NZ-DZ			239	4086	1,0	2,2	0,552	0,75	1,10
całość	doba	DW-C-DO	198	226,6	1322	6340	1,5	1,5	0,504	0,86	0,86
	noc	DW-C-NO			325	1416	0,4	0,8	0,555	0,45	0,67
	dzień	DW-C-DZ			889	4411	1,0	2,1	0,487	0,69	1,01

5.1.2. Zbiór zmiennych opisujących infrastrukturę drogową

Do każdego odcinka niebezpiecznego przyporządkowano wypadki, które miały miejsce w jego obrębie wraz z wszystkimi ich cechami. Wypadki i ich cechy na każdym odcinku niebezpiecznym podzielono ze względu na okresy: doby, „dnia” oraz „nocy”. Wybór odcinków niebezpiecznych stworzył możliwość uwzględnienia w bazie danych informacji o infrastrukturze drogowej zebranych podczas opisanych powyżej wizji terenowych. Informacje te obejmują dane na temat:

- długości odcinka,
- zabudowy i obowiązującego limitu prędkości,
- istniejących punktów dostępności (indywidualnych, komercyjnych, polnych), skrzyżowań (3- i 4-wlotowych, z drogą z pierwszeństwem, z sygnalizacją świetlną, o ruchu okrężnym) i dróg gruntowych,
- typu przekroju poprzecznego (pobocza gruntowe, utwardzone, chodniki) i szerokości poboczy,
- liczby pasów ruchu,
- przystanków autobusowych (z zatoką lub bez zatoki),
- przejść dla pieszych (zwykłych, z sygnalizacją, z pulsatorem, z wyspą azylu),
- elementów i środków uspokojenia ruchu (wysp, powierzchni brukowanych rozdzielających kierunki ruchu, zawężeń przekroju poprzecznego, odgięć toru jazdy, progów zwalniających, itp.),
- liczby i rodzaju niebezpiecznych łuków (z tablicami prowadzącymi ciągłymi lub pojedynczymi, z słupkami prowadzącymi),
- środków nadzoru (fotoradarów),
- przeszkód bocznych (punktowych i ciągłych) oraz barier w skrajni lub najbliższym otoczeniu drogi,
- obecności sztucznego oświetlenia,

- segregacji ruchu pieszego i kołowego.

Część z wyżej wymienionych danych dotycząca obiektów znajdujących się poza jezdnią została zestawiona osobno dla obu krawędzi drogi. Większość cech geometrycznych dróg miała charakter dyskretny (np. liczba obiektów), który nie jest miarodajny ze względu na różne długości odcinków niebezpiecznych. Po podzieleniu wartości tych zmiennych przez długość odcinka uzyskiwano reprezentatywne miary w postaci gęstości obiektów.

5.1.3. Bazy danych o natężeniu ruchu

Podstawową zmienną wystawienia na ryzyko, obecną we wszystkich modelach wypadkowych jest natężenie ruchu. Dane na ten temat pozyskano z Generalnych Pomiarów Ruchu 2005 i 2010 [92,93,99] na drogach krajowych oraz wojewódzkich Małopolski. Dane pomiarowe z obu lat ujednolicono, odrzucając kilka odcinków, które zostały gruntownie przebudowane w okresie analizy lub nie istniały w 2005 roku. W badaniach zagrożeń bezpieczeństwa ruchu z uwzględnieniem natężenia jako miary wystawienia na ryzyko, powinno się uwzględniać jego zmienność w kolejnych latach analizy. Ze względu na cel budowy modeli wypadkowych, tj. głównie identyfikację determinant wypadków, a nie ich prognozowanie, zdecydowano się zastosować uśrednione natężenia ruchu w roku, który w przybliżeniu stanowi środek okresu analizy, tj. odpowiednio 2007 dla dróg krajowych oraz 2008 dla dróg wojewódzkich Małopolski. Takie średnie natężenia wyznaczano poprzez interpolację.

Wykorzystano również wiedzę o zmienności natężenia ruchu w ciągu doby i roku (tabl. Z4.1 w załączniku nr 1), co zostało już częściowo opisane w rozdz. 4.8. Wiedza ta dotyczyła jedynie dróg krajowych. Z powodu braku takich informacji na drogach wojewódzkich Małopolski, wprowadzono na nich analogiczne korekty, jak na drogach krajowych. W modelach wypadkowych obejmujących okres „dnia” przyjmowano zatem natężenie ruchu równe 68,98%, a w modelach z okresu „nocy” 22,52% natężenia dobowego podanego w GPR.

Z uwagi na zamierzenie minimalizacji wpływu tzw. „czynnika ludzkiego” na liczbę wypadków podjęto również próby budowy modeli obejmujących okres nocnych ograniczeń widoczności przed godziną 23:00. W tym celu konieczne było określenie, jaka część dobowego natężenia ruchu przypada na ten okres. Trudność takiego określenia polegała na ruchomej w ciągu roku godzinie rozpoczęcia okresu „nocy” oraz na występowaniu sezonowych wahań ruchu. Różną dla każdego dnia w roku godzinę rozpoczęcia okresu nocy zaczerpniętą z [43] uśredniono w każdym miesiącu z dokładnością do 5 minut. Sezonowe wahania ruchu opisane w rozdz. 4.8 (w oparciu o dane z [92,93]) zostały wyrażone przy pomocy wag, właściwych dla okresu letniego, zimowego i wiosenno-jesiennego. W oparciu o powyższe założenia oraz o godzinowy profil natężenia ruchu (zgodnie z założeniami opisanymi w rozdz. 4.8) określono, że 11,81% ruchu odbywa się w nocy przed godziną 23:00 (tabl. Z5.1 w załączniku nr 2). W modelach wypadkowych z okresu nocy przed godziną 23:00 przyjmowano zatem natężenie ruchu mnożąc wartość podaną w GPR przez 11,81%.

Ze względów opisanych w rozdz. 4.1 nie wykonano modeli w okresie zmierzchu i świtu, jednak dane z tego okresu włączono do bazy zawierającej wypadki z okresu całej doby.

5.2. Modele regresyjne

Rozwinięcie baz danych stało się podstawą do budowy modeli regresyjnych zmierzających do identyfikacji cech dróg i parametrów ruchu, które mogą wpływać na jego bezpieczeństwo w różnych warunkach oświetlenia. Metodologię budowy takich modeli opisano w rozdz. 2.2.1. Liczbę wypadków i pozostałe wskaźniki wypadkowe opisano w modelach regresyjnych jako funkcyjne zależności od zbioru zmiennych drogowo-ruchowych według wzoru (2.1) uogólnionego do postaci (2.2) [49].

Dzięki monotoniczności i różniczkowalności funkcji g w uogólnionym modelu liniowym (2.2) zdefiniowano odwrotną do niej funkcję f (5.1), która wiąże wartość oczekiwaną zmiennej zależnej ze zmiennymi niezależnymi.

$$f(\mu_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j \cdot x_{ji}, \quad i=1, 2, \dots, n \quad (5.1)$$

gdzie:

- μ_i – wartość oczekiwana zmiennej zależnej wyliczona dla funkcji wiążącej,
- x_{ji} – obserwowane nielosowe zmienne niezależne,
- β_j – nieznanne parametry modelu, współczynniki kierunkowe przy zmiennych.

Funkcja f nazywana jest funkcją wiążącą i w zależności od założonego rozkładu zmiennej y może przyjmować różne postaci. Ponieważ liczba wypadków i pozostałe wskaźniki wypadkowe nie mogą przyjmować wartości ujemnych, jako funkcję wiążącą w modelach predykcji tych wskaźników przyjęto funkcję logarytmiczną. Założono również, że zdarzenia wypadkowe są opisane rozkładem Poissona. Po przekształceniu wzoru (5.1) przy zastosowaniu funkcji logarytmu naturalnego ($\ln \mu$) otrzymano postać modelu:

$$\mu_i = \exp\left(\beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j \cdot x_{ji}\right), \quad i=1, 2, \dots, n \quad (5.2)$$

Współczynniki β_j zawarte w uogólnionym modelu liniowym oszacowano przy pomocy metody największej wiarygodności.

Do oceny istotności parametrów modelu w programie STATISTICA PL 7.1 [49,82] wykorzystano test Walda oraz wartość prawdopodobieństwa testowego p . Statystyka Walda (W) weryfikuje hipotezę zerową $H_0: \beta_j = 0$ i ma rozkład chi-kwadrat z 1 stopniem swobody. Istotność tej statystyki powoduje odrzucenie hipotezy H_0 i oznacza, że j -ta zmienna istotnie wpływa na zmienną zależną. Wartość W obliczano ze wzoru:

$$W = \left(\frac{\beta_j}{\sigma_{\beta_j}}\right)^2 \quad (5.3)$$

gdzie:

- β_j - estymatory parametrów oszacowane metodą największej wiarygodności,
- σ_{β_j} - oceny błędów standardowych estymatorów parametrów.

Wartość prawdopodobieństwa testowego p oznacza poziom istotności zmiennej w modelu. Jeśli p jest mniejsze od granicznego, akceptowalnego poziomu istotności α , to zmienna jest uważana za istotną w modelu. W większości przypadków przyjmowano wartość $\alpha = 0,05$, a dla niektórych zmiennych, których obecność w modelu wynika z jego fizycznej interpretacji wystawienia na ryzyko, zakładano łagodniejszy poziom istotności $\alpha = 0,1$.

Ponieważ wariancja zmiennej losowej jest opisana przez rozkład Poissona, oszacowanie dopasowania modelu do obserwowanych danych zrealizowano przy pomocy zmodyfikowanego (w stosunku do R^2) współczynnika korelacji wielowymiarowej [30] obliczanego ze wzoru:

$$R_p^2 = \frac{R^2}{p^2} \quad (5.4)$$

gdzie:

- R^2 - współczynnik korelacji wielowymiarowej,
- p^2 - współczynnik korygujący obliczony wg wzoru (5.5).

Współczynnik korygujący p^2 (5.5) wyraża udział wyjaśnianej wariancji zmiennej zależnej idealnie dobranego i oszacowanego modelu [30].

$$p^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{y}_i}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5.5)$$

W ostatnim etapie weryfikacji uogólnionego modelu regresji liniowej przy pomocy programu STATISTICA PL 7.1 [49,82] przeprowadzono analizę reszt obejmującą reszty surowe i reszty Pearsona. Przy pomocy wykresów wartości obserwowanych, przewidywanych, reszt i statystki Cooka poszukiwano wartości obserwowanych mających nadmierny wpływ na estymatory parametrów (wartości odstające).

Na podstawie znajomości czynników wpływających na brd, przeglądu stosowanych dotychczas modeli predykcji wypadków oraz zebranych danych o charakterystyce dróg i wypadkach, zestawiono potencjalne zmienne:

- zależne (objaśniane), tzn. wskaźniki wypadkowe,
- niezależne (objaśniające), tzn. zmienne drogowo-ruchowe mające wpływ na wskaźniki wypadkowe.

5.2.1. Opis zmiennych niezależnych

Na wstępnym etapie wyselekcjonowano wiele zmiennych niezależnych, co do których istniało fizyczne uzasadnienie, że mogą mieć istotny wpływ na wypadkowość, lub ich rola różni się w zależności od warunków oświetlenia. Zmienne te podzielono na ilościowe i jakościowe. Pierwsza grupa to wielkości o charakterze ciągłym. Zmienne jakościowe mają charakter dyskretny, tzn. przyjmują pewną skończoną liczbę wartości. Niektóre zmienne jakościowe zostały utworzone poprzez dyskretyzację zmiennych ilościowych. Istotny w tym

przypadku był odpowiedni dobór zakresu wartości przyjmowanych przez te zmienne z uwzględnieniem liczebności próby oraz potencjalnego wpływu na zmienną zależną.

Przyjęta predykcja wypadków często oparta jest na modelu wystawienia na ryzyko opisanym w pracy [22]. W modelu tym zakłada się, że liczba zdarzeń drogowych (LW) jest iloczynem pojedynczego ryzyka zdarzenia (p) i liczby sytuacji (N), w których takie ryzyko może się pojawić:

$$\text{Liczba zdarzeń } (LW) = \text{wystawienie na ryzyko } (N) \cdot \text{skala wypadkowa } (p) \quad (5.6)$$

W przypadku estymacji ofiar wypadków trzecim członem iloczynu w powyższym równaniu jest, zgodnie z pracą Jamroza [51], poziom strat w zdarzeniach niebezpiecznych, będący funkcją skutku takiego zdarzenia. Model ten przyjmuje wówczas postać:

$$\text{Liczba ofiar wypadków } (LO) = \text{wystawienie na ryzyko } (N) \cdot \text{skala wypadkowa } (p) \cdot \dots \cdot \text{funkcja skutku zdarzenia drogowego } (s) \quad (5.7)$$

Jako podstawowe miary wystawienia na ryzyko przyjmuje się natężenie ruchu oraz długość odcinka. Obok nich w modelach pojawiają się inne parametry mogące mieć wpływ na lepsze objaśnienie zmiennej zależnej w modelu. Poniżej przedstawiono wszystkie analizowane zmienne niezależne ilościowe i jakościowe:

- 1) Długość L [km] – długość danego odcinka jednorodnego w kilometrach. Minimalna długość odcinka w zbudowanych bazach danych to 0,3 km, a maksymalna 7,6 km;
- 2) Natężenie N ruchu pojazdów w roku 2007 (drogi krajowe) lub 2008 (drogi wojewódzkie) [P/okres doby] (wybór roku 2007 lub 2008 wynika z konieczności przyjęcia uśrednionego natężenia ruchu w okresie, z którego pochodzą dane i został szerzej opisany w rozdz. 5.1.3) – natężenie wyrażone w pojazdach na analizowany okres (dzień, noc, doba) obliczone wg metody opisanej w rozdz. 5.1.3. Wartości natężenia dobowego zawierają się w przedziale <2399; 22159> na drogach krajowych oraz <1499; 17137> na drogach wojewódzkich Małopolski;
- 3) Gęstość G [szt./km]
 - a) gęstość punktów dostępności (G_{pd}), indywidualnych punktów dostępności (G_{ipd}), komercyjnych punktów dostępności (G_{kpd}), polnych lub leśnych punktów dostępności (G_{lpd}), dróg gruntowych (G_{dg}) [szt./km],
 - b) gęstość przystanków autobusowych (G_{pa}), przystanków autobusowych z zatoką (G_{pazz}), przystanków autobusowych bez zatoki (G_{pabz}) [szt./km],
 - c) gęstość przejść dla pieszych (G_{pp}), przejść dla pieszych zwykłych (G_{ppz}), przejść dla pieszych z sygnalizacją (G_{pps}), przejść dla pieszych z pulsatorem (G_{ppp}), przejść dla pieszych z wyspą azylu (G_{ppw}) [szt./km],
 - d) gęstość skrzyżowań (G_{sk}), skrzyżowań z sygnalizacją świetlną (G_{skzs}), skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej (G_{skbs}) skrzyżowań typu „rondo” (G_{skr}) [szt./km],
 - e) gęstość przeszkód punktowych do 2m długości włącznie (G_{przp}), przeszkód ciągłych ponad 2m długości bez barier (G_{przc}) [km/km drogi], barier (G_{bar}) [km/km drogi], lasu, tj. drzew w skrajni lub bezpośrednim sąsiedztwie drogi (G_l) [km/km

- drogi], wszystkich przeszkód ciągłych z barierami i lasem (G_{przcw}) [km/km drogi] [szt./km],
- f) gęstość wszystkich niebezpiecznych łuków poziomych (G_{nl}), niebezpiecznych łuków zwykłych z słupkami prowadzącymi U-1a lub U-1b (G_{nlz}), niebezpiecznych łuków z tablicą pojedynczą prowadzącą U-3a lub U-3b (G_{nlzp}), niebezpiecznych łuków z tablicą prowadzącą ciągłą U-3c lub U-3d (G_{nlztc}) jako niebezpieczny określano każdy łuk oznaczony słupkami lub tablicami prowadzącymi [szt./km],
- g) gęstość elementów uspokojenia ruchu (G_{usp}) i wysp pomiędzy pasami jezdni (G_w) [szt./km];
- 4) Krętość $Kręt$ [stopni/ km] krętość drogi jako cecha ilościowa stanowiąca stosunek sumy bezwzględnych wartości kątów zwrotu kierunków trasy drogi wyrażonych w stopniach do długości trasy wyrażonej w kilometrach;
- 5) Typ przekroju poprzecznego – rozróżniono 4 grupy: CH – chodnik (zlokalizowany bezpośrednio przy jezdni), B – pobocze bitumiczne, G – pobocze gruntowe, K – krawężnik. W przypadku obszaru niezabudowanego na drogach krajowych grupy „ CH ” i „ K ” połączono w jedną charakterystykę ze względu na małą liczbę odcinków o wartości „ K ”. W modelach obejmujących drogi wojewódzkie Małopolski połączono grupy „ B ” oraz „ G ” z uwagi na rzadkie występowanie pobocza bitumicznego;
- 6) Segregacja ruchu pieszego SP – zmienna dychotomiczna. W przypadku obecności chodnika w pasie drogowym zlokalizowanego przy jezdni lub oddzielonego od niej uznano, że występuje segregacja ruchu pieszego i zmienna przyjmuje wartość TAK;
- 7) Obecność niebezpiecznego łuku poziomego $WNŁ$, łuku poziomego z słupkami prowadzącymi (U-1a lub U-1b) $WNŁA$, łuku z tablicą pojedynczą prowadzącą (U-3a lub U-3b) $WNŁB$, łuku z tablicą prowadzącą ciągłą (U-3c lub U-3d) $WNŁC$ – zmienna dychotomiczna. Jeżeli na danym odcinku występuje dany niebezpieczny łuk poziomy, to zmienna przyjmuje wartość TAK;
- 8) Występowanie elementów uspokojenia ruchu $USPOK$ – zmienna dychotomiczna. Przyjęto, że jeżeli na odcinku znajdują się elementy oznaczone w bazach inwentaryzacyjnych jako: wyspy, powierzchnie brukowane rozdzielające kierunki ruchu, zawężenia przekroju poprzecznego, odgięcia toru jazdy, itp., to ta zmienna przyjmuje wartość TAK;
- 9) Występowanie przeszkód w przestrzeni drogi $WPRZ$, przeszkód punktowych $WPRZP$, przeszkód ciągłych oraz barier $WPRZC$ – zmienna dychotomiczna;
- 10) Występowanie sztucznego oświetlenia $SZTOŚW$ – zmienna dychotomiczna;
- 11) Limit prędkości – zmienna jakościowa niezależna. Ze względu na prawne ograniczenia prędkości zależne od rodzaju obszaru oraz pory doby zmienna charakteryzująca w sposób jakościowy limit prędkości przyjmuje różne wartości podane w tabl. 5.3. Symbole w tabl. 5.3 oznaczają:
- | | | |
|------|---|---|
| C-DO | - | doba, obszar zabudowany i niezabudowany razem, |
| C-DZ | - | światło dzienne, obszar zabudowany i niezabudowany razem, |

C-NO	-	noc, obszar zabudowany i niezabudowany razem,
Z-DO	-	doła, obszar zabudowany,
Z-DZ	-	światło dzienne, obszar zabudowany,
Z-NO	-	noc, obszar zabudowany,
NZ-DO	-	doła, obszar niezabudowany,
NZ-DZ	-	światło dzienne, obszar niezabudowany,
NZ-NO	-	noc, obszar niezabudowany.

Tabl. 5.3. Wartości przyjmowane przez zmienną jakościową „limit prędkości”.

Okres Baza km/h	doła/dzień			noc		
	C-DO/ C-DZ	Z-DO/ Z-DZ	NZ-DO/ NZ-DZ	C-NO	Z-NO	NZ-NO
30	niski	normalny	obniżony	niski	normalny	obniżony
40						
50						
50/60						
60	średni	podwyższony		średni	podwyższony	
70						
90	wysoki	-	normalny	wysoki	-	normalny

12) Rodzaj obszaru – zmienna jakościowa wykorzystana w bazach zawierających odcinki zlokalizowane zarówno na terenie zabudowanym jak i niezabudowanym.

5.2.2. Opis zmiennych zależnych

W początkowym etapie prac rozważano wiele zmiennych zależnych opisujących wskaźniki wypadkowe. Ponieważ głównym celem analiz było określenie wpływu warunków oświetlenia na wskaźniki wypadkowe, starano się uwzględnić zróżnicowaną strukturę wypadkową w różnych porach doby. Za zmienne objaśniane przyjęto zarówno ogólne liczby wypadków, jak i liczby wypadków konkretnych typów. Przypuszczano, że takie podejście może ułatwić określenie wpływu poszczególnych zmiennych drogowo-ruchowych na wskaźniki wypadkowe w różnych okresach doby. Przy wyborze zmiennych zależnych wykorzystano interpretację fizyczną przebiegu różnych rodzajów zdarzeń (wpływ nocnych ograniczeń widoczności) oraz wiedzę pozyskaną z wcześniejszych badań oraz z literatury. Wśród badanych zmiennych zależnych znalazły się między innymi:

- Liczba wypadków LW [szt./okres analizy];
- Liczba ofiar śmiertelnych LOS [l. of. śm./okres analizy];
- Liczba rannych LR [l. r./okres analizy];
- Liczba wypadków typu „pojazd-pieszny” LW_{ppi} [szt./okres analizy];
- Liczba wypadków z pojedynczym pojazdem – typu „pojazd” LW_p [szt./okres analizy];
- Liczba wypadków typu „pojazd-pojazd” LW_{pp} (także z podziałem na zderzenia czołowe LW_{zcz} , boczne LW_{zbo} i tylne LW_{zty}) [szt./okres analizy];
- Liczba wypadków na skrzyżowaniach LW_{sk} [szt./okres analizy];
- Liczba wypadków na łuku poziomym LW_{lp} [szt./okres analizy];
- Liczba wypadków spowodowanych zaśnięciem LW_{zas} [szt./okres analizy];
- Liczba wypadków, których sprawca był pod wpływem alkoholu LW_{alk} [szt./okres analizy];

- Liczba wypadków przy złym stanie nawierzchni LW_{naw} [szt./okres analizy];

Podstawową zmienną zależną występującą w modelach zbudowanych dla każdej z baz danych i służącą do analiz porównawczych pomiędzy drogami różnych klas jest liczba wypadków LW . Ze względu na dużą korelację zmiennych zależnych LW i LR , wyrażoną wysokimi wartościami współczynników r_s Spearmana (tabl. Z5.2 i tabl. Z5.3), w dalszych analizach nie brano pod uwagę zmiennej LR . Niskie (szczególnie na drogach wojewódzkich) wartości liczby ofiar śmiertelnych (LOS) powodowały natomiast, że modele predykcji tej zmiennej charakteryzowały się niskimi (poniżej 0,10) wartościami zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 (5.4). Takie wartości R_p^2 świadczą o niewystarczającym objaśnieniu wariancji zmiennej zależnej LOS przez zmienne niezależne w modelach. Zmienna LOS została zatem, podobnie jak LR , odrzucona z dalszych analiz. Predykcję pozostałych wyszczególnionych powyżej wskaźników wypadkowych przeprowadzono jedynie na drogach krajowych ze względu na niewielką lub często zerową ich liczebność na drogach wojewódzkich, która powodowała niewystarczający stopień objaśnienia modeli. Większa liczba modeli predykcji szerszego zbioru wskaźników wypadkowych na drogach krajowych umożliwiła poszerzenie analiz wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd na tych drogach.

W rozdz. 4.7 określono potencjalny wpływ tzw. „czynnika ludzkiego” (m.in. alkoholu oraz zmęczenia lub zaśnięcia kierowcy) na powstawanie wypadków drogowych w nocy oraz wskazano możliwe sposoby minimalizacji takiego wpływu w budowie modeli wypadkowych. W celu podjęcia prób takiej minimalizacji wprowadzono do analiz modelowych dwie dodatkowe zmienne zależne:

- Liczba wypadków niezwiązanych z alkoholem ani zmęczeniem lub zaśnięciem kierowcy LW_{alzm} [szt./okres analizy];
- Liczba wypadków w godzinach 17:00-23:00 w okresach występowania nocnych ograniczeń widoczności L_{17-23} [szt./okres analizy];

Zgodnie z przesłankami wynikającymi ze wstępnych analiz modele predykcji dwu wymienionych wskaźników wypadkowych zbudowano jedynie dla okresu nocy.

5.2.3. Budowa modeli regresyjnych

W budowie modeli predykcji wypadków skorzystano z metody uogólnionej regresji liniowej z założonym rozkładem Poissona dla zmiennej losowej i funkcją wiążącą o postaci logarytmicznej (logarytmu naturalnego). Ogólną postać modelu przedstawia równanie zgodne z zależnością (5.2):

$$LW = \exp\left(\beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j \cdot x_j\right) \quad (5.8)$$

gdzie:

- β_0, \dots, β_k – nieznanne parametry modelu, współczynniki kierunkowe przy zmiennych,
- x_j – obserwowane nielosowe zmienne niezależne.

Przed przystąpieniem do budowy modeli wykonano sprawdzenie współczynników zmienności wszystkich zmiennych ilościowych w bazie danych zgodnie ze wzorem [49,82]:

$$v_j = \frac{\sigma_j}{\bar{x}_j} \quad (5.9)$$

gdzie:

σ_j – odchylenie standardowe zmiennej,
 \bar{x}_j – wartość średnia zmiennej x_j .

Jeśli wartość współczynnika v_j jest większa lub równa 0,1, to zmienna wykazuje wystarczającą zmienność i może być włączona do analiz. Takie kryterium zmienności zostało spełnione przez cały zbiór zmiennych w wykorzystywanych bazach danych.

Dla wszystkich par zmiennych ilościowych zależnych i niezależnych w każdej z baz danych wyznaczono współczynniki korelacji rang Spearmana r_s , według wzoru [49,82]:

$$r_s = \text{corr}(F_X(X), F_Y(Y)) \quad (5.10)$$

gdzie:

$F_X(X), F_Y(Y)$ – dystrybuanty porównywanych zmiennych.

Przykładowe macierze korelacji Spearmana dla zmiennych niezależnych oraz dla zależnych i niezależnych z bazy DW-Z-NO, utworzone w programie STATISTICA PL 7.1 [49,82] przedstawiono w tabl. Z5.2 i tabl. Z5.3 w załączniku nr 2. Wartości r_s zawierają się w przedziale $\langle -1; 1 \rangle$. Współczynnik r_s równy 0 oznacza brak korelacji. Zbliżanie się wartości współczynnika korelacji do -1 lub 1 oznacza wzrost stopnia korelacji odpowiednio ujemnej i dodatniej. Przy budowie modeli założono zgodnie z [57], że zmienne są nadmiernie skorelowane, gdy $|r_s| \geq 0,7$ i słabo skorelowane, jeśli $|r_s| < 0,2$.

Zarówno w pokazanych przykładach, jak i w macierzach pozostałych baz nadmierna korelacja zachodzi pomiędzy pokrewnymi zmiennymi, np. gęstością skrzyżowań a gęstością skrzyżowań bez sygnalizacji lub gęstością przejść dla pieszych z sygnalizacją a gęstością skrzyżowań z sygnalizacją. Nadmierna korelacja zmiennych niezależnych wyklucza równoczesne włączenie ich do modelu. Jeśli wysoka wartość korelacji zachodzi pomiędzy zmienną niezależną i zależną, to dodanie takiej determinanty do modelu powinno wpłynąć na poprawę stopnia jego objaśnienia. W większości przypadków pary zmiennych niezależnych są słabo skorelowane, co może umożliwić włączenie ich razem do modelu. Natomiast niewielka korelacja zmiennej zależnej i niezależnej powoduje zazwyczaj brak poprawy objaśnienia modelu i włączenie do niego takiej zmiennej nie jest uzasadnione. Dobre korelacje oznaczone w tabl. Z5.2 i tabl. Z5.3 czarnym kolorem nie blokują żadnej możliwości obecności obu rozważanych zmiennych w modelu.

Zgodnie z opisaną w rozdz. 2.2.1 metodologią, jako podstawowe zmienne niezależne w zbudowanych modelach regresyjnych przyjęto miary wystawienia na ryzyko w postaci natężenia ruchu N i długości odcinka L , dominujące w sensie statystycznej istotności modelu. W celu zwiększenia dokładności oszacowania modelu zastosowano transformacje tych zmiennych do postaci $x_j = \ln(N)$ oraz $x_j = \ln(L)$ [21,30,54].

Estymacja parametrów modelu regresyjnego w programie STATISTICA PL 7.1 [49,82] odbywała się przy pomocy metody największej wiarygodności. Ocena istotności parametrów modelu (β_j) realizowano przy pomocy statystyki Walda (5.3) oraz prawdopodobieństwa testowego p z poziomem istotności $\alpha = 0,1$ dla zmiennych N i L oraz $\alpha = 0,05$ dla pozostałych zmiennych. Przykład takiej oceny pokazano w tabl. 5.4, gdzie kolorem czerwonym wyróżniono parametry uznane za istotne. Model estymacji LW , podlegający ocenie w tabl. 5.4 ma następującą postać:

$$LW = L^{\beta_1} \cdot N^{\beta_2} \cdot \exp(\beta_0 + \beta_3 \cdot G_{ipd} + \beta_4 \cdot G_{ppz} + \beta_5 \cdot G_{przp} + \beta_6 \cdot USPOK_N - \beta_6 \cdot USPOK_T) \quad (5.11)$$

W przykładzie tym zgodnie z założeniami odrzucono m.in. wyraz wolny β_0 oraz zmienną $USPOK$, dla których wartość p wyniosła 0,06, a pozostawiono $\ln N$ ($p=0,09$) ze względu na łagodniejsze kryterium istotności.

Tabl. 5.4. Przykład oceny istotności parametrów modelu predykcji liczby wypadków zbudowanego na podstawie bazy danych DW-Z-NO.

Efekt	Poziom Efekt	Kolumna (i)	Ocena (β_i)	Błąd standardowy	statystyka Walda	p
β_0		0	-2,09057	1,129301	3,42696	0,064140
$\ln L$		1	0,82933	0,085977	93,04333	0,000000
$\ln N$		2	0,26703	0,155469	2,95003	0,085876
G_{ipd}		3	0,01099	0,004267	6,63893	0,009977
G_{ppz}		4	0,06967	0,050196	1,92652	0,165140
G_{przp}		5	0,05160	0,016091	10,28256	0,001343
$USPOK$	NIE	6	0,14232	0,076182	3,49002	0,061740

Do oszacowania dopasowania modelu do obserwowanych danych wykorzystano zmodyfikowany współczynnik korelacji wielowymiarowej R_p^2 (5.4). Uznano, że poprawa stopnia objaśnienia modelu przez dodanie do niego kolejnej zmiennej niezależnej jest wystarczająca i warta odnotowania, jeśli wartość R_p^2 wzrosła przynajmniej o 0,02. Mniejszy wzrost wartości współczynnika R_p^2 powodował odrzucenie zmiennej z modelu. Duża poprawa stopnia objaśnienia modelu następowała natomiast przy wzroście wartości współczynnika korelacji wielowymiarowej o min. 0,05 przy włączeniu dodatkowej zmiennej do modelu.

Modele dla każdej z 18 baz odcinków niebezpiecznych budowano według następującego schematu:

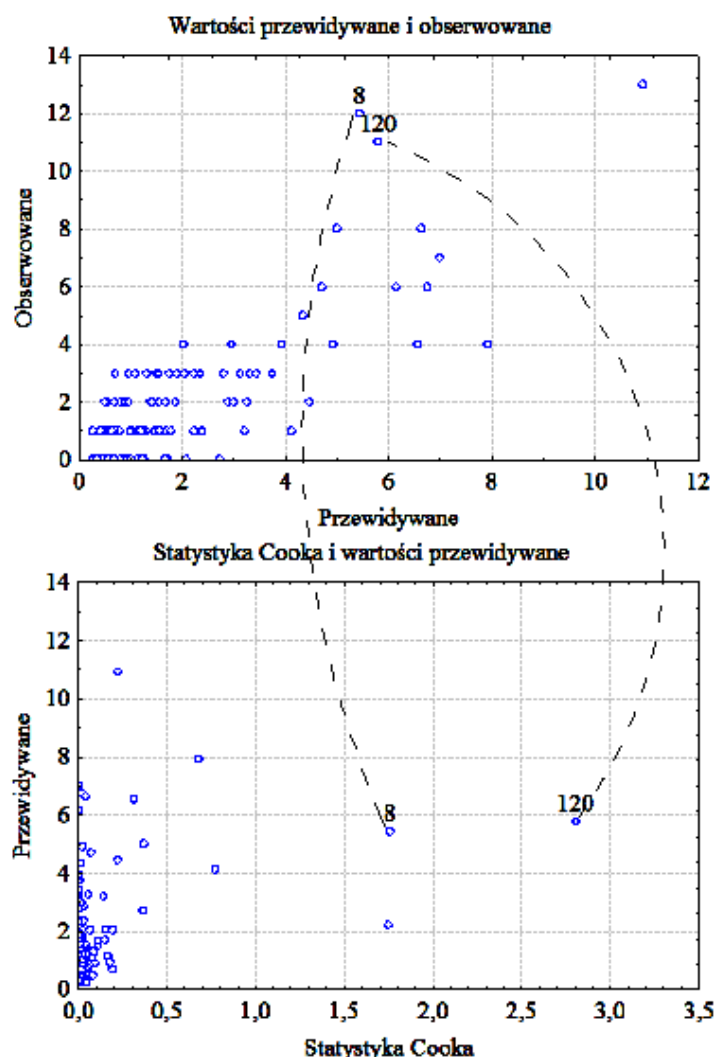
- 1) W pierwszej kolejności wykonano „podstawowe” modele z dwoma podstawowymi zmiennymi niezależnymi, tzn. natężeniem ruchu pojazdów N oraz długością odcinka L . Na tej podstawie określano, jaka część zmiennej zależnej jest objaśniana jedynie przez miary wystawienia na ryzyko. Miary te we wszystkich modelach spełniały kryterium istotności.
- 2) Następnie podejmowano próbę włączenia do modelu wyrazu wolnego β_0 . W przypadku pozytywnej oceny istotności tego wyrazu oraz poprawy dopasowania modelu do obserwowanych danych, w dalszej kolejności podejmowano próby budowy modeli z wyrazem wolnym, a w przeciwnym przypadku bez wyrazu.

- 3) Kolejny krok polegał na próbie włączenia do „podstawowego” modelu każdej pojedynczej zmiennej ilościowej i jakościowej z bazy danych. W tym przypadku przy wyborze zmiennych do budowy modeli kierowano się przede wszystkim interpretacją fizyczną (konkretnych rodzajów zdarzeń) oraz korelacjami Spearmana r_s uwzględniającymi związki pomiędzy zmiennymi zależnymi a niezależnymi ilościowymi. Na tym etapie dopuszczano stosowanie łagodniejszego ($p \leq 0,1$) kryterium istotności dla niektórych zmiennych uznając, że modele te nie są reprezentatywne (takie zostaną zbudowane w dalszych krokach), a mogą wnieść dużo nowej wiedzy służącej rozpoznaniu determinant występowania wypadków.
- 4) Następnie w przypadku predykcji liczby wypadków LW budowano modele, w których obok miar wystawienia na ryzyko występowały 2-3 zmienne niezależne spośród tych, które znalazły się w modelach zbudowanych zgodnie z opisem w pkt. 3). Kryterium doboru zmiennych niezależnych były korelacje Spearmana r_s pomiędzy nimi. W modelach predykcji pozostałych zmiennych zależnych wyszczególnionych w rozdz. 5.2.2 pomijano niniejszy punkt, przechodząc bezpośrednio do punktu 5).
- 5) W kolejnym kroku zbudowano jeden model, w którym wykorzystano wszystkie zmienne wybrane w punkcie 3). Część potencjalnych determinant w modelu zawierającym duży zbiór zmiennych niezależnych nie wykazywała istotności statystycznej. Zmienne usuwano pojedynczo z modelu, w każdym kroku pozbywając się tej, która charakteryzowała się najwyższym prawdopodobieństwem testowym p . Każde usunięcie zmiennej powodowało zmiany wartości p pozostałych determinant, co jest uzasadnieniem przyjęcia krokowej metody eliminacji. Przy tym sposobie postępowania naturalnie budował się model ze zmiennymi niezależnymi o największym wpływie na wartość wskaźnika wypadkowego i największej wartości zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 . W niektórych przypadkach zdarzało się jednak, że pomimo spełnienia kryterium istotności statystycznej zmienne włączone do modelu nie powodowały wzrostu wartości R_p^2 o min. 0,02 na każdą dodaną zmienną. Wówczas takie zmienne również odrzucano z modelu. Powstały w ten sposób model o najwyższej wartości współczynnika R_p^2 przy zachowaniu kryterium istotności statystycznej nazwano „reprezentatywnym”.
- 6) Następnym krokiem mieszczącym się w ramach weryfikacji statystycznej polegał na przeprowadzeniu analizy reszt w celu identyfikacji punktów odstających i wpływowych w „reprezentatywnym” modelu zbudowanym w punkcie 5). Do tego celu stosowano wykresy wartości obserwowanych i przewidywanych przez model oraz odległości D Cooka, które określają wpływ poszczególnych obserwacji na współczynniki modelu (rys. 5.3). Kryterium odrzucenia obserwacji uznanej za odstającą był wzrost współczynnika R_p^2 modelu „reprezentatywnego” zbudowanego zgodnie z punktem 5) o min. 0,01 przy wyłączeniu danej obserwacji. Jeśli taka poprawa nie nastąpiła, odrzucenie obserwacji uznawano za niezasadne. W taki sam sposób traktowano wszystkie potencjalne obserwacje odstające, starannie przeprowadzając ich selekcję. Po odrzuceniu przedmiotowych obserwacji ponownie sprawdzano dopasowanie nowego zbioru danych do modelu i w przypadku istotnej poprawy takiego dopasowania przyjmowano nową postać modelu za ostateczną.

Odrzucanie obserwacji niekiedy prowadziło do zmiany poziomu p dla niektórych zmiennych, a w konsekwencji koniecznością było ich odrzucenie. W innych przypadkach usunięcie obserwacji stwarzało możliwość dodania innej zmiennej, której prawdopodobieństwo testowe spadło poniżej granicznej wartości.

- 7) W ostatnim kroku powtarzano tok postępowania opisany powyżej w punktach 1)-5) dla zbioru zmiennych po odrzuceniu obserwacji odstających zgodnie z procedurą opisaną w punkcie 6). Modele wykonane w tym kroku zostały uznane jako ostateczne, a ich wyniki opisano w dalszych punktach niniejszego rozdziału pracy oraz zaprezentowano w tabl. Z5.4 i tabl. Z5.34 w załączniku nr 2.

Na utworzonym w programie STATISTICA PL 7.1 [49,82] rysunku 5.3, stanowiącym ilustrację do metody eliminacji zmiennych odstających, opisanej powyżej w punkcie 6), zaznaczono 2 przykładowe wartości, które mogą mieć duży wpływ na postać modelu. Wpływ ten określony jest zarówno wysoką wartością statystyki Cooka, jak i niezadowalającą predykcją wartości, np. dla przypadku nr 8 wartość obserwowana to 12, a wartość przewidywana – 5,44. Potwierdzeniem słuszności odrzucenia danego rekordu bazy danych jest też często obserwowana poprawa objaśnienia modelu, wyrażona wzrostem wartości R_p^2 .



Rys. 5.3. Zależność między wartościami obserwowanymi i przewidywanymi oraz między wartościami przewidywanymi i odległościami D Cooka w modelu „reprezentatywnym” z bazy DW-Z-NO.

W przypadku budowy modeli predykcji pozostałych wskaźników wypadkowych wyszczególnionych w rozdz. 5.2.2 konieczne było przyjęcie dodatkowego założenia. Ze względu na małą w przypadku niektórych typów wypadków liczebność prób i wynikającą z tego trudność objaśnienia zmiennej zależnej przyjęto minimalną wstępną wartość 0,10 współczynnika R_p^2 modelu, w którym jedynymi zmiennymi niezależnymi są L i N . Uznano, że niższa wartość nie oddaje sensu predykcji wypadków, tzn. zależności liczby wypadków od wystawienia na ryzyko [22], przytoczonej w rozdz. 5.2.1 i zgodnej ze wzorem (5.6). Jeśli przyjęte kryterium nie zostało spełnione, nie podejmowano prób włączenia dodatkowych zmiennych do modeli.

Postępując zgodnie z wyżej opisanymi założeniami, utworzono łącznie 18 „reprezentatywnych” modeli predykcji liczby wypadków na drogach krajowych i wojewódzkich Małopolski w różnych warunkach oświetlenia. Ponadto dla dróg krajowych wykonano 53 „reprezentatywne” modele predykcji pozostałych wskaźników wypadkowych opisanych w rozdz. 5.2.2 w celu przeprowadzenia dalszych analiz. Oprócz wymienionych modeli w ramach prób minimalizacji znaczenia tzw. „czynnika ludzkiego” w analizach wypadkowych zbudowano 11 „reprezentatywnych” modeli predykcji liczby wypadków niezwiązanych z alkoholem ani zmęczeniem lub zaśnięciem kierowcy i wypadków przed godziną 23:00 w nocy. Łącznie, uwzględniając wszystkie kroki budowy modeli, badania będące przedmiotem niniejszego rozdziału pracy objęły wykonanie 796 modeli regresyjnych (wszystkie modele zestawiono w tabl. Z5.4 i tabl. Z5.34 w załączniku nr 2). Ogół zadań związanych z budową przedmiotowych modeli zrealizowano z wykorzystaniem funkcji „Uogólnione modele liniowe i nieliniowe” w programie STATISTICA PL 7.1 [49,82].

5.2.4. Charakterystyka najważniejszych wpływów elementów infrastruktury na brd i ich ogólna interpretacja

Przed przystąpieniem do analiz zbudowanych modeli i sformułowaniem szczegółowych wniosków, konieczne jest wskazanie pewnych charakterystycznych wpływów, które powtarzają się w wielu modelach oraz ich właściwa interpretacja. Dzięki takiemu podejściu możliwe będzie przedstawienie ogólnych wniosków w ujęciu syntetycznym. W celu bardziej przejrzystego przedstawienia wniosków wprowadzono następujące, symboliczne oznaczenia analizowanych przypadków odnoszących się do poszczególnych elementów infrastruktury i dodatkowych charakterystyk:

- (Typ przekroju wn. 1) – wniosek dotyczący wpływu typu przekroju poprzecznego na estymowaną wartość wskaźnika wypadkowego;
- (Skrzyżowania wn. 1) – wniosek dotyczący wpływu skrzyżowań i innych punktów dostępności na estymowaną wartość wskaźnika wypadkowego;
- (Przejścia dla pieszych wn. 1) – wniosek dotyczący wpływu przejść dla pieszych na estymowaną wartość wskaźnika wypadkowego;
- (Przystanki autobusowe wn. 1) – wniosek dotyczący wpływu przystanków autobusowych na estymowaną wartość wskaźnika wypadkowego;
- (Przeszkody wn. 1) – wniosek dotyczący wpływu przeszkód bocznych na estymowaną wartość wskaźnika wypadkowego.

Obok symboli literowych dotyczących elementów infrastruktury każdy wniosek jest opatrzony odpowiednim numerem. Numeracja jest prowadzona oddzielnie dla każdego elementu infrastruktury.

Przedmiotowe wpływy i wskazówki odnośnie ich interpretacji przedstawiają się następująco:

- (Typ przekroju - wn. 1) Zaskakującym było stwierdzenie, że występowanie przekroju z chodnikiem jest związane ze wzrostem estymowanej liczby wypadków LW . Nie można jednak formułować wniosku o mniejszym bezpieczeństwie takiego przekroju. Chodnik w rzeczywistości wpływa na poprawę brd ze względu na segregację ruchu pieszego od kołowego, której nie zapewnia przekrój z poboczem. Obecność chodnika w pośredni sposób może wyrażać wzrost natężenia ruchu pieszego, które jest dodatkową (poza długością odcinka L i dobowym natężeniem ruchu pojazdów N) miarą wystawienia na ryzyko. Wystawienie to w modelach predykcji wypadków pośrednio wyraża zmienna „typ przekroju poprzecznego”. Ponadto chodnik jest częściej obecny na odcinkach zabudowanych, na których występuje większe zagęszczenie elementów infrastruktury drogowej oraz ma miejsce więcej potencjalnych konfliktów ruchowych. Zebrane powyżej spostrzeżenia świadczą o trudności kwantyfikacji w wyizolowany sposób wpływu samego typu przekroju poprzecznego drogi na brd z pominięciem dodatkowych czynników. Jest to typowy problem interakcji pomiędzy różnymi determinantami brd, którą trudno jest wyrazić w prostych modelach regresyjnych;
- (Typ przekroju - wn. 2) W okresie nocy, kiedy mamy do czynienia ze spadkiem wystawienia na ryzyko wypadku z pieszymi, utrzymywanie się podobnego, jak przy świetle dziennym, poziomu zagrożenia na przekrojach z chodnikiem może świadczyć o wzroście roli problemu z dostrzegalnością pieszych przez kierowców na tych odcinkach;
- (Typ przekroju - wn. 3) W wielu modelach estymacji liczby wypadków w nocy uwidocznił się silny wpływ występowania przekrojów z poboczami na wzrost liczby wypadków przy jednoczesnym osłabieniu takiego wpływu w przypadku występowania przekrojów z chodnikiem. W dalszym ciągu w większości modeli z okresu nocy występowanie przekroju z chodnikiem wiąże się z większą estymowaną liczbą wypadków niż w przypadku przekroju z poboczem, ale różnice estymowanej liczby wypadków w nocy w zależności od typu przekroju są mniejsze niż przy świetle dziennym. Przedmiotowy wpływ „typu przekroju poprzecznego na liczbę wypadków w nocy może być związany z problemem dostrzegalności pieszych przez kierowców w tym okresie doby, dotyczącym głównie zamiejskich odcinków dróg;
- (Typ przekroju - wn. 4) W modelach predykcji wypadków typu „pojazd-pojazd”, wypadków na skrzyżowaniach oraz wypadków w wyniku zderzenia bocznego poza obszarem zabudowanym, uwidocznił się znaczny wpływ typu przekroju poprzecznego na wartość zmiennej zależnej. Wymienione wskaźniki wypadkowe na odcinkach dróg zamiejskich, w przypadku występowania chodnika osiągają znacznie większe wartości niż przy obecności pobocza. Przekroje z chodnikiem poza zabudową w pośredni sposób wyrażają wystawienie na ryzyko wypadku pomiędzy pojazdami, ponieważ

występują głównie w obrębie skrzyżowań, zjazdów publicznych, przystanków autobusowych oraz przejść dla pieszych. Każdy z wymienionych elementów infrastruktury może generować potencjalne sytuacje konfliktowe, szczególnie przy świetle dziennym, kiedy występują wyższe wartości natężeń ruchu pojazdów i pieszych;

(Skrzyżowania - wn. 1) Wpływ gęstości skrzyżowań lub innych punktów dostępności na liczbę wypadków jest związany ze wzrostem natężenia ruchu z kierunków bocznych, zatem w pośredni sposób odzwierciedla większe wystawienie na ryzyko. Elvik [22] jako jedną z miar wystawienia na ryzyko wypadku określił liczbę „spotkań” pojazdów na skrzyżowaniach. Oszacowane przez autora prawdopodobieństwo konfliktu na skrzyżowaniu wzrasta wykładniczo wraz ze wzrostem natężenia ruchu aż do wartości 500 P/h/włot;

(Skrzyżowania - wn. 2) Rozpoznany w wielu modelach mniejszy wpływ skrzyżowań i innych punktów dostępności na liczbę wypadków w „nocy” niż w „dzień”, nie musi oznaczać spadku rzeczywistego zagrożenia. Takie zagrożenie może być w lepszy sposób wyrażone przez odniesienie liczby wypadków do natężenia ruchu. Biorąc pod uwagę mniejsze natężenie ruchu w nocy i spadek jednostkowego prawdopodobieństwa konfliktu („spotkania pojazdów”), należy zastosować odpowiednią interpretację uzyskanych wyników analiz. Przy założeniu, że dopływ natężenia ruchu z każdego z kierunków bocznych na skrzyżowaniach wynosi ok. 0,25 natężenia ruchu z każdego kierunku na przedmiotowym odcinku, uwzględniając obliczenia Elvika [22] i znajomość średnich natężeń ruchu na odcinkach niebezpiecznych dróg krajowych i wojewódzkich, można stwierdzić, że prawdopodobieństwo konfliktu na skrzyżowaniu w „nocy” w godz. 17:00-23:00 wynosi ok. 24-28%, a po godz. 23:00 ok. 6% prawdopodobieństwa konfliktu w „dzień” (tabl. 5.5).

Tabl. 5.5. Oszacowanie średniego prawdopodobieństwa konfliktu na skrzyżowaniu przy założeniu, że natężenie ruchu z wlotu bocznego jest równe 0,25 natężenia ruchu na wlocie głównym wg metody Elvika [22].

grupa dróg	pora doby	Q [P/h/włot] odcinek niebez- pieczny	Q [P/h/włot] włot boczny	liczba wlotów skrzyżo- wania	Q [P/h/ skrzyżo- wanie]	λ [P/sek/ włot]	M	p	p_{sr}	p_{sr} [%]
krajowe	światło dienne	381	95	4	953	0,0661	0,9360	0,0225	0,0196	100,0%
				3	857	0,0794	0,9237	0,0166		
	noc 17:00- 23:00	180	45	4	450	0,0313	0,9692	0,0054	0,0047	24,1%
				3	405	0,0375	0,9632	0,0040		
	noc po 23:00	88	22	4	220	0,0153	0,9848	0,0014	0,0012	6,0%
				3	198	0,0183	0,9818	0,0010		
wojewódzkie	światło dienne	223	56	4	558	0,0387	0,9620	0,0082	0,0071	100,0%
				3	502	0,0465	0,9546	0,0060		
	noc 17:00- 23:00	115	29	4	288	0,0200	0,9802	0,0023	0,0020	27,7%
				3	259	0,0240	0,9763	0,0017		
	noc po 23:00	51	13	4	128	0,0089	0,9912	0,0005	0,0004	5,6%
				3	115	0,0106	0,9894	0,0003		

- λ – średnia liczba pojazdów na 1 wlocie skrzyżowania w okresie 1 sekundy,
 M – prawdopodobieństwo wystąpienia 0 pojazdów na 1 wlocie skrzyżowania w okresie 1 sekundy, obliczone przy założeniu, że ruch pojazdów jest zgodny z procesem Poissona: $M=e^{-\lambda}$,
 p – prawdopodobieństwo konfliktu na skrzyżowaniu; dla skrzyżowania 3-włotowego: $p=2\cdot M^3-3\cdot M^2+1$, dla skrzyżowania 4-włotowego: $p=3\cdot M^4-4\cdot M^3+1$,
 p_{sr} – średnie prawdopodobieństwo konfliktu na skrzyżowaniu 3 lub 4-włotowym,
 $p_{sr} [\%]$ – udział prawdopodobieństwa konfliktu w danej porze doby w stosunku do pory „dnia”.

Wystawienie na ryzyko wypadku związane ze skrzyżowaniami jest zatem średnio ok. 4-17 razy mniejsze w nocy niż przy świetle dziennym. Choć takie oszacowanie ma jedynie charakter orientacyjny, pokazuje rzeczywistą skalę zagrożenia związanego z wystawieniem na ryzyko na skrzyżowaniach i powinno być uwzględnione przy interpretacji ilościowych wpływów skrzyżowań na liczbę wypadków w różnych warunkach oświetlenia;

(Skrzyżowania - wn. 3) Podobna, jak w powyżej opisanym przypadku ocena zmienności wystawienia na ryzyko w ciągu doby byłaby w przypadku analiz wpływu komercyjnych lub indywidualnych punktów dostępności na brd zbyt dużym uproszczeniem, gdyż część takich punktów nie jest wykorzystywana w nocy. Można jednak przypuszczać, że wobec pogarszających się warunków widoczności, szczególną rolę w percepcji punktów dostępności odgrywa sztuczne oświetlenie. Dlatego identyfikowany w modelach predykcji wypadków wzrost zagrożenia wypadkowego związanego z tymi punktami w nocy dotyczy głównie odcinków poza zabudową;

(Skrzyżowania - wn. 4) W niektórych modelach odnotowano ujemną korelację liczby wypadków w nocy z gęstością leśnych lub polnych punktów dostępności oraz gęstością dróg gruntowych. Na odcinkach leśnych lub w otoczeniu pól często jedynymi źródłami oświetlenia w nocy są światła pojazdów, co wpływa na poprawę kontrastu i percepcji przestrzeni drogi przez kierowców i sprzyja koncentracji uwagi na właściwych źródłach światła w nocy. Charakterystyczne dla tych odcinków jest również występowanie pojedynczych elementów infrastruktury drogowej (np. skrzyżowań), co sprzyja ich dostrzeżeniu. Ponadto przypuszcza się, że w okresie nocy zjazdy do lasu lub na pole nie są wykorzystywane i nie powodują dodatkowego wystawienia na ryzyko;

(Przejścia dla pieszych - wn.1) Przejścia dla pieszych są naturalnie związane z dodatkowym wystawieniem na ryzyko w postaci większych natężeń ruchu pieszego. Związek gęstości przejść dla pieszych z liczbą wypadków nie oznacza zatem, że przedmiotowe przejścia powodują pogorszenie brd i nie wskazuje na konieczność ich likwidacji, chociaż zawsze wskazana jest weryfikacja zasadności ich lokalizacji wraz z kontrolą spełnienia przez te lokalizacje podstawowych kryteriów bezpieczeństwa, tj. dostrzegalności, widoczności na zatrzymanie oraz widoczności pieszych dochodzących do przejścia. Zbyt mała gęstość przejść dla pieszych może w niektórych przypadkach doprowadzić do wzrostu zagrożenia wypadkami z pieszymi ze względu na przekraczanie przez nich jezdni w miejscach niebezpiecznych. Obok prawidłowego doboru liczby przejść dla pieszych najistotniejsze jest wdrożenie różnych metod i środków poprawy brd tych uczestników ruchu [27,91]. Takie działania powinny spowodować spadek znaczenia przejść dla pieszych w modelach

estymacji liczby wypadków. Przedmiotowe elementy infrastruktury drogowej, obok związku ze wzrostem zagrożenia wypadkami z pieszymi, przyczyniają się również do powstawania konfliktów w ruchu, które mogą spowodować wypadek w wyniku zderzenia tylnego. Oszacowane przez Elvika [22] prawdopodobieństwo konfliktu w wyniku zderzenia tylnego wzrasta w przybliżeniu liniowo wraz ze wzrostem natężenia ruchu aż do ok. 1000 P/h/pas. Hamowanie lub zatrzymywanie jest interpretowane jako miara wystawienia na ryzyko. Podobnie, jak w przypadku skrzyżowań, ewentualny mniejszy wpływ przejść dla pieszych na liczbę wypadków w nocy może być związany z mniejszym prawdopodobieństwem występowania sytuacji konfliktowych „pojazd-pieszy” oraz „pojazd-pojazd”;

(Przystanki autobusowe - wn. 1) Wpływ przystanków autobusowych na liczbę wypadków można interpretować podobnie, jak wpływ przejść dla pieszych. Obecność przystanków jest związana ze wzrostem natężenia ruchu pieszego, stanowiącego dodatkowe wystawienie na ryzyko wypadku. Ponadto praktyka projektowania wskazuje, że w pobliżu przystanków często występują przejścia dla pieszych. Potencjalne konflikty typu „pojazd-pojazd” w pobliżu przystanków autobusowych są związane nie tylko z ruchem pieszych w poprzek jezdni, lecz również z włączaniem się autobusów do ruchu. Ponadto w wykorzystywanej bazie danych brak jest precyzyjnej informacji na temat wykorzystania przystanków autobusowych, szczególnie przy świetle dziennym w porównaniu do okresu nocy przed godz. 23:00. Taka złożona specyfika konfliktów ruchowych w obrębie przystanków autobusowych powoduje, że interpretacja ich wpływu na liczbę wypadków jest utrudniona;

(Przystanki autobusowe - wn. 2) W nocy, szczególnie po godz. 23:00, ze względu na znacznie mniejszy ruch autobusów (lub nawet brak tego ruchu) wpływ przystanków autobusowych na liczbę wypadków maleje lub zanika;

(Przeszkody - wn. 1) Związek występowania lub gęstości przeszkód bocznych z liczbą wypadków nie jest determinowany przez miary wystawienia na ryzyko związane z ruchem pojazdów lub pieszych;

(Przeszkody - wn. 2) Obiekty w skrajni drogi mogą ograniczać boczne pole widzenia oraz zmniejszać widoczność na skrzyżowaniach i innych punktach dostępności. Takie ograniczenie pola widzenia jest szczególnie istotne w okresie nocnych ograniczeń widoczności. Ponadto przeszkody „nie wybaczą” błędów kierowców, co sprawia, że sama ich obecność stwarza zagrożenie wystąpienia wypadku typu „najechanie na przeszkodę”;

(Przeszkody - wn. 3) Korelacja przeszkód bocznych ze spadkiem liczby wypadków może być związana z optycznym zawężeniem przekroju jezdni przez przeszkody, co wymusza ostrożniejszą jazdę z mniejszą prędkością.

Przedstawiona powyżej specyfika wpływu poszczególnych zmiennych opisujących cechy dróg na liczbę wypadków stanowi pewną ogólną wiedzę na temat zbudowanych modeli. Należy zauważyć, że niezależnie od pory doby na odcinkach niebezpiecznych, wyselekcjonowanych do badań, występują te same elementy infrastruktury. Pewna określona z góry specyfika wpływu powinna zatem w zależności od pory doby wykazywać różnice, które w dużej mierze będzie można przypisać zmiennym warunkom oświetlenia. Z punktu

widzenia identyfikacji takich różnic istotne będą analizy porównawcze wpływu poszczególnych zmiennych na liczbę wypadków przy świetle dziennym i w nocy, w tym porównania ilościowe.

W szczegółowym opisie modeli i wyników analiz z ich wykorzystaniem starano się unikać powtarzania podanych powyżej spostrzeżeń i dlatego często odwoływano się do ww. zapisów w poszczególnych podpunktach.

5.2.5. Modele predykcji wypadków na drogach krajowych

W związku z dużym zróżnicowaniem cech geometryczno-ruchowych odcinków niebezpiecznych na drogach krajowych oczekiwano potwierdzenia w zbudowanych modelach występowania wpływu niektórych z tych cech na liczbę wypadków w różnych warunkach oświetlenia. Szczególnie spodziewano się, że wobec niższych wartości natężeń ruchu i jednoczesnej dużej liczby wypadków w nocy uwidoczną się dodatkowe determinanty powstawania wypadków w tym okresie.

Z drugiej strony wyższa klasa dróg krajowych związana jest z:

- częstszymi kontrolami prędkości, szczególnie w obszarach zabudowanych, jednak również wyższymi prędkościami poruszania się pojazdów w nocy,
- wysokim w nocy udziałem ciężkiego ruchu tranzytowego z udziałem kierowców o potencjalnie wyższych umiejętnościach i doświadczeniu, ale również większym udziałem kierowców pod wpływem alkoholu, niedoświadczonych kierowców oraz wpływem zmęczenia,
- potencjalnie częściej występującym, lecz o zróżnicowanej jakości sztucznym oświetleniem (szczególnie przejść dla pieszych i skrzyżowań) na przejściach przez miejscowości,
- częstszym występowaniem, ale również zróżnicowaną skutecznością elementów uspokojenia ruchu w obszarze zabudowanym.

Wymienione powyżej aspekty związane szczególnie z ruchem w nocy mogą w ujęciu modelowym osłabiać wpływ niektórych elementów infrastruktury na brd.

Modele predykcji liczby wypadków w nocy

W tabl. 5.6 zestawiono współczynniki kierunkowe przy zmiennych w 12 regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków, zbudowanych dla okresu nocy przy wykorzystaniu danych z dróg krajowych. Wszystkie współczynniki są statystycznie istotne na poziomie istotności $p \leq 0,05$.

Tabl. 5.6. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w okresie nocy na drogach krajowych.

Baza	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych ilościowych							R^2	R_p^2
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{kpd}	G_{pd}	G_{pazz}	G_{pa}		
DK-C-NO	5.1.1	-	0,894	0,159	-	-	-	-	-	0,53	0,54
	5.1.2	-	0,916	0,147	-	0,028	-	-	-	0,56	0,57
	5.1.3	-	0,914	0,147	-	-	0,005	-	-	0,55	0,56
	5.1.4	-	0,921	0,147	-	-	-	0,079	-	0,54	0,56
	5.1.5	-	0,929	0,142	-	-	-	-	0,099	0,55	0,57
	5.1.6	-	0,938	0,136	-	0,019	-	-	0,080	0,57	0,59
DK-Z-NO	5.2.1	-	1,014	0,165	-	-	-	-	-	0,72	0,74
DK-NZ-NO	5.3.1	-	0,946	0,156	-	-	-	-	-	0,57	0,58
	5.3.2	-	0,996	0,144	0,079	-	-	-	-	0,58	0,60
	5.3.3	-	0,968	0,146	-	-	-	0,099	-	0,59	0,60
	5.3.4	-	0,972	0,143	-	-	-	-	0,112	0,58	0,60
	5.3.5	-	0,987	0,135	-	0,079	-	-	-	0,66	0,69

Najwyższą wartość zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 po odrzuceniu zmiennych odstających uzyskano w następujących modelach:

- Baza DK-C-NO (noc – obszar zabudowany i niezabudowany razem) [l. wyp./ 5lat]:

$$LW = L^{0,938} \cdot N^{0,136} \cdot \exp(0,019 \cdot G_{kpd} + 0,080 \cdot G_{pa}) \quad (5.1.6)$$

- Baza DK-Z-NO (noc – obszar zabudowany) [l. wyp./ 5lat]:

$$LW = L^{1,014} \cdot N^{0,165} \quad (5.2.1)$$

- Baza DK-NZ-NO (noc – obszar niezabudowany) [l. wyp./ 5lat]:

$$LW = L^{0,987} \cdot N^{0,135} \cdot \exp(0,079 \cdot G_{kpd}) \quad (5.3.5)$$

Występujące w tabl. 5.6 oraz wzorach (5.1.6), (5.2.1), (5.3.5) symbole oznaczają:

- β_0 – wyraz wolny,
- LW – liczba wypadków w okresie analizy,
- L – długość odcinka drogi [km],
- N – natężenie ruchu pojazdów [P/okres doby], tj. część dobowego natężenia ruchu pojazdów, która przypada na dany okres doby,
- G_{sk} – gęstość skrzyżowań [szt./km],
- G_{kpd} – gęstość komercyjnych punktów dostępności [szt./km],
- G_{pd} – gęstość punktów dostępności [szt./km],
- G_{pazz} – gęstość przystanków autobusowych z zatoką [szt./km],
- G_{pa} – gęstość przystanków autobusowych [szt./km].

Budowa modeli predykcji liczby wypadków w nocy na drogach krajowych pozwoliła na wyciągnięcie następujących wniosków:

- We wszystkich zbudowanych modelach statystycznie istotne okazały się zmienne wystawienia na ryzyko, tj. długość odcinka drogi L i dobowe natężenie ruchu N . Do żadnego z modeli nie udało się włączyć wyrazu wolnego β_0 .
- Przedmiotowe modele charakteryzują się wysokim wstępnym stopniem objaśnienia, tj. wysoką wartością zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 przy objaśnieniu LW jedynie przy pomocy miar wystawienia na ryzyko L i N ;
- Na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-NO) współczynnik R_p^2 w modelu ze zmiennymi niezależnymi L i N (modelu „podstawowym” z uwagi na schemat postępowania opisany w rozdz. 5.2.3) osiągnął wysoką wartość 0,74. Taki wpływ zmiennych niezależnych na objaśnienie modelu już na etapie „podstawowym” stwarza trudność włączenia dodatkowych zmiennych opisujących cechy infrastruktury drogowej. Jest to zaskakujące z uwagi na duże zagęszczenie i zmienność elementów infrastruktury w obszarze zabudowanym. Częściowym wyjaśnieniem takiego wyniku analiz mogą być argumenty wymienione na wstępie niniejszego rozdziału pracy, tj.: jednoczesny wzrost udziału kierowców pojazdów ciężarowych o potencjalnie wyższych umiejętnościach i doświadczeniu oraz kierowców niedoświadczonych (w młodym wieku), pod wpływem alkoholu lub zmęczenia, wzrost częstości występowania sztucznego oświetlenia i elementów uspokojenia ruchu lecz również zróżnicowanie ich jakości i skuteczności;
- Spośród całego zestawu zmiennych opisujących infrastrukturę drogową w modelach zbudowanych dla całego zbioru danych z dróg krajowych oraz z odcinków zamiejskich istotne statystycznie oraz podnoszące wartość R_p^2 o min. 0,02 okazały się zmienne: G_{kpd} , G_{pa} , G_{sk} , G_{pd} i G_{pazz} . Spośród nich jedynie zmienna G_{kpd} na zamiejskich odcinkach dróg krajowych wykazała duży wpływ (wzrost R_p^2 o 0,11) na liczbę wypadków. Interpretacja takiego wpływu została przedstawiona w podpunktach (Skrzyżowania - wn. 1) i (Skrzyżowania - wn. 3) w rozdz. 5.2.4;
- Mały wpływ zmiennych opisujących infrastrukturę drogową na liczbę wypadków został zidentyfikowany już we wstępnych analizach korelacji r_s Spearmana (przykład w tabl. Z5.2 i tabl. Z5.3 w załączniku nr 2). Największa (wartość bezwzględna) współczynnika r_s pomiędzy liczbą wypadków a potencjalną zmienną niezależną wyniosła 0,29. Jedynie 5 zmiennych na 69 (łącznie z 3 baz danych), dla których podjęto próbę włączenia do modeli wykazała korelację ze zmienną LW ($r_s \geq 0,2$);
- Utworzenie modelu „reprezentatywnego”, tj. modelu o najwyższej wartości R_p^2 (5.4) przy zachowaniu kryterium istotności statystycznej wszystkich zmiennych (rozd. 5.2.3) spowodowało wzrost R_p^2 o 0,05 w przypadku modeli dla wszystkich dróg krajowych oraz o 0,11 w przypadku modeli dla odcinków zamiejskich;
- Pomimo małej liczby zmiennych niezależnych modele „reprezentatywne” wykazały się wysokimi wartościami R_p^2 0,59; 0,69 i 0,74;
- Żadna ze zmiennych jakościowych nie wykazała wystarczająco niskiej wartości prawdopodobieństwa testowego p , aby możliwe było włączenie jej do modelu. Szczególnie zaskakujący i niezgodny z przypuszczeniami jest brak wpływu rodzaju przekroju poprzecznego na estymowaną liczbę wypadków, wobec dużego udziału wypadków z pieszymi w nocy;

- Niektóre wpływy mogą być oszacowane dopiero przy szczegółowej analizie lub w modelach predykcji konkretnych typów wypadków. Takie modele są opisane w kolejnych punktach niniejszego rozdziału.

Modele o zminimalizowanym wpływie tzw. „czynnika ludzkiego”

Dotychczasowe badania nie pozwoliły na wystarczające rozpoznanie potencjalnego wpływu infrastruktury drogowej na powstawanie wypadków w okresie nocy. Całkowita liczba wypadków LW jest zależna głównie od zmiennych opisujących wystawienie na ryzyko. Dodatkowe zmienne w modelach są mało liczne i z reguły nieznacznie poprawiają objaśnienie modeli estymacji LW . Przypuszcza się, że przyczyną takich trudności w rozpoznaniu dodatkowych wpływów na liczbę wypadków może być duża rola zachowań uczestników ruchu w nocy, opisanych szczegółowo w rozdz. 2.1.3.

Jednym z działań zmierzających do lepszego rozpoznania wpływu elementów infrastruktury drogowej na brd jest minimalizacja znaczenia tzw. „czynnika ludzkiego” w opisie powstawania wypadków. Minimalizacja ta polega na próbach stworzenia modeli predykcji wypadków niezwiązanych z alkoholem ani zmęczeniem lub zaśnięciem kierowcy oraz wypadków w godzinach 17:00-23:00 przypadających na okres nocy. Przesłanki do budowy takich modeli opisano szerzej w rozdz. 4.7. Ogólnie można stwierdzić, że eliminując z bazy danych wypadki o dominującym wpływie zachowań uczestników ruchu niezależnych od infrastruktury drogowej, zwiększa się możliwość opisu wpływu samej infrastruktury na bezpieczeństwo ruchu.

Wszystkie zbudowane modele predykcji liczby wypadków, z pominięciem wypadków powiązanych z alkoholem, zmęczeniem lub zaśnięciem (LW_{-alzm}), zestawiono w tabl. Z5.6, tabl. Z5.7 i tabl. Z5.10 w załączniku nr 2. W tych samych tablicach zestawiono również współczynniki kierunkowe modeli predykcji liczby wypadków, w których pominięto wypadki po godz. 23:00 (LW_{17-23}). Najwyższymi wartościami zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 charakteryzują się następujące modele:

- Baza DK-C-NO (noc – obszar zabudowany i niezabudowany razem) [l. wyp./ 5lat]:

$$LW_{-alzm} = L^{0,890} \cdot N^{0,128} \cdot \exp(0,107 \cdot CH - 0,130 \cdot G + 0,020 \cdot B + 0,003 \cdot K) \quad R_p^2=0,53 \quad (5.13.5)$$

$$LW_{17-23} = L^{0,934} \cdot N^{0,086} \cdot \exp(0,086 \cdot G_{pa}) \quad R_p^2=0,45 \quad (5.14.6)$$

- Baza DK-Z-NO (noc – obszar zabudowany) [l. wyp./ 5lat]:

$$LW_{-alzm} = L^{1,055} \cdot N^{0,111} \cdot \exp(0,082 \cdot G_{pa}) \quad R_p^2=0,68 \quad (5.23.2)$$

$$LW_{17-23} = L^{1,219} \cdot N^{0,092} \quad R_p^2=0,65 \quad (5.24.1)$$

- Baza DK-NZ-NO (noc – obszar niezabudowany) [l. wyp./ 5lat]:

$$LW_{-alzm} = L^{0,918} \cdot N^{0,107} \cdot \exp(0,072 \cdot G_{kpd}) \quad R_p^2=0,52 \quad (5.34.5)$$

$$LW_{17-23} = L^{0,908} \cdot N^{0,071} \cdot \exp(0,161 \cdot G_{pazz}) \quad R_p^2=0,49 \quad (5.35.6)$$

Występujące w powyższych wzorach symbole oznaczają:

LW_{-alzm} – liczba wypadków niezwiązanych z alkoholem ani zmęczeniem lub zaśnięciem kierowcy w okresie analizy,

LW_{17-23} – liczba wypadków w godzinach 17:00-23:00 w nocy w okresie analizy,

CH – chodnik (wartość 1, gdy chodnik jest zlokalizowany wyłącznie przy jezdni; w przeciwnym wypadku wartość 0),

B – pobocze bitumiczne (wartość 1 lub 0 w zależności od obecności takiego pobocza),

G – pobocze gruntowe (wartość 1 lub 0 w zależności od obecności takiego pobocza),

K – krawężnik (wartość 1 lub 0 w zależności od obecności krawężnika przy jezdni).

Pozostałe oznaczenia są takie same, jak w tabl. 5.6.

Głównym celem wprowadzenia przedmiotowych zmiennych zależnych do analiz była identyfikacja dodatkowych wpływów elementów infrastruktury drogowej na brd w okresie nocy. W związku z tym sformułowane poniżej wnioski z budowy modeli predykcji wypadków o zminimalizowanym wpływie czynników osobowych skoncentrowano na nowych obserwacjach i różnicach w stosunku do wniosków wynikających z budowy modeli estymacji LW na podstawie „pełnej” bazy danych:

- Odrzucenie z bazy danych o wypadkach potencjalnie związanych z czynnikami osobowymi nie spowodowało zmian statystycznej istotności zmiennych L i N oraz braku tej istotności wyrazu wolnego β_0 w zbudowanych modelach;
- Wartość zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 (5.4) przy objaśnieniu zmiennej zależnej jedynie przy pomocy miar wystawienia na ryzyko L i N jest niższa o 0,05-0,15 niż w modelach estymacji LW . Wstępnie takie obniżenie wartości R_p^2 wskazuje na większy potencjał włączenia dodatkowych zmiennych do modelu. Nadal najwyższą wartością R_p^2 takich modeli charakteryzuje się model utworzony na podstawie bazy DK-Z-NO, dla której we wcześniejszych analizach nie określono dodatkowych determinant LW ;
- Na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-NO) wykazano wpływ tylko jednej zmiennej (G_{pa}) na poprawę objaśnienia modelu estymacji LW_{-alzm} . Włączenie tej zmiennej do modelu wpłynęło na wzrost wartości współczynnika R_p^2 o 0,02. Przystanki autobusowe w pośredni sposób odzwierciedlają intensywność zabudowy oraz ruchliwość pieszych w miejscowościach. Dominujące w objaśnieniu wariancji liczby wypadków w obszarze zabudowanym w nocy są nadal zmienne L i N ;
- Obok zmiennych G_{sk} (gęstość skrzyżowań), G_{kpd} (gęstość komercyjnych punktów dostępności), G_{pazz} (gęstość przystanków autobusowych z zatoką) i G_{pa} (gęstość przystanków autobusowych), które włączono do modeli estymacji LW zbudowanych dla całego zbioru dróg krajowych (baza DK-C-NO) oraz dla odcinków zamiejskich (DK-NZ-NO), w modelach estymacji LW_{-alzm} i LW_{17-23} uwidocznił się wpływ skrzyżowań z sygnalizacją świetlną (G_{skzs}), przejść dla pieszych z sygnalizacją (G_{pps}), przeszkód ciągłych (G_{przc}), wysp (G_w) i typu przekroju poprzecznego. Wpływ zmiennej G_{pd} (gęstość punktów dostępności) okazał się statystycznie nieistotny;
- Zmienne G_{pazz} i G_{pa} nieznacznie (0,02-0,03) wpływają na wzrost wartości R_p^2 w przedmiotowych modelach za wyjątkiem modelu LW_{17-23} na zamiejskich odcinkach dróg, gdzie wzrost ten wynosi 0,05-0,06. Większa poprawa objaśnienia zmiennych

zależnych przez G_{pazz} i G_{pa} w modelach obejmujących okres nocy w godz. 17:00-23:00 może wynikać z większego wykorzystania przystanków autobusowych. Zidentyfikowane zależności są zgodne z charakterystyką wpływu przystanków autobusowych na liczbę wypadków, opisaną w podpunktach (Przystanki autobusowe - wn. 1) i (Przystanki autobusowe - wn. 2) w rozdz. 5.2.4;

- Włączenie zmiennej G_{kpd} do modeli predykcji LW_{-alzm} i LW_{17-23} podwyższa wartość zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 o 0,04 (baza DK-C-NO) i 0,06-0,09 (DK-NZ-NO). Odrzucenie wypadków mocno związanych z czynnikami osobowymi spowodowało wzrost wpływu zjazdów publicznych na estymowaną liczbę wypadków na całej sieci dróg krajowych i osłabienie tego wpływu na odcinkach zamiejskich. Można przypuszczać, że wypadki w wyniku zmęczenia, zaśnięcia lub pod wpływem alkoholu częściej niż w przypadku innych okoliczności, skutkują wypadnięciem pojazdu z drogi, w związku z czym występują poza odcinkami o dużym zagęszczeniu punktów dostępności. Wzrost znaczenia komercyjnych punktów dostępności w godz. 17:00-23:00 w stosunku do okresu po godz. 23:00 jest prawdopodobnie związany z większym wystawieniem na ryzyko w postaci natężeń ruchu z kierunków bocznych, co zostało szerzej opisane w podpunktach (Skrzyżowania - wn. 1) i (Skrzyżowania - wn. 3) w rozdz. 5.2.4;
- Modele „reprezentatywne” predykcji LW_{-alzm} i LW_{17-23} charakteryzują się wartościami R_p^2 od 0,45 do 0,68. Są one niższe o 0,06-0,20 od wartości R_p^2 w modelach LW ;
- Odrzucenie wypadków związanych z alkoholem, zmęczeniem lub zaśnięciem kierowcy z przedmiotowych analiz umożliwiło włączenie zmiennej jakościowej do jednego ze zbudowanych modeli. Istotność statystyczną w modelu reprezentatywnym z bazy DK-C-NO spełniła zmienna „typ przekroju poprzecznego”. Efekt ten jest zgodny z oczekiwaniami i wyjaśnia pośrednio wysoki udział wypadków z pieszymi w nocy. Po włączeniu tej zmiennej do modelu współczynnik R_p^2 wzrósł o 0,04. Przekrój z chodnikiem jest związany z większą o ok. 23-30% liczbą wypadków niż przekrój z poboczem gruntowym. Taki wpływ jest charakterystyczny w wielu modelach, a jego specyfika została szerzej opisana w podpunktach (Typ przekroju - wn. 1) i (Typ przekroju - wn. 2) w rozdz. 5.2.4;
- Wzrost wartości zmiennej G_{przc} (gęstość przeszkód ciągłych) jest równoznaczny ze spadkiem estymowanej liczby wypadków na zamiejskich odcinkach dróg w nocy. Można przypuszczać, że ograniczenia widoczności związane z występowaniem przeszkód ciągłych powodują wzrost ostrożności uczestników ruchu;
- Zmienna G_w (gęstość wysp) wpływa na wzrost stopnia objaśnienia LW_{17-23} w bazie wszystkich dróg krajowych (DK-C-NO) o 0,02. Występowanie wysp w jezdni pośrednio odzwierciedla stopień zagospodarowania otoczenia, z którym związana jest m.in. ruchliwość pieszych. Wpływu przedmiotowej zmiennej nie należy interpretować wprost. Jedyną przesłanką spadku brd na odcinkach z wyspami środkowymi może być ich nieprawidłowe usytuowanie lub oznakowanie;
- Łączny wzrost zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 po włączeniu dodatkowych zmiennych do modelu i utworzeniu modelu reprezentatywnego wyniósł 0,02-0,04 w przypadku danych z dróg krajowych razem

oraz 0,06-0,09 w przypadku odcinków zamiejskich dróg krajowych. Wzrost ten jest mniejszy niż w modelach predykcji LW , co wskazuje, że pomimo identyfikacji większej liczby wpływów na brd w nocy, ich znaczenie jest w zbudowanych modelach predykcji mniejsze.

Modele predykcji wypadków w okresie światła dziennego i doby oraz porównanie identyfikowanych determinant wypadków w różnych okresach oświetlenia

Nadrzędnym celem rozprawy jest rozpoznanie wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd. Takie rozpoznanie nie powinno być oparte jedynie na identyfikacji czynników wpływających na powstawanie wypadków w nocy, lecz również na porównaniu tych wpływów w różnych warunkach oświetlenia oraz w całym zbiorze danych bez uwzględnienia pory doby. Takiemu porównaniu poświęcono poniższy fragment pracy.

Ruch drogowy w okresie światła dziennego różni się od ruchu w nocy w szczególności:

- Lepszymi warunkami oświetlenia i percepcji drogi przez kierowców, wpływającymi na poszerzenie pola widzenia i poprawę dostrzegalności m.in. pieszych, przeszkód bocznych i łuków poziomych,
- Wyższymi wartościami natężeń ruchu pojazdów, w tym również ruchu z kierunków bocznych w stosunku do ciągu drogi krajowej na skrzyżowaniach, powodującymi większe wystawienie na ryzyko wypadku,
- Wzrostem aktywności otoczenia, w tym obsługi zjazdów publicznych, przejść dla pieszych, przystanków autobusowych, stanowiących generatory potencjalnych sytuacji konfliktowych w ruchu.

Wobec znacznych różnic specyfiki ruchu spodziewane jest uwidocznienie się różnych determinant powstawania wypadków w obu rozpatrywanych okresach oświetlenia. Wyszczególnione powyżej cechy wskazują również, że choć oświetlenie spełnia istotną rolę w procesie powstawania wypadków w różnych porach doby, może ono być jedynie jednym z czynników odpowiedzialnych za ewentualne różnice w objaśnieniu zmiennych zależnych. Niezwykle istotna będzie właściwa interpretacja wyników porównań, która zostanie oparta na wiedzy na temat uwarunkowań ruchu w nocy, opisaney w rozdziałach 2.1 oraz 2.3.

Wszystkie zbudowane modele wraz z ich współczynnikami i stopniami objaśnienia oraz macierze korelacji wszystkich zmiennych, które próbowano włączyć do modeli, zestawiono w tabl. Z5.11, tabl. Z5.15, tabl. Z5.18, tabl. Z5.20, tabl. Z5.24 i tabl. Z5.27 w załączniku nr 2. Zauważono, że modele zbudowane na podstawie danych z całej doby w większości przypadków stanowiły złożenie modeli z „dnia” i „nocy”, tzn. zawierały zbiór tych samych determinant, często o mniejszej sile wpływu na zmienną zależną. Ze względu na taką obserwację oraz realizację celu badań, jakim jest porównanie determinant zagrożenia brd w różnych warunkach oświetlenia, modele odpowiadające okresowi całej doby pominięto w ogólnych wnioskach, będących przedmiotem niniejszego punktu pracy. Poniżej zestawiono natomiast modele odpowiadające okresowi światła dziennego, w przypadku których uzyskano najlepszy stopień objaśnienia wyrażony największą wartością zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 .

- Baza DK-C-DZ (dzień – obszar zabudowany i niezabudowany razem) [l. wyp./ 5lat]:

$$LW = L^{0,897} \cdot N^{0,464} \cdot \exp(-2,916 + 0,025 \cdot G_{kpd} + 0,084 \cdot G_{pazz} + \dots + 0,164 \cdot CH - 0,150 \cdot G - 0,223 \cdot B + 0,209 \cdot K) \quad R_p^2=0,48 \quad (5.63.14)$$

- Baza DK-Z-DZ (dzień – obszar zabudowany) [l. wyp./ 5lat]:

$$LW = L^{1,017} \cdot N^{0,501} \cdot \exp(-3,039 + 0,121 \cdot G_{dg} + \dots + 0,139 \cdot CH - 0,356 \cdot G - 0,002 \cdot B + 0,219 \cdot K) \quad R_p^2=0,64 \quad (5.72.5)$$

- Baza DK-NZ-DZ (dzień – obszar niezabudowany) [l. wyp./ 5lat]:

$$LW = L^{0,901} \cdot N^{0,324} \cdot \exp(-1,997 + 0,104 \cdot G_{skbs} + 0,256 \cdot G_{pazz} + \dots + 0,155 \cdot USPOK_T - 0,155 \cdot USPOK_N) \quad R_p^2=0,47 \quad (5.81.8)$$

Występujące we wzorach (5.63.14), (5.72.5), (5.81.8) symbole oznaczają:

G_{skbs} – gęstość skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej [szt./km],

G_{dg} – gęstość skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej [szt./km],

$USPOK_{NT}$ – występowanie uspokojenia ruchu (zmienna jakościowa Tak/Nie; w przypadku występowania uspokojenia ruchu $USPOK_T=1$, a $USPOK_N=0$; w przeciwnym przypadku $USPOK_T=0$, a $USPOK_N=1$).

Pozostałe oznaczenia są takie same, jak w tabl. 5.6 i we wzorze (5.13.5).

Wnioski z przedmiotowych analiz oparto na porównaniu zbudowanych modeli predykcji wypadków w okresie światła dziennego z modelami odpowiadającymi okresowi nocy. Efektem tego porównania jest wskazanie różnic i identyfikacja roli oświetlenia jako determinanty brd. Analiza zbudowanych modeli doprowadziła do następujących obserwacji:

- Wartości korelacji r_s Spearmana (przykład w tabl. Z5.2 i tabl. Z5.3 w załączniku nr 2) częściej, niż w okresie nocy, są (co do wartości bezwzględnej) większe od 0,2, co wskazuje na potencjalnie większy wpływ zmiennych opisujących infrastrukturę drogową na liczbę wypadków przy świetle dziennym niż w nocy. Znacznie większe są również wartości współczynników korelacji liczby wypadków z natężeniem ruchu, które obligatoryjnie występuje we wszystkich modelach jako zmienna opisująca wystawienie na ryzyko wypadku. Długość odcinka droga ze zmiennych wystawienia na ryzyko, jest dużo mocniej skorelowana z liczbą wypadków w nocy niż przy świetle dziennym. Takie korelacje wskazują na mniejszą rolę natężenia ruchu, a większą długości odcinka niebezpiecznego jako miar wystawienia na ryzyko wypadku;
- Modele estymacji liczby wypadków, w których jedynymi zmiennymi objaśniającymi są L i N , charakteryzują się niższymi wartościami współczynnika R_p^2 (0,26-0,53) w okresie „dnia” niż w „nocy”, co wskazuje na potencjalnie większe znaczenie innych (poza L i N) determinant w objaśnieniu LW przy dobrych warunkach oświetlenia;
- Przypuszczenia odnośnie większego, przy świetle dziennym niż w okresie nocy, wpływu dodatkowych zmiennych na LW znalazły potwierdzenie. Obok zmiennych G_{sk} , G_{skzs} , G_{kpd} , G_{pd} , G_{pazz} , G_{pa} , G_{pps} i „typ przekroju poprzecznego”, które włączono do modeli estymacji LW , LW_{-alzm} i LW_{17-23} obejmujących cały zbiór dróg krajowych (baza

- DK-C-NO) oraz dla odcinków zamiejskich (DK-NZ-NO), przy świetle dziennym (DK-C-DZ i DK-NZ-DZ) istotne statystycznie okazały się również: G_{skbs} (gęstość skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej), G_{ipd} (gęstość indywidualnych punktów dostępności), G_{ppz} (gęstość zwykłych przejść dla pieszych), G_{ppw} (gęstość przejść dla pieszych z wyspą), G_{pp} (gęstość przejść dla pieszych) i $USPOK_{N/T}$ (występowanie uspokojenia ruchu). Do modeli predykcji LW na odcinkach przejść przez miejscowości w „dzień” (DK-Z-NO), w przeciwieństwie do modeli z okresu „nocy”, włączono dodatkowe zmienne: G_{dg} (gęstość dróg gruntowych) i „typ przekroju poprzecznego”;
- Obok większej liczby zmiennych występujących w modelach odpowiadających okresowi „dnia”, większy jest również ich wpływ na wzrost wartości zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 . Największy taki wzrost (0,09-0,12) zaobserwowano dla zmiennych „typ przekroju poprzecznego” (DK-C-DZ) oraz G_{pazz} i G_{pa} (DK-NZ-DZ). W modelach z okresu nocy poprawa ta była mniejsza. G_{kpd} jest jedyną zmienną, która w mniejszym stopniu determinuje powstawanie wypadków przy świetle dziennym niż w nocy;
 - Utworzenie modeli „reprezentatywnych” LW , tj. o najwyższej wartości zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 , spowodowało wzrost wartości tego współczynnika o 0,11 w przypadku wszystkich dróg krajowych i 0,21 w przypadku odcinków zamiejskich w stosunku do modeli, w których jedynymi zmiennymi niezależnymi są L i N . Wzrost ten jest 2-3 razy większy niż w modelach estymacji LW , LW_{-alm} i LW_{17-23} w okresie „nocy”, co jest potwierdzeniem większego wpływu pozostałych czynników na brd w „dzień”;
 - Wartości R_p^2 modeli reprezentatywnych estymacji LW wynoszą 0,48, 0,64 i 0,50 i są o 0,10-0,19 mniejsze od wartości R_p^2 w przypadku modeli odpowiadających okresowi nocy. W nocy duża część wariacji liczby wypadków jest wyjaśniona przez zmienne opisujące wystawienie na ryzyko;
 - Komercyjne punkty dostępności mają podobny wpływ na liczbę wypadków niezależnie od oświetlenia (tabl. 5.7 i rys. 5.5). Wiedza o większym w „dzień” wystawieniu na ryzyko w postaci natężeń ruchu związanych z obsługą punktów dostępności (szerszy opis w podpunktach (Skrzyżowania - wn. 1) i (Skrzyżowania - wn. 3) w rozdz. 5.2.4) pozwala domniemywać, że wpływ zjazdów komercyjnych na liczbę wypadków w „nocy” jest w dużym stopniu determinowany przez ograniczone warunki widoczności;
 - Skrzyżowania i przystanki autobusowe silniej wpływają na wzrost estymowanej w modelach liczby wypadków w „dzień” niż w „nocy” (tabl. 5.7, rys. 5.4, rys. 5.7 i rys. 5.8). Znaczenie skrzyżowań w nocy może być mniejsze z powodu mniejszych wartości natężeń, powodujących rzadsze przecinanie się strumieni pojazdów na skrzyżowaniach, co zostało szerzej opisane w rozdz. 5.2.4 w podpunktach (Skrzyżowania - wn. 1) i (Skrzyżowania - wn. 2). Prawdopodobieństwo konfliktu na skrzyżowaniu w „nocy” orientacyjnie oszacowane na ok. 24% w godz. 17:00-23:00 i ok. 6% po godz. 23:00 w stosunku do okresu „dnia” może sugerować, że ok. 2-krotny ilościowy spadek wpływu skrzyżowań na estymowaną liczbę wypadków w nocy jest zbyt niski w stosunku do spadku rzeczywistego wystawienia na ryzyko związanego

ze „spotkaniami” pojazdów na skrzyżowaniach. Takie oszacowania wskazują na większą rolę ograniczeń widoczności na skrzyżowaniach w nocy, niż wskazywałoby to tylko odczytanie wartości współczynników kierunkowych wprost z modeli. Rzadkie korzystanie z przystanków autobusowych w nocy oraz mniejsze natężenia ruchu pieszego w ich obrębie wpływają bezpośrednio na osłabienie znaczenia zmiennych G_{pazz} i G_{pa} w modelach predykcji LW w „nocy” w stosunku do „dnia”;

- Większe przy świetle dziennym niż w nocy jest również znaczenie zmiennej G_{pd} w objaśnieniu LW . Wy tłumaczeniem takiej różnicy jest większa w „dzień” aktywność otoczenia drogi i częstsze korzystanie z punktów dostępności;
- Typ przekroju poprzecznego wykazuje podobny, lecz o różnej sile, wpływ na liczbę wypadków we wszystkich okresach oświetlenia. Największe zagrożenie wypadkowe jest związane z przekrojem z chodnikiem, a najmniejsze z poboczem gruntowym lub bitumicznym. Taki wpływ jest charakterystyczny dla wielu modeli i został on wyjaśniony w podpunktach (Typ przekroju - wn. 1) i (Typ przekroju - wn. 3) w rozdz. 5.2.4;
- Na odcinkach zamiejskich, gdzie nie zaobserwowano wpływu typu przekroju poprzecznego na wypadkowość w nocy, przy świetle dziennym wpływ ten jest bardzo wyraźny. Przekrój z chodnikiem jest związany z prawie 3-krotnie większym zagrożeniem wypadkowym niż przekrój z poboczem bitumicznym. Dodatkowym czynnikiem powodującym taką skalę zagrożenia jest występowanie chodników na odcinkach zamiejskich głównie w obrębie skrzyżowań, obiektów użyteczności publicznej, przejść dla pieszych lub przystanków autobusowych, które są związane z większym wystawieniem na ryzyko wypadków z pieszymi oraz wypadków typu „pojazd-pojazd”.

Oszacowanie wpływu elementów infrastruktury na wybrane wskaźniki wypadkowe

Ograniczony wpływ dodatkowych, poza miarami wystawienia na ryzyko, zmiennych objaśniających na liczbę wszystkich wypadków, nie wyklucza jednak ich znaczącej roli w odniesieniu do wybranych typów wypadków. Do weryfikacji takiej hipotezy wykorzystano wyniki analiz modeli predykcji pozostałych wskaźników wypadkowych, wyszczególnionych w rozdz.5.2.2.

Zestawienie współczynników kierunkowych wszystkich zbudowanych modeli takich wskaźników znajduje się w tabl. Z5.12–tabl. Z5.28 w załączniku nr 2.

Ze względu na dużą liczbę wykonanych modeli oraz zidentyfikowanych wpływów poszczególnych elementów infrastruktury na wskaźniki wypadkowe, najpierw zestawiono wpływy w sposób ilościowy w tabl. 5.7, a następnie przedstawiono najważniejsze wnioski. W tabl. 5.7 pokazano procentowe zmiany liczby wypadków danego typu w przypadku wystąpienia określonej liczby elementów infrastruktury drogowej (np. 20 indywidualnych punktów dostępności, 2 przystanków autobusowych lub 1 skrzyżowania) lub danej wartości zmiennej jakościowej. W przypadku zmiennych jakościowych dychotomicznych (np. występowanie przeszkód punktowych, występowanie elementów uspokojenia ruchu) podana w tablicy zmiana liczby wypadków dotyczy sytuacji, kiedy zmienna przyjmuje

wartość „Tak” w porównaniu do wartości „Nie”. W przypadku typu przekroju poprzecznego przedmiotowa procentowa zmiana dotyczy porównania liczby wypadków przy znanym typie przekroju (np. CH) oraz średniej liczby wypadków dla wszystkich typów przekroju poprzecznego. Obok wpływu elementów infrastruktury na wybrane wskaźniki wypadkowe, w tabl. 5.7 uwzględniono również ich wpływ na liczbę wszystkich wypadków, który został już opisany w punktach „Modele predykcji liczby wypadków w nocy”, „Modele o zminimalizowanym wpływie tzw. ‘czynnika ludzkiego’” oraz „Modele predykcji wypadków w okresie światła dziennego i doby oraz porównanie identyfikowanych determinant wypadków w różnych okresach oświetlenia” niniejszego rozdziału. Należy zauważyć, że w tabl. 5.7 uwzględniono bazy wszystkich wypadków (DK-C-DZ i DK-C-NO) bez podziału wypadków na obszar zabudowany (DK-Z-DZ i DK-Z-NO) i niezabudowany (DK-NZ-DZ i DK-NZ-NO). Taki podział został natomiast uwzględniony we wnioskach szczegółowych oraz w tabl. Z5.1 i tabl. Z5.28 w załączniku nr 2.

W przypadku, gdy dany element infrastruktury drogowej szczególnie wpływa na liczbę wypadków konkretnego typu, obok wartości procentowej zmiany tej liczby, w tabl. 5.7 znajdują się oznaczenia w postaci „gwiazdek”. Jedna „gwiazdka” (*) oznacza, że włączenie zmiennej powiązanej z przedmiotowym elementem infrastruktury wpłynęło na wzrost wartości zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 w modelu predykcji liczby wypadków o min. 0,05. Dwie „gwiazdki” (**) wskazują, że przedmiotowa zmienna wystąpiła w „reprezentatywnym”, tj. o najwyższej wartości współczynnika R_p^2 przy zachowaniu kryterium istotności statystycznej wszystkich zmiennych, modelu predykcji liczby wypadków. Trzy „gwiazdki” oznaczają, że zmienna spełnia obydwa ((*) oraz (**)) warunki. Większa liczba „gwiazdek” wskazuje na potencjalnie większy wpływ danej zmiennej na stopień objaśnienia liczby wypadków. Oznaczenia przy pomocy „gwiazdek” należy traktować jako ważne uzupełnienie w identyfikacji roli danej zmiennej w modelu liczby wypadków. Niska wartość procentowa nie zawsze wskazuje zatem na mały wpływ danego elementu infrastruktury na liczbę wypadków. Wartości w nawiasach oznaczają oszacowanie na podstawie modelu predykcji liczby wypadków bez uwzględnienia wypadków potencjalnie mocno związanych z czynnikami osobowymi (wypadków niezwiązanych z alkoholem, zmęczeniem, ani zaśnięciem kierowcy lub wypadków w nocy w godz. 17:00-23:00). Brak wartości w rubryce tabl. 5.7 oznacza brak wpływu zmiennych opisujących dany element infrastruktury na dany wskaźnik wypadkowy.

W interpretacji ilościowych wpływów elementów infrastruktury na wskaźniki wypadkowe i porównaniu tych wpływów w różnych warunkach oświetlenia szczególne zastosowanie znajdują wskazówki zebrane w rozdz. 5.2.4.

Tabl. 5.7. Podsumowanie ilościowych wpływów elementów infrastruktury na liczbę wypadków w różnych porach doby na drogach krajowych.

elementy infrastruktury		liczba sztuk lub wartość	wypadki													
			wszystkie		z pieszymi		typu "pojazd- pojazd"		na skrzyżowaniach		w wyn. zderz. czołowego		w wyniku zderzenia bocznego		przy złym stanie nawierzchni	
			dzień	noc	dzień	noc	dzień	noc	dzień	noc	dzień	noc	dzień	noc	dzień	noc
punkty dostępności	wszystkie	20	20% (*)	11%	58% (***)	20% (*)	-	-	27%	-	-	-	-	-	-	13%
	indywidualne	20	15%	-	86% (*)	17%	-	-26% (**)	-	-	-	-	-	-34% (**)	-	-
	komercyjne	2	7% (***)	5(6)% (**)	22%	9% (*)	9% (***)	-	17% (***)	11%	-	-	18% (***)	-	-	5%
	polne/leśne	5	-	-	-35% (*)	-	-	-6%	-31% (*)	-52% (***)	-	-	-	-27%	-	-
przystanki autobusowe	wszystkie	2	26%	20(19)% (**)	82% (*)	33% (***)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20% (**)
	z zatoką	2	24% (**)	17(16)%	61% (***)	34% (*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	bez zatoki	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-72% (**)	-	-	-	-	-
przejścia dla pieszych	wszystkie	2	24% (*)	-	100% (**)	13% (***)	-	-14%	57% (*)	35% (*)	-	-	-	-	19%	-
	zwykłe	2	32%	-	122% (***)	19%	-	-	54%	45% (*)	-	-	-	-	29%	-
	z sygnalizacją	2	34%	-	168% (*)	34%	-	-	139% (*)	108% (*)	-	-	-	-	-	-
	z pulsatorem	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	z wyspą azylu	2	31%	-	99% (*)	21%	-	-25%	55% (***)	-	-	-	-	-	-	-
skrzyżowania	wszystkie	1	10% (*)	(4)%	36% (*)	7% (*)	8%	-	22% (***)	17% (*)	-	-	10%	11% (**)	-	-
	z sygnalizacją	1	21%	(20)%	73% (***)	-	-	-	77% (*)	78% (***)	-	-	32%	41%	-	-
	bez sygnalizacji	1	10% (*)	-	32% (*)	7% (*)	7% (**)	-	23% (*)	12%	-	-	9%	-	-	-
	typu "rondo"	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	drogi gruntowe	2	-	-	-52% (*)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
przeszkody	punktowe	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-55%	-	-	38%	-	-
	wszystkie	Tak	-	-	-	-	-	-	-	67%	-	-	-	-	-	-
	punktowe	Tak	-	-	-	-	-	-	36%	64% (**)	-61% (**)	-	-	85% (***)	-46% (**)	-
	ciągłe	Tak	-	-	89%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
elementy uspokojenia ruchu	Tak	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43% (**)	-
typ przekroju poprzecznego	chodnik	CH	23% (***)	(11)% (**)	82% (***)	25% (*)	14%	-15%	47% (*)	-	-	-	13%	-	22% (***)	-
	pobocze gruntowe	G	-17% (***)	(-12)% (**)	-48% (***)	-8% (*)	-3%	25%	-31% (*)	-	-	-	-11%	-	-19% (***)	-
	pobocze bitumiczne	B	-23% (***)	(2)% (**)	-49% (***)	-7% (*)	-21%	9%	-42% (*)	-	-	-	-30%	-	-31% (***)	-
	krawężnik	K	26% (***)	(0)% (**)	107% (***)	-7% (*)	14%	-13%	71% (*)	-	-	-	43%	-	47% (***)	-

(*) – zmienna wyrażająca dany element infrastruktury wpływa na wzrost wartości zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 w modelu predykcji liczby wypadków o min. 0,05,

(**) – zmienna wyrażająca dany element infrastruktury występuje w modelu „reprezentatywnym” liczby wypadków,

(**) – spełnione są łącznie warunki (*) i (***)

wartości w nawiasach oznaczają oszacowanie na podstawie modelu predykcji liczby wypadków niezwiązanych z czynnikami osobowymi.

Wnioski z budowy modeli predykcji wybranych wskaźników wypadkowych oraz porównanie identyfikowanych determinant wypadków w różnych porach doby

Przedstawione w tabl. 5.7 podsumowanie ilościowe wpływów elementów infrastruktury na estymowane wartości liczby wypadków różnych typów ujawniło większą liczbę tych wpływów niż w przypadku modeli odnoszących się do liczby wszystkich wypadków. Liczba oszacowanych wpływów jest wyraźnie większa pomimo tego, że w przedmiotowej tablicy nie uwzględniono podziału wypadków ze względu na zabudowę.

Podobnie jak w wykonanych w poprzednich punktach niniejszego rozdziału analizach modeli predykcji liczby wszystkich wypadków, również w przypadku analiz wybranych wskaźników wypadkowych nadrzędnym celem jest rozpoznanie rzeczywistego wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd. Takie rozpoznanie polega w głównej mierze na porównaniu wpływów elementów infrastruktury w różnych warunkach oświetlenia. Trudność interpretacji poszczególnych wpływów polega na różnicach charakterystyk ruchu drogowego przy świetle dziennym i w nocy. Różnice te zostały już wskazane w punkcie „Modele predykcji wypadków w okresie światła dziennego i doby oraz porównanie identyfikowanych determinant wypadków w różnych okresach oświetlenia” niniejszego rozdziału i dotyczą m.in.: warunków oświetlenia i percepcji drogi przez kierowców, różnych wartości natężeń ruchu powodujących różne wystawienie na ryzyko wypadku oraz różnej aktywności otoczenia. Ułatwieniem w interpretacji takich różnic będzie wiedza na temat uwarunkowań ruchu w nocy, opisana w rozdziałach 2.1 i 2.3. oraz wskazówki zebrane w rozdz. 5.2.4.

Wszystkie zbudowane modele wraz z ich współczynnikami i stopniami objaśnienia oraz macierze korelacji wszystkich zmiennych, które próbowano włączyć do modeli, zestawiono w tabl. Z5.6–tabl. Z5.28 w załączniku nr 2. W tabl. 5.8 i tabl. 5.9 zamieszczono wartości współczynników kierunkowych w „reprezentatywnych” (modelach o najwyższej wartości współczynnika R_p^2 przy zachowaniu kryterium istotności statystycznej wszystkich zmiennych zgodnie z opisem w rozdz. 5.2.3) regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków różnych typów w nocy i przy świetle dziennym. Modele te dotyczą estymacji liczby wypadków: typu „pojazd-pieszy” (LW_{ppi}), typu „pojazd-pojazd” (LW_{pp}), na skrzyżowaniach (LW_{sk}), w wyniku zderzenia czołowego (LW_{zcz}), w wyniku zderzenia bocznego (LW_{zbo}), w wyniku zderzenia tylnego (LW_{zty}) i przy złym stanie nawierzchni (LW_{naw}). Współczynniki kierunkowe odnoszą się do modelu predykcji wypadków o ogólnej postaci:

$$LW_i = L^{\beta_1} \cdot N^{\beta_2} \cdot \exp\left(\beta_0 + \sum_{j=3}^k \beta_j \cdot x_{ji}\right) \quad (5.12)$$

gdzie:

- β_0, \dots, β_k – nieznanne parametry modelu, współczynniki kierunkowe przy zmiennych,
- x_{ji} – obserwowane nielosowe zmienne niezależne,
- LW_i – zmienna zależna w postaci liczby wszystkich wypadków lub wypadków danego typu.

Tabl. 5.8. Zestawienie współczynników kierunkowych w reprezentatywnych regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków różnych typów w nocy na drogach krajowych.

Baza	Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																		R^2	R_p^2	
				ilościowych																	jakościowych			
				lnL	lnN	G_{sk}	G_{skzs}	G_{drg}	G_{ipd}	G_{lppd}	G_{ipd}	G_{pd}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{pp}	G_{prap}	G_{przc}	G_{bar}	G_l	$WPRZP_T$	$WPRZC_T$			
DK-C-NO	LW_{ppi}	5.4.34	-2,521	1,011	0,320	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,142	0,059	-	-	-	-	-	-	0,41	0,45
	LW_{pp}	5.6.9	-1,801	0,881	0,292	-	-	-	-0,014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,358	-	-	0,31	0,34
	LW_{sk}	5.7.13	-4,015	1,028	0,495	-	0,505	-	-	-	-0,123	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,199	-	0,32	0,35
	LW_{zbo}	5.10.9	-	1,020	-0,043	0,115	-	-	-0,024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,281	-	0,25	0,28
	LW_{naw}	5.12.5	-1,773	0,883	0,269	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,093	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,39
DK-NZ-NO	LW_{ppi}	5.15.2	-3,051	1,118	0,450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,59
	LW_{pp}	5.17.6	-	1,078	0,105	-	-	-	-	-	-	-0,017	-	-	-	-	-	-0,808	-	-	-	-	0,43	0,47
	LW_{sk}	5.18.5	-3,617	1,404	0,415	-	0,424	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,092	-	-	-	-	-	0,45	0,49
	LW_{zbo}	5.20.6	-	1,096	-0,050	-	-	0,175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,498	-	0,36	0,40
	LW_{naw}	5.22.1	-	1,042	0,071	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,42	0,46
DK-NZ-NO	LW_{ppi}	5.25.8	-2,664	0,969	0,314	-	-	-	-	-	-	0,021	0,146	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,34
	LW_{pp}	5.27.10	-3,714	1,021	0,537	-	-	-	-	0,063	-0,034	-	-	-	-	-	-	-0,507	-	-	-	0,226	0,45	0,49
	LW_{sk}	5.28.16	-4,013	1,281	0,492	-	0,963	-	-0,050	-	-0,147	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,41
	LW_{zcz}	5.30.3	-5,051	0,866	0,627	-	-	-	-	-	-0,064	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,22
	LW_{zbo}	5.31.11	-3,793	1,439	0,414	0,255	-	-	-	-	-0,072	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,34
	LW_{naw}	5.33.3	-2,207	0,764	0,341	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,534	-	-	-	0,28	0,32

Tabl. 5.9. Zestawienie współczynników kierunkowych w reprezentatywnych regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków różnych typów przy świetle dziennym na drogach krajowych.

Baza	Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																							R^2	R_p^2				
				ilościowych																	jakościowych											
				lnL	lnN	G_{sk}	G_{sksz}	G_{skbs}	G_{dg}	G_{lpd}	G_{kpd}	G_{lpd}	G_{pd}	G_{pabz}	G_{paz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{ppw}	G_{pp}	G_{bar}	Kręt	G_w	WPRZP _T	WPRZC _T	Przekrój				USPOK _T			
																									CH	G				B	K	
DK-C-DZ	LW _{ppi}	5.37.20	-7,028	1,375	0,630	-	0,464	-	-	-	-	-	0,013	-	0,167	-	0,318	-	-	-	-	-	-	-	-	0,365	-0,499	-0,451	0,585	-	0,50	0,52
	LW _{pp}	5.39.7	-4,837	0,876	0,609	-	-	0,057	-	-	0,038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,42	
	LW _{sk}	5.40.15	-2,925	1,004	0,244	0,165	-	-	-	-	0,059	-	-	-	-	-	0,144	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,39	
	LW _{zcz}	5.42.6	-6,074	1,036	0,587	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,30	
	LW _{zbo}	5.43.6	-2,444	1,055	0,243	-	-	-	-	-	0,081	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,33	
	LW _{zty}	5.44.9	-11,518	0,566	1,209	-	-	0,137	-	-	-	-	-	0,251	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,23	
	LW _{naw}	5.45.7	-4,238	0,660	0,489	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,26	
DK-Z-DZ	LW _{ppi}	5.47.15	-4,600	1,072	0,477	-	-	-	-	-	-	-	-0,369	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,488	0,238	-0,409	-0,002	0,173	-	0,57	0,62
	LW _{pp}	5.49.6	-4,992	0,984	0,682	-	-	-	0,110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57	0,59	
	LW _{sk}	5.50.14	-3,288	1,099	0,404	-	0,330	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57	0,60	
	LW _{zcz}	5.52.6	-8,341	1,113	0,912	-	-	-	-	-	-0,075	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,35	
	LW _{zbo}	5.53.6	-	1,199	0,113	-	-	-	-	-	-0,019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	0,50	
	LW _{zty}	5.54.4	-9,222	0,916	1,011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,35	
	LW _{naw}	5.55.10	-7,228	1,055	0,759	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,155	-	-	1,274	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52	0,55	
DK-NZ-DZ	LW _{pp}	5.58.10	-3,945	0,950	0,482	-	-	0,162	-	-	0,047	-	-	-	0,179	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,128	0,50	0,51	
	LW _{zcz}	5.60.7	-5,986	1,141	0,555	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,008	-	-0,559	-	-	-	-	-	-	0,30	0,56	
	LW _{zbo}	5.61.11	-3,837	1,222	0,354	-	-	0,203	-	-	-	-	-	-	0,286	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,43	

Występujące w tabl. 5.8 i tabl. 5.9 symbole oznaczają:

- G_{skzs} – gęstość skrzyżowań z sygnalizacją świetlną [szt./km],
 - G_{dg} – gęstość dróg gruntowych [szt./km],
 - G_{ipd} – gęstość indywidualnych punktów dostępności [szt./km],
 - G_{lpd} – gęstość leśnych/ polnych punktów dostępności [szt./km],
 - G_{pabz} – gęstość przystanków autobusowych bez zatoki [szt./km],
 - G_{ppz} – gęstość zwykłych przejść dla pieszych [szt./km],
 - G_{ppw} – gęstość przejść dla pieszych z wyspą azylu [szt./km],
 - G_{pp} – gęstość wszystkich przejść dla pieszych [szt./km],
 - G_{przp} – gęstość przeszkód bocznych punktowych w skrajni drogi [szt./km] (jako przeszkody punktowe interpretowano drzewa, słupy oraz inne obiekty, znajdujące się w skrajni drogi),
 - G_{przc} – gęstość przeszkód bocznych ciągłych w skrajni drogi [km/km],
 - G_{bar} – gęstość barier w skrajni drogi [km/km],
 - G_l – gęstość lasu [km/km],
 - G_{przcw} – gęstość wszystkich przeszkód z barierami i lasem w skrajni drogi [km/km],
 - G_{nt} – gęstość niebezpiecznych łuków poziomych [szt./km],
 - $Kr_{\text{ę}}t$ – krętość drogi [stopni/ km],
 - G_w – gęstość wysp pomiędzy pasami jezdni [szt./km],
 - $WPRZP_{NT}$ – występowanie przeszkód punktowych (zmienna jakościowa Tak/Nie; w przypadku występowania przeszkód punktowych $WPRZP_T=1$, a $WPRZP_N=0$; w przeciwnym przypadku $WPRZP_T=0$, a $WPRZP_N=1$).
 - $WPRZC_{NT}$ – występowanie przeszkód ciągłych (zmienna jakościowa Tak/Nie; przyjmuje wartości 1 lub 0 analogicznie, jak zmienna $WPRZP_{NT}$).
- Pozostałe oznaczenia są takie same, jak w tabl. 5.6, we wzorach (5.13.5) i (5.81.8).

Formułowanie wniosków z przedmiotowych analiz oparto na porównaniu zbudowanych modeli predykcji wypadków różnych typów w okresie światła dziennego z modelami obejmującymi okres nocy, wskazaniu różnic i identyfikacji roli oświetlenia. Modele z okresu całej doby zostały pominięte, ponieważ stanowiły złożenie modeli z „dnia” i „nocy”, tzn. zawierały zbiór tych samych determinant, często o mniejszej sile wpływu na zmienną zależną. Przedstawione poniżej szczegółowe wnioski z budowy modeli predykcji liczby wypadków różnych typów podzielono na podpunkty. W pierwszej kolejności opisano spostrzeżenia dotyczące modeli predykcji wszystkich wybranych wskaźników wypadkowych, a następnie wnioski oddzielne dla każdego estymowanego wskaźnika.

Wnioski dotyczące modeli predykcji wybranych wskaźników wypadkowych

- Obok modeli predykcji wskaźników wypadkowych: LW_{ppi} , LW_{pp} , LW_{sk} , LW_{zcz} , LW_{zbo} i LW_{naw} w obu porach doby wstępne kryterium objaśnienia (opisane w rozdz. 5.2.3), zostało spełnione również dla zmiennej LW_{zty} przy świetle dziennym. Modele predykcji pozostałych zmiennych zależnych uznano za nieistotne statystycznie. Modele estymacji LW_{zty} nie będą podlegać szczegółowym ocenom ze względu na brak możliwości porównania wpływów w różnych warunkach oświetlenia;
- Wyższe niż w okresie nocy wartości korelacji r_s Spearmana (przykład w tabl. Z5.2 i tabl. Z5.3 w załączniku nr 2) pomiędzy zmiennymi opisującymi infrastrukturę drogową a wskaźnikami wypadkowymi wskazują na potencjalnie większy wpływ cech dróg na brd w „dzień” niż w „nocy”. Znacznie większe są również wartości r_s

zmiennych zależnych z natężeniem ruchu, które obligatoryjnie występuje we wszystkich modelach jako zmienna opisująca wystawienie na ryzyko wypadku. Długość odcinka druga ze zmiennych wystawienia na ryzyko, jest z podobną siłą skorelowana z wartościami wskaźników wypadkowych w obu rozpatrywanych okresach oświetlenia. Wpływ natężenia ruchu może zatem osłabiać znaczenie pozostałych czynników determinujących liczbę wypadków przy świetle dziennym. W okresie „dnia” i „nocy” zaobserwowano następujące korelacje: LW_{ppi} z gęstościami przejść dla pieszych i przystanków autobusowych oraz LW_{sk} z gęstościami skrzyżowań i przejść dla pieszych. Charakterystyczne jedynie dla okresu światła dziennego są związki pomiędzy LW_{ppi} a gęstościami punktów dostępności, LW_{zbo} a gęstościami przejść dla pieszych i LW_{naw} a gęstościami skrzyżowań. Stwierdzonej w przypadku danych z okresu nocy korelacji LW_{zcz} z gęstościami punktów dostępności nie potwierdzono przy świetle dziennym. Związek LW_{zbo} z gęstościami skrzyżowań jest natomiast słabszy w „dzień” niż w „nocy”. Korelacje pomiędzy LW_{pp} i punktami dostępności w nocy są ujemne, a przy świetle dziennym dodatnie;

- Wartości R_p^2 (5.4) w modelach „podstawowych” (w których jedynymi zmiennymi objaśniającymi są L i N) predykcji wybranych wskaźników wypadkowych są we wszystkich okresach oświetlenia podobne i zawierają się w przedziale 0,12-0,53 (wartość mniejsza niż w modelach predykcji LW). Wstępnie modele predykcji wypadków różnych typów mają podobny w rozpatrywanych porach doby potencjał włączenia dodatkowych zmiennych niezależnych;
- Wpływ cech infrastruktury dróg na liczbę wypadków, w tym wypadków różnych typów jest zależny od warunków oświetlenia. Większe przy świetle dziennym wartości natężeń ruchu pojazdów (w tym również ruchu z kierunków bocznych) oraz wzrost aktywności otoczenia (w tym obsługi zjazdów publicznych, przejść dla pieszych, przystanków autobusowych, stanowiących generatory potencjalnych konfliktów w ruchu) są prawdopodobnie przyczyną rozpoznania większej liczby wpływów o zazwyczaj większej sile oddziaływania na zmienną zależną niż w nocy. Zidentyfikowano również szereg determinant powstawania wypadków, które można przypisać ograniczonym warunkom oświetlenia, charakterystycznym w okresie nocy. Część zmiennych wykazała silniejszy wpływ na wartości wskaźników wypadkowych w „nocy” niż w „dzień”. W niektórych modelach zarówno przy świetle dziennym, jak i w nocy, cechy infrastruktury mają większe znaczenie w wyjaśnieniu wariancji zmiennej zależnej niż L i N ;

Wnioski dotyczące modeli predykcji liczby wypadków typu „pojazd-pieszny”

- Przy świetle dziennym i w nocy zaobserwowano podobnie dużą liczbę wpływów na zmienną zależną LW_{ppi} . Różnica polega na tym, że modele dla odcinków zamiejskich z okresu „dnia” (baza DK-NZ-DZ) nie spełniły wstępnego kryterium objaśnienia (opisanego w rozdz. 5.2.3), ze względu na małą liczebność wypadków z pieszymi poza zabudową, co jest potwierdzeniem dużego wpływu warunków oświetlenia na bezpieczeństwo pieszych poruszonego m.in. w pracy [27] i opisanego w rozdz. 2.1.1. Problem ograniczonej widoczności pieszych jest szczególnie wyraźny na odcinkach zamiejskich. Przyczyna tego problemu leży po dwóch stronach:

kierujących pojazdami, którzy nie są świadomi ograniczeń widoczności pieszych w nocy i nie przystosowują prowadzenia pojazdu do tych warunków oraz pieszych, którzy nie są świadomi ich słabej dostrzegalności przez kierowców;

- W modelach obejmujących okres „dnia” rozpoznano szeroki zbiór drogowych czynników wpływających na LW_{ppi} na odcinkach zabudowanych (DK-Z-DZ), czego nie udało się uzyskać w odniesieniu do zbioru danych z okresu „nocy” (DK-Z-NO);
- Włączenie dodatkowej zmiennej do modelu powoduje większy wzrost współczynnika R_p^2 (5.4) w „dzień” (DK-C-DZ) niż w „nocy” (DK-C-NO). Niezależnie od warunków oświetlenia duży wpływ na estymowaną wartość LW_{ppi} mają zmienne: „typ przekroju poprzecznego”, G_{sk} , G_{skbs} , G_{pd} , G_{pazz} i G_{pa} . Przy świetle dziennym zidentyfikowano również wpływ na LW_{ppi} zmiennych: G_{ppz} , G_{pps} , G_{ppw} , G_w , G_{skzs} , G_{dg} , G_{ipd} i G_{lpd} , a w nocy: G_{kpd} i G_{pp} . Wszystkie wymienione zmienne, pomimo różnej ich liczby w zależności od warunków oświetlenia, opisują te same obiekty infrastruktury drogowej: skrzyżowania, punkty dostępności, przystanki autobusowe i przejścia dla pieszych. Zarówno siła, jak i liczba wpływów świadczy o większej roli infrastruktury drogowej w powstawaniu wypadków z pieszymi w „dzień” niż w „nocy”;
- Oprócz dużego wpływu na stopień objaśnienia modeli predykcji LW_{ppi} przez zidentyfikowane zmienne, większy niż w okresie nocy (za wyjątkiem zmiennych G_{pp} , G_{sk} i G_{pa}) jest też ich wpływ na wartość zmiennej zależnej (wpływy ilościowe zestawiono w tabl. 5.7), co może być związane z mniejszym wystawieniem na ryzyko w postaci natężeń ruchu pieszego w nocy. Jak pokazano w analizach danych statystycznych (rozd. 4), w nocy występuje również znaczny wzrost udziału wypadków z pieszymi na odcinkach zamiejskich. Wzrost ten, ze względu na korelację zabudowy z zagęszczeniem elementów infrastruktury, może być jedną z przyczyn mniejszego ilościowego wpływu tych elementów na LW_{ppi} w „nocy” niż w „dzień”;
- Odcinki o przekrojach z chodnikiem lub z krawężnikiem charakteryzują się 5 razy wyższym zagrożeniem w „dzień” oraz 1,5-krotnie wyższym w „nocy” niż odcinki z poboczami bitumicznymi lub gruntowymi. Wpływ typu przekroju poprzecznego na LW_{ppi} jest podobny, jak w wielu wcześniej opisanych modelach, a jego specyfikę przedstawiono w podpunktach (Typ przekroju - wn. 1) i (Typ przekroju - wn. 3) w rozdz. 5.2.4. Opisana w ww. podpunktach interpretacja wpływu typu przekroju poprzecznego na liczbę wszystkich wypadków, dotycząca głównie bezpieczeństwa pieszych jest szczególnie uzasadniona w przypadku modeli predykcji LW_{ppi} .

Szczegółowe wnioski dotyczące modeli predykcji liczby wypadków typu „pojazd- pojazd”

- Wzrost stopnia objaśnienia modeli predykcji liczby wypadków typu „pojazd-pojazd” (LW_{pp}) oraz istotność statystyczną w modelach z okresu „dnia” uzyskano dla zmiennych ilościowych: G_{sk} , G_{skbs} i G_{kpd} , a w modelach z okresu „nocy” dla zmiennych: G_{ipd} , G_{lpd} , G_{ppw} , G_{pp} i G_l . Skrzyżowania i komercyjne punkty dostępności są bezpośrednim czynnikiem wystawienia na ryzyko wypadków typu „pojazd-pojazd”, w szczególności zderzeń bocznych w okresie „dnia”, kiedy występują duże wartości natężeń ruchu. Wzrost wszystkich gęstości w modelach z okresu nocy, za wyjątkiem G_l , jest jednoznaczny ze spadkiem estymowanej liczby wypadków;

- Wspólną dla okresów „dnia” i „nocy” zmienną występującą w modelach predykcji LW_{pp} na wszystkich odcinkach dróg krajowych jest „typ przekroju poprzecznego”. W nocy obecność pobocza gruntowego lub bitumicznego związana jest z większą liczbą wypadków typu „pojazd-pojazd” niż na odcinkach o przekrojach z krawężnikiem lub chodnikiem. W „dzień” zagrożenie przedmiotowymi wypadkami jest większe na odcinkach o przekrojach z chodnikiem lub krawężnikiem niż na odcinkach o przekrojach z poboczami. Tendencja do osłabienia w okresie nocy związku pomiędzy przekrojem z chodnikiem a liczbą wypadków jest typowa i była opisywana w podpunktach (Typ przekroju - wn. 1) i (Typ przekroju - wn. 3) w rozdz. 5.2.4. Rozpoznany wpływ przekroju poprzecznego na przedmiotowy wskaźnik wypadkowy może wynikać z większej redukcji wystawienia na ryzyko w postaci natężeń ruchu z kierunków bocznych na przejściach przez miejscowości, mniejszego prawdopodobieństwa konfliktu typu „zderzenie tylne” w okresie nocy oraz z wysokiego, niezależnie od warunków oświetlenia, zagrożenia wypadkami w wyniku zderzenia czołowego poza zabudową;
- Estymowana wartość LW_{pp} na obszarze zabudowanym (baza DK-Z-DZ) jest zależna od: G_{dg} , G_{pazz} i G_{pa} . Wzrost gęstości dróg gruntowych jest związany ze wzrostem liczby wypadków typu „pojazd-pojazd”, natomiast obecność przystanków wpływa na spadek LW_{pp} . Wskazany zestaw zmiennych różni się od modeli z okresu nocy (baza DK-Z-NO), w których wystąpiły zmienne: G_{ipd} , G_{pd} , G_{przc} oraz $WPRZP_{N/T}$;
- Na odcinkach zamiejskich (bazy DK-NZ-DZ i DK-NZ-NO), niezależnie od warunków oświetlenia, głównymi determinantami LW_{pp} są zjazdy publiczne (G_{kpd}) oraz skrzyżowania (G_{sk}). Spośród nich przy świetle dziennym większy wpływ na wzrost zagrożenia mają skrzyżowania bez sygnalizacji świetlnej (G_{skbs}), a w „nocy” skrzyżowania z sygnalizacją (G_{skzs}). W okresie „dnia” na poprawę stopnia objaśnienia modeli LW_{pp} wpływają również: przystanki autobusowe (G_{pazz} i G_{pa}), „typ przekroju poprzecznego” oraz obecność uspokojenia ruchu ($USPOK_{N/T}$), a w nocy przeszkody boczne (G_{przc} , $WPRZC_{N/T}$ i $WPRZ_{N/T}$) i leśne/ polne punkty dostępności (G_l);
- Zarówno wpływ komercyjnych punktów dostępności, jak i skrzyżowań na wartość zmiennej zależnej LW_{pp} jest większy przy świetle dziennym niż w nocy (tabl. 5.7). Zależności te są podobne, jak w modelach predykcji LW , a ich interpretacja została przedstawiona w podpunktach (Skrzyżowania - wn. 1), (Skrzyżowania - wn. 2) i (Skrzyżowania - wn. 3) w rozdz. 5.2.4;

Wnioski dotyczące modeli predykcji liczby wypadków na skrzyżowaniach

- Liczba wypadków na skrzyżowaniach LW_{sk} niezależnie od pory doby jest determinowana głównie przez zmienne G_{sk} i G_{skzs} . Ponadto na wzrost zagrożenia takimi wypadkami na wszystkich odcinkach dróg krajowych (bazy DK-C-DZ i DK-C-NO) wpływają zmienne: G_{skbs} , G_{kpd} , G_{ipd} , G_{pp} , G_{ppz} , G_{pps} i $WPRZP_{N/T}$, a w okresie „dnia” również: G_{pd} , G_{ppw} , G_w i „typ przekroju poprzecznego”;
- Zmienne G_{sk} , G_{skbs} i G_{kpd} mają większy wpływ na wartość LW_{sk} w „dzień” niż w „nocy” (tabl. 5.7). Oszacowane wpływy są podobne, jak w przypadku innych

- modeli, a ich specyfika została opisana w podpunktach (Skrzyżowania - wn. 1), (Skrzyżowania - wn. 2) i (Skrzyżowania - wn. 3) w rozdz. 5.2.4;
- Nieznacznie większy w „dzień” niż w „nocy” jest również wpływ przejść dla pieszych (G_{ppz} i G_{pps}) na liczbę wypadków na skrzyżowaniach. Wpływ ten wskazuje na różnicę zagrożenia brd pomiędzy skrzyżowaniami z przejściami dla pieszych i bez takich przejść. Mając na uwadze różnice wystawienia na ryzyko w obu rozpatrywanych okresach, należy zauważyć, że utrzymujący się w nocy duży wpływ przejść dla pieszych na estymowaną wartość LW_{sk} może być determinowany przez nocne ograniczenia widoczności;
 - Skrzyżowania z sygnalizacją świetlną wykazują podobny ilościowy wpływ na estymowaną wartość LW_{sk} niezależnie od warunków oświetlenia (tabl. 5.7), co wobec znacznego spadku wystawienia na ryzyk w nocy, świadczy o wzroście roli ograniczeń widoczności w powstawaniu wypadków;
 - Przeszkody punktowe w skrajni drogi przyczyniają się do większego wzrostu zagrożenia wypadkami na skrzyżowaniach w „nocy” niż w „dzień”;
 - Wzrost gęstości leśnych/ polnych punktów dostępności jest związany ze spadkiem wartości LW_{sk} niezależnie od warunków oświetlenia (tabl. 5.7). Potencjalne przyczyny takiego wpływu opisano w podpunkcie (Skrzyżowania - wn. 4) w rozdz. 5.2.4;
 - Przekroje z chodnikiem lub krawężnikiem, niezależnie od obszaru zabudowy, są związane z większym zagrożeniem wypadkami na skrzyżowaniach przy świetle dziennym (tabl. 5.7). Wskazówki dotyczące interpretacji takiej skali zagrożenia opisano w podpunkcie (Typ przekroju - wn. 1) w rozdz. 5.2.4. W nocy nie wykazano wpływu typu przekroju poprzecznego na estymowaną wartość LW_{pp} ;
 - Na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-DZ), obok wspomnianego powyżej znacznego wpływu zmiennej G_{skzs} na estymowaną wartość LW_{sk} , w przedmiotowych modelach znajdują się również zmienne: G_{sk} , G_{skbs} , G_{ipd} , G_{kpd} , G_{pazz} , G_{pa} , G_{pp} , G_{ppw} , G_{pps} i G_w . Żadna z tych zmiennych nie została włączona do modeli obejmujących okres nocy (baza DK-Z-NO), w których istotne okazały się wpływy wynikające z obecności przeszkód bocznych. Niespodziewanie uzyskany wpływ przystanków autobusowych jest pośredni i uwzględnia występowanie tych elementów również poza obrębem skrzyżowań. Potwierdzeniem pośredniego wpływu jest ujemna korelacja zmiennych G_{pazz} i G_{pa} ze zmienną LW_{sk} ;
 - W nocy (DK-NZ-NO) duże znaczenie w poprawie objaśnienia LW_{sk} poza zabudową mają: skrzyżowania, punkty dostępności, przejścia dla pieszych, wyspy, przeszkody oraz „typ przekroju poprzecznego”;
 - Odcinki o przekroju z krawężnikiem lub z chodnikiem charakteryzują się największym zagrożeniem wypadkami na skrzyżowaniach w „dzień”. Powody takiego nieoczekiwanego wpływu zostały opisane (Typ przekroju - wn. 4) w rozdz. 5.2.4.

Wnioski dotyczące modeli predykcji liczby wypadków powstałych w wyniku zderzenia czołowego

- W modelach predykcji liczby wypadków powstałych w wyniku zderzenia czołowego LW_{zcz} przy świetle dziennym istotne statystycznie oraz wpływające na wzrost wartości

R_p^2 (5.4) o 0,03 0,14 są zmienne: G_{pabz} , G_{przp} i $WPRZP_{N/T}$ na wszystkich odcinkach bez względu na zabudowę (baza DK-C-DZ), G_{kpd} , G_{pabz} i G_{pazz} na przejściach przez miejscowości (DK-Z-DZ) oraz G_{dg} , G_{nl} , $Kręt$ i $WPRZP_{N/T}$ na odcinkach zamiejskich (DK-NZ-DZ). Modele predykcji LW_{zcz} dla danych z okresu nocy spełniły kryterium istotności jedynie w przypadku zamiejskich odcinków dróg krajowych (baza DK-NZ-NO). Wpływ na zmienną zależną w tych modelach wykazała tylko jedna zmienna G_{lpd} .

Wnioski dotyczące modeli predykcji liczby wypadków powstałych w wyniku zderzenia bocznego

- W całej grupie dróg krajowych (bazy DK-C-DZ i DK-C-NO) liczba wypadków w wyniku zderzenia bocznego LW_{zbo} w „dzień” i w „nocy” jest determinowana przez zmienne G_{sk} i G_{skzs} . Charakterystyczne jedynie w modelach obejmujących okres „dnia” są wpływy zmiennych: G_{skbs} , G_{kpd} i „typ przekroju poprzecznego”, a w „nocy” zmiennych: G_{lpd} , G_{lpd} , G_{przp} , G_l i $WPRZP_{N/T}$ na estymowaną wartość LW_{zbo} . Mniejsza liczba wpływów w „dzień” niż w okresie nocy została zrekompensowana ich większym znaczeniem w objaśnieniu modelu;
- Wpływ wszystkich skrzyżowań na LW_{zbo} jest niezależny od warunków oświetlenia i występowania zabudowy. Wpływ skrzyżowań z sygnalizacją świetlną na przedmiotową liczbę wypadków wzrasta w nocy (tabl. 5.7);
- Obecność przekroju z krawężnikiem, niezależnie od obszaru zabudowy, jest związana z największym zagrożeniem wypadkami w okresie „dnia”. „Najbezpieczniejsze” są odcinki z poboczami bitumicznymi. Potencjalne przyczyny takich wpływów zostały opisane w podpunkcie (Typ przekroju - wn. 1) w rozdz. 5.2.4;
- Na obszarze zabudowanym (DK-Z-DZ i DK-Z-NO) bez względu na okres doby nie zidentyfikowano spodziewanego wpływu skrzyżowań na estymowaną wartość LW_{zbo} . Do modeli predykcji LW_{zbo} obejmujących okres „dnia” włączono zmienne: G_{lpd} , G_{pazz} , G_{pa} i $WPRZP_{N/T}$. Wzrost wartości ww. zmiennych ilościowych oraz obecność przeszkód ciągłych są równoznaczne ze spadkiem obliczanej z modelu wartości LW_{zbo} . Żadna z tych zmiennych nie miała wpływu na estymowane wartości LW_{zbo} w „nocy”, kiedy istotne statystycznie okazały się: G_{dg} , G_{przp} , $WPRZP_{N/T}$ i „typ przekroju poprzecznego”;
- Niezależnie od warunków oświetlenia na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (DK-NZ-DZ i DK-NZ-NO) LW_{zbo} jest determinowana przez zmienne G_{sk} , G_{skbs} , G_{ppw} , G_{pp} i G_w . Poza nimi w okresie światła dziennego zaobserwowano wpływ: G_{pazz} , G_{pa} , G_{ppz} i „typu przekroju poprzecznego”, a w nocy: G_{lpd} , G_{pps} i G_{przc} . Uwidocznienie się wpływu przystanków autobusowych jest związane z ich częstą lokalizacją w pobliżu skrzyżowań i większym wykorzystaniem tych przystanków przy świetle dziennym niż w nocy;
- Zmienna G_{skzs} , istotna statystycznie w modelach predykcji LW_{zbo} na wszystkich odcinkach dróg krajowych niezależnie od pory doby, nie wykazała takiej istotności w żadnym z modeli uwzględniających podział ze względu na zabudowę;
- Jednakowy w „dzień” i w „nocy” jest wpływ skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej i przejść dla pieszych (w tym przejść z wyspą) na estymowaną wartość LW_{zbo} ;

- Występowanie chodnika lub krawężnika na odcinkach zamiejskich wiąże się z największym zagrożeniem wypadkami w wyniku zderzenia bocznego przy świetle dziennym. Potencjalne przyczyny takiego wpływu opisano w podpunkcie (Typ przekroju - wn. 4) w rozdz. 5.2.4.

Wnioski dotyczące modeli predykcji liczby wypadków powstałych w wyniku zderzenia tylnego

- Determinantami wypadków powstałych w wyniku zderzenia tylnego LW_{zty} w „dzień” są skrzyżowania (G_{sk} , G_{skbs}), punkty dostępności (G_{ipd} , G_{kpd} , G_{pd}) i przystanki autobusowe (G_{pabz} , G_{pazz} , G_{pas}), a na przejściach przez miejscowości również krętość drogi ($Kręł$).

Wnioski dotyczące modeli predykcji liczby wypadków powstałych przy złym stanie nawierzchni

- Liczba wypadków, których okolicznością był zły stan nawierzchni LW_{naw} przy świetle dziennym (baza DK-C-DZ) jest zależna od innych czynników niż w nocy (DK-C-NO). Zmiennymi wpływającymi na LW_{naw} w okresie „dnia” są: G_{ppw} , G_{pp} , $WPRZP_{N/T}$, $USPOK_{N/T}$ i „typ przekroju poprzecznego”, a w „nocy”: G_{kpd} , G_{pd} , G_{pa} . Wartość LW_{naw} jest z założenia determinowana przez zły stan nawierzchni, obejmujący przede wszystkim działanie czynników atmosferycznych, niezwiązanych z infrastrukturą drogową. Ewentualny wpływ cech dróg jest w związku z tym pośredni, co sprawia trudności w identyfikacji potencjalnego znaczenia warunków oświetlenia w opisie LW_{naw} ;
- W zbiorze danych z odcinków zamiejskich (DK-NZ-DZ) nie określono wpływu elementów infrastruktury drogowej na LW_{naw} w okresie „dnia”. W „nocy” (DK-NZ-NO) dodatkową rolę w opisie LW_{naw} na przedmiotowych odcinkach odegrała zmienna G_{bar} , której wzrost wpływał na spadek liczby przedmiotowych wypadków, co wskazuje, że bariery mogą częściowo zapobiegać skutkom złego stanu nawierzchni. Na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości w „dzień” (DK-Z-DZ) zaobserwowano odwrotny wpływ, tzn. wzrost wartości G_{bar} jest związany ze wzrostem LW_{naw} , co może wyrażać większą liczbę wypadków typu „pojazd-pojazd” przy złym stanie nawierzchni.

5.2.6. Modele predykcji wypadków na drogach wojewódzkich Małopolski

Drogi wojewódzkie Małopolski ze względu na niższą klasę z reguły charakteryzują się częstym występowaniem granicznych (minimalnych) wartości parametrów geometrycznych oraz obecnością różnych urządzeń w otoczeniu drogi, które mogą niekorzystnie wpływać na bezpieczeństwo ruchu. Ponadto niższa klasa dróg pociąga za sobą mniejsze wymagania odnośnie kontroli dostępności, obudowy dróg, czy też obecności urządzeń poprawiających bezpieczeństwo pieszych. Rola tych elementów powinna rosnać w warunkach nocnych ograniczeń widoczności, gdy ich percepcja może być utrudniona. Tym samym można przypuszczać, że wraz z pogorszeniem standardu technicznego drogi wzrośnie rola czynników infrastrukturalnych wśród przyczyn wypadków. Ponadto na drogach niższych klas występują mniejsze natężenia ruchu i tym samym można przypuszczać, że wypadki mogą być

w większym stopniu determinowane przez inne czynniki, niż ma to miejsce na drogach krajowych, na których natężenie ruchu pojazdów jako miara wystawienia na ryzyko jest dominującą zmienną objaśniającą w modelach predykcji wypadków.

Podobnie jak w przypadku dróg krajowych, stworzono modele oddzielnie dla 9 baz danych podzielonych według kryteriów występowania zabudowy oraz okresu doby (zgodnie z podziałem podanym w 5.2.1). Ze względu na zgodny z przypuszczeniami wpływ innych, poza miarami wystawienia na ryzyko, determinant powstawania wypadków, zbudowano 15 modeli „reprezentatywnych” (zgodnie z opisem w rozdz. 5.2.3), tj. modeli o najwyższej wartości współczynnika R_p^2 (5.4) przy zachowaniu kryterium istotności statystycznej wszystkich zmiennych. Modele reprezentatywne oraz specjalnie wyselekcjonowane 15 modeli obejmujących okres nocy zostały wybrane do szczegółowej analizy. Budowa dużej liczby modeli powinna umożliwić sformułowanie wniosków na temat wpływu poszczególnych zmiennych na wskaźniki wypadkowe w różnych warunkach oświetlenia. Podobnie, jak w przypadku dróg krajowych, szczególny nacisk położono na modele, które w okresie „dnia” i „nocy” zawierają te same zmienne, co umożliwia porównanie ich wpływu na estymowaną liczbę wypadków.

Modele opracowane na podstawie danych z okresu nocy

W tabl. 5.10 zestawiono współczynniki kierunkowe przy zmiennych w wyselekcjonowanych modelach zbudowanych w poszczególnych krokach (według schematu w rozdz. 5.2.3), obejmujących okres nocy. Kolorem czerwonym zaznaczono współczynniki statystycznie istotne (na poziomie istotności $p \leq 0,05$). Pozostałe zmienne (kolor czarny) - poza zmiennymi jakościowymi – są istotne na poziomie $p \leq 0,1$. Selekcja doprowadziła do zaprezentowania w tabl. 5.10 następujących modeli:

- „podstawowych”, tj. modeli z dwoma podstawowymi zmiennymi niezależnymi, tzn. natężeniem ruchu pojazdów N oraz długością odcinka L (rozdz. 5.2.3),
- „podstawowych” z wyrazem wolnym β_0 ,
- modeli, które charakteryzowały się dużym (min. 0,05) wzrostem wartości zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 przypadającym na każdą zmienną włączoną do modelu w stosunku do modelu „podstawowego”,
- modeli, w których występują zmienne objaśniające „typ przekroju poprzecznego” i gęstość wszystkich przejść dla pieszych (G_{pp}), które rzadko spełniały wszystkie kryteria włączenia do modeli, lecz mogą być istotne w odpowiedniej interpretacji charakterystyk wypadków w nocy,
- modeli, w których obok zmiennych N i L występuje 1 zmienna, nieobecna w modelu „reprezentatywnym” z uwagi na próbę eksponowania każdej zmiennej, która może przyczynić się do weryfikacji hipotezy o rosnącej roli infrastruktury na drogach niższych klas,
- „reprezentatywnych”, tj. modeli o najwyższej wartości współczynnika R_p^2 przy zachowaniu kryterium istotności statystycznej wszystkich zmiennych (rozdz. 5.2.3).

Wszystkie 44 modele zbudowane dla okresu nocy (wraz z tymi, które nie spełniły warunków powyższej selekcji) znajdują się w tabl. Z5.29 w załączniku nr 2.

Tabl. 5.10. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w okresie nocy na drogach wojewódzkich Małopolski.

Baza	Lp.	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych												R^2	R_p^2
			ilościowych									jakościowych				
			lnL	lnN	G_{sk}	G_{ipd}	G_{pd}	G_{pazz}	G_{ppz}	G_{pp}	G_{przp}	$USPOK_N$	Przekrój			
										$CH+K$	$G+B$					
DW-C-NO	5.90.1	-	0,855	0,061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	0,47
	5.90.2	-2,069	0,827	0,347	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,48	0,51
	5.90.5	-	0,835	0,033	-	-	-	-	-	-	0,121	-	-	-	0,51	0,54
	5.90.11	-1,540	0,817	0,271	-	-	-	-	-	-	-	-	0,133	-0,133	0,50	0,52
	5.90.12	-	0,836	0,057	-	-	-	-	-	-	-	-	0,161	-0,161	0,47	0,50
	5.90.13	-1,845	0,787	0,240	-	-	0,009	0,111	-	-	-	0,053	-	-	0,63	0,67
	5.90.14	-1,875	0,781	0,249	-	0,009	-	0,107	-	-	-	0,053	-	-	0,64	0,67
DW-Z-NO	5.91.1	-	0,897	0,058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,48	0,50
	5.91.2	-2,246	0,866	0,367	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52	0,54
	5.91.3	-2,745	0,851	0,387	-	0,011	-	-	-	-	-	-	-	-	0,58	0,60
	5.91.4	-2,749	0,855	0,381	-	-	0,011	-	-	-	-	-	-	-	0,58	0,60
	5.91.5	-2,035	0,890	0,314	-	-	-	0,104	-	-	-	-	-	-	0,54	0,56
	5.91.7	-2,101	0,934	0,309	-	-	-	-	0,178	-	-	0,147	-	-	0,61	0,63
	5.91.12	-2,013	0,867	0,260	-	-	0,008	-	0,155	-	-	-	-	-	0,62	0,64
	5.91.16	-2,019	0,862	0,264	-	0,009	-	-	0,154	-	-	-	-	-	0,62	0,64
5.91.24	-2,704	0,899	0,344	-	0,011	-	-	0,118	-	0,034	0,157	-	-	0,66	0,69	
DW-NZ-NO	5.92.1	-	0,467	0,024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,15
	5.92.2	-3,946	0,426	0,531	0,175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,40
	5.92.3	-4,392	0,468	0,582	0,191	-	-	-	-	-	0,022	-	-	-	0,34	0,47

Poniżej przedstawiono te modele predykcji liczby wypadków z okresu nocy, w przypadku których uzyskano największą wartość współczynnika determinacji R_p^2 (tj. „reprezentatywne”) dla zmiennej zależnej LW , po odrzuceniu zmiennych odstających.

- Baza DW-C-NO (noc – obszar zabudowany i niezabudowany razem) [l. wyp./ 4lata]:

$$LW = L^{0,787} \cdot N^{0,240} \cdot \exp(-1,845 + 0,009 \cdot G_{pd} + 0,111 \cdot G_{pazz} + 0,053 \cdot G_{przp}) \quad (5.90.13)$$

$$LW = L^{0,781} \cdot N^{0,249} \cdot \exp(-1,875 + 0,009 \cdot G_{ipd} + 0,107 \cdot G_{pazz} + 0,053 \cdot G_{przp}) \quad (5.90.14)$$

- Baza DW-Z-NO (noc – obszar zabudowany) [l. wyp./ 4lata]:

$$LW = L^{0,899} \cdot N^{0,344} \cdot \exp(-2,704 + 0,011 \cdot G_{ipd} + 0,118 \cdot G_{ppz} + 0,034 \cdot G_{przp} + \dots + 0,157 \cdot USPOK_N - 0,157 \cdot USPOK_T) \quad (5.91.27)$$

- Baza DW-NZ-NO (noc – obszar niezabudowany) [l. wyp./ 4lata]:

$$LW = L^{0,468} \cdot N^{0,582} \cdot \exp(-4,392 + 0,191 \cdot G_{sk} + 0,022 \cdot G_{przp}) \quad (5.92.3)$$

Występujące w tabl. 5.10 oraz powyższych wzorach symbole są takie same, jak w tabl. 5.6, tabl. 5.8, tabl. 5.9 i we wzorze (5.81.8). Występujące we wzorze (5.13.5) typy przekroju poprzecznego zostały połączone w 2 grupy:

- $CH+K$ – chodnik (zlokalizowany wyłącznie przy jezdni) lub krawężnik (wartość 1 w przypadku występowania jednego z przedmiotowych przekrojów lub 0 w przeciwnym przypadku),
- $G+B$ – pobocze gruntowe lub bitumiczne (wartość 1 w przypadku występowania pobocza lub 0 w przeciwnym przypadku).

Szczególną uwagę zwraca obecność we wszystkich pokazanych powyżej modelach zmiennej G_{przp} (gęstość przeszkód bocznych punktowych w skrajni drogi). Gęstość przeszkód punktowych jest potencjalnie związana z wypadkami typu „najechanie na przeszkodę”, których częstość występowania wzrasta w nocy szczególnie na drogach niższych klas, gdzie w otoczeniu jezdni znajduje się więcej przeszkód. Obecność 10 przeszkód punktowych na każdy kilometr drogi po obu jej stronach powoduje wzrost liczby wypadków o ok. 42% na obszarze zabudowanym oraz o ok. 25% poza zabudową w stosunku do odcinków bez takich przeszkód. Włączenie zmiennej G_{przp} do modeli spowodowało wyraźny wzrost wartości R_p^2 o 0,06-0,07 w modelach obejmujących wszystkie odcinki dróg wojewódzkich (baza DW-C-NO) oraz odcinki poza zabudową (DW-NZ-NO) oraz o 0,02 w modelach dla odcinków w obrębie zabudowy (DW-Z-NO).

Model zbudowany na podstawie danych z obszaru zabudowanego (baza DW-Z-NO) wyraża również wpływ obecności elementów uspokojenia ruchu na wzrost brd w nocy. Wpływ ten jest zgodny z oczekiwaniami. Obecność takich elementów powoduje spadek liczby wypadków o ok. 27% w stosunku do sytuacji braku uspokojenia ruchu. Wzrost wartości współczynnika determinacji R_p^2 w wyniku wprowadzenia zmiennej jakościowej $USPOK_{NT}$ wyniósł 0,02, co jedynie nieznacznie poprawiło stopień objaśnienia modelu.

Gęstość punktów dostępności (G_{pd}), przystanków autobusowych (G_{pazz}) oraz przejść dla pieszych (G_{pp} i G_{ppz}) wyraża w pośredni sposób możliwość powstawania konfliktów w ruchu, intensywność obsługi otoczenia oraz wynikającą z niej ruchliwość pieszych w kierunku poprzecznym do drogi (szerszy opis takiego powiązania podano w podpunktach (Skrzyżowania - wn. 1), (Skrzyżowania - wn. 3), (Przystanki autobusowe - wn. 1), (Przystanki autobusowe - wn. 2) i (Przejścia dla pieszych - wn.1) w rozdz. 5.2.4). Ilościowe wpływy przedmiotowych zmiennych na liczbę wypadków zestawiono na rys. 5.8 i rys. 5.10). Największy wpływ na poprawę objaśnienia modelu (wzrost wartości R_p^2 o 0,05-0,06) LW ma zmienna G_{pd} . Po włączeniu do modelu zmiennych: G_{pazz} , G_{ppz} lub G_{pp} wzrost R_p^2 wynosi 0,02-0,03. Małe znaczenie przystanków autobusowych w objaśnieniu liczby wypadków jest prawdopodobnie związane z rzadkim wykorzystaniem tych przystanków w nocy. Mały wpływ przejść dla pieszych na poprawę wartości R_p^2 modelu może wynikać z dużego wzrostu zagrożenia wypadkami z pieszymi w nocy również poza zabudową, gdzie rzadko występują urządzenia poprawy brd pieszych, przejścia lub sztuczne oświetlenie. Ponadto w obrębie zabudowy, wobec mniejszych w nocy natężeń ruchu pojazdów, piesi częściej przekraczają jezdnię poza wyznaczonymi przejściami.

Charakterystycznymi elementami infrastruktury drogowej wpływającymi na zagrożenie wypadkowe poza zabudową są skrzyżowania. Jeden taki element na odcinku o długości 1km jest jednoznaczny ze wzrostem estymowanej liczby wypadków o ok. 20%. Włączenie zmiennej G_{sk} wraz z wyrazem wolnym β_0 spowodowało wzrost wartości R_p^2 aż o 0,25 (z 0,15 do 0,40). Tak duże znaczenie skrzyżowań w objaśnieniu LW poza obrębem zabudowy wskazuje na istotny problem ich dostrzegalności, który może wynikać z ich nieprawidłowego usytuowania, niespełnienia wymagań widoczności oraz braku bądź niedostatecznego oświetlenia. Uwarunkowania wpływu skrzyżowań na brd zostały szerzej opisane w podpunktach (Skrzyżowania - wn. 1) i (Skrzyżowania - wn. 2) w rozdz. 5.2.4.

Ze szczególnym zainteresowaniem potraktowano wpływ zmiennej jakościowej opisującej typ przekroju poprzecznego oznaczonej jako: $G+B$ – przekrój z poboczem gruntowym lub bitumicznym; $CH+K$ – przekrój z chodnikiem lub krawężnikiem po jednej lub dwu stronach. Zmienna ta spełniła kryterium istotności jedynie w przypadku danych z bazy DW-C-NO, jednak jej włączenie do przedstawionego poniżej modelu tylko nieznacznie wpłynęło na poprawę stopnia objaśnienia zmiennej LW .

$$LW = L^{0,817} \cdot N^{0,271} \cdot \exp(-1,540 + 0,133 \cdot (CH + K) - 0,133 \cdot (G + B)) \quad (5.90.11)$$

Mały wpływ typu przekroju poprzecznego na wzrost wartości współczynnika R_p^2 jest spowodowany ograniczonym zakresem zmienności tej charakterystyki dróg z uwagi na niższe klasy dróg tworzących bazę danych. Na wyselekcjonowanych odcinkach dróg wojewódzkich Małopolski występowało w znacznej większości pobocze gruntowe lub chodnik, wobec czego przekroje z krawężnikami lub poboczami bitumicznymi włączano odpowiednio do grup CH i G , tworząc grupy $CH+K$ i $G+B$. Występowanie chodnika wiąże się z większą o ok. 30% liczbą wypadków w stosunku do przekrojów z poboczem gruntowym (rys. 5.13). Szerszy opis specyfiki przedmiotowego wpływu zamieszczono w podpunktach (Typ przekroju - wn. 1) i (Typ przekroju - wn. 3) w rozdz. 5.2.4. Z dotychczasowych analiz wynika, że nie możemy wprost stwierdzić, że występowanie chodnika pogarsza brd w nocy.

Uwzględniając studia literaturowe i analizy wypadkowe, wskazujące na istotną rolę oświetlenia drogi i jej otoczenia w procesie percepcji oraz przetwarzania informacji, ze szczególnym zainteresowaniem poszukiwano również wpływu obecności sztucznego oświetlenia na brd w nocy. Wpływ taki, wyrażony zmienną dychotomiczną $SZTOSW_{NT}$, choć okazał się istotny w modelach na podstawie danych z bazy DW-Z-NO (obszar zabudowany), to nie spowodował poprawy objaśnienia zmiennej LW . Modele zawierające zmienną $SZTOSW_{NT}$ nie pokazano w zestawieniu, lecz korelacja tej zmiennej ze zmienną LW wskazuje na prawie 2-krotny wzrost zagrożenia wypadkowego w przypadku obecności sztucznego oświetlenia na odcinkach w obszarze zabudowy. Można założyć, że polepszenie warunków widoczności w obszarze zabudowanym poprawia percepcję drogi, powodując wzrost poczucia bezpieczeństwa przez kierowców. Poczucie to objawia się jednak również wzrostem prędkości, obniżeniem koncentracji i większą skłonnością do podejmowania ryzyka. Następuje tzw. kompensacja ryzyka opisana przez Assuma z zespołem [3]. Stopień takiej kompensacji powinien być większy na obszarze zabudowanym niż poza nim i stąd wynika odwrotny od oczekiwanego wpływ obecności sztucznego oświetlenia na wypadkowość. Równocześnie jednak obecność takiego oświetlenia może być skorelowana z intensywnością zabudowy i po części wyrażać wpływ zagospodarowania otoczenia drogi na wypadkowość. Brak istotności statystycznej przedmiotowej zmiennej poza zabudową jest uzasadniony ze względu na rzadką lub jedynie punktową (pojedyncze skrzyżowania, przejścia dla pieszych) obecność sztucznego oświetlenia na takich odcinkach.

Budowa oraz analiza modeli predykcji wypadków w okresie nocy na drogach wojewódzkich, doprowadziła ponadto do następujących wniosków:

- Potwierdziło się przypuszczenie o większym wpływie innych zmiennych niż podstawowe zmienne wystawienia na ryzyko L i N na liczbę wypadków w nocy na drogach niższych klas. Modele, w których uwzględniono jedynie wspomniane

miary wystawienia na ryzyko oraz wyraz wolny β_0 charakteryzują się wartościami zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 (5.4) od 0,40 do 0,54. W przypadku modelu z dwoma zmiennymi niezależnymi L i N na odcinkach poza obszarem zabudowy (baza DW-NZ-NO) wartość R_p^2 wynosi jedynie 0,15. Brak istotności statystycznej β_0 w tym modelu uniemożliwia porównanie wstępnego stopnia objaśnienia z innymi modelami. Przy włączeniu do przedmiotowego modelu dodatkowych zmiennych wyraz wolny stał się istotny statystycznie;

- Włączenie dodatkowych zmiennych charakteryzujących drogę do modeli powodowało wyraźną poprawę ich objaśnienia, wyrażoną wzrostem wartości współczynnika R_p^2 o ok. 0,04-0,07 w przypadku każdej pojedynczej zmiennej;
- W niektórych przypadkach włączenie dodatkowej zmiennej do modelu było możliwe dopiero po usunięciu z niego wyrazu wolnego;
- W przypadku modeli predykcji wypadków na odcinkach w obszarze niezabudowanym (DW-NZ-NO), ze względu na mniejsze zróżnicowanie wartości zmiennych objaśniających, wiele z nich nie spełniło kryterium istotności. Obok wpływu liczby przeszkód punktowych, wyraźnie rośnie znaczenie skrzyżowań, na których w nocy mogą występować problemy z ich dostrzegalnością i widocznością;
- Należy zwrócić uwagę na brak możliwości wyjaśnienia w modelach predykcji dużej liczby wypadków w nocy z pieszymi na drogach poza zabudową, tj. wypadki te nie są związane z konkretnymi elementami infrastruktury drogowej, a dominującym problemem w powstawaniu tych wypadków w nocy są niemożliwe do uwzględnienia w modelach ograniczenia widoczności i nieświadomość pieszych na temat ich słabej dostrzegalności przez kierujących pojazdami, co szerzej opisano w rozdz. 2.1;
- Małe natężenia ruchu na drogach wojewódzkich w nocy skutkują większymi wartościami współczynników kierunkowych przy zmiennej N w równaniach regresyjnych. Przy małym ruchu rzadko dochodzi do konfliktów typu „pojazd-pojazd”, wobec czego natężenie ruchu odgrywa mniejszą rolę w objaśnieniu liczby wypadków. Większy jest wpływ samej nocy i związanych z nią ograniczeń widoczności;
- Największą wartość współczynnika determinacji ($R_p^2=0,69$) zanotowano w modelu predykcji wypadków na obszarze zabudowanym.

Spśród pozostałych zmiennych zależnych jedynie liczba rannych posiadała wystarczającą liczebność i stosunkowo mały udział wartości zerowych, aby modele jej predykcji były miarodajne. Modele takie były jednak podobne do opisanych powyżej modeli predykcji wypadków i nie wносиły dodatkowych informacji.

Modele o zminimalizowanym wpływie tzw. „czynnika ludzkiego”

W rozdz. 4.7 zwrócono uwagę na istotną rolę tzw. „czynnika ludzkiego” związanego z udziałem alkoholu lub zmęczenia bądź zaśnięcia kierowcy jako okoliczności powstawania wypadków, szczególnie w okresie nocy. W celu minimalizacji znaczenia zachowań człowieka, w kontekście poszukiwania wpływu elementów infrastruktury na brd, podjęto, podobnie jak w przypadku dróg krajowych (rozdz. 5.2.5) próbę analizy modelowej z wykluczeniem takich wypadków oraz pomijającej godziny, w których rośnie

prawdopodobieństwo błędów człowieka z uwagi na zmęczenie i osłabienie uwagi (po godz. 23:00, kiedy to te przyczyny są często wskazywane w kartach zdarzeń drogowych).

Odrzucenie z bazy wypadków związanych potencjalnie bezpośrednio z „czynnikiem ludzkim” umożliwiło zbudowanie większej liczby modeli wypadkowych ze względu na ujawnienie się wpływu nowych zmiennych. Poniżej zaprezentowano modele, które charakteryzują się najwyższymi wartościami zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 .

- Baza DW-C-NO (noc – obszar zabudowany i niezabudowany razem) [l. wyp./ 4lata]:

$$LW_{-alzm} = L^{0,796} \cdot N^{0,257} \cdot \exp(-2,119 + 0,008 \cdot G_{pd} + 0,117 \cdot G_{pazz} + 0,059 \cdot G_{przp})$$

$$R_p^2 = 0,67 \quad (5.99.25)$$

$$LW_{17-23} = L^{0,850} \cdot N^{0,313} \cdot \exp(-2,935 + 0,010 \cdot G_{ipd} + 0,122 \cdot G_{pazz} + \dots$$

$$\dots + 0,067 \cdot G_{przp} + 0,179 \cdot WNLA_N - 0,179 \cdot WNLA_T)$$

$$R_p^2 = 0,67 \quad (5.102.41)$$

- Baza DW-Z-NO (noc – obszar zabudowany) [l. wyp./ 4lata]:

$$LW_{-alzm} = L^{0,812} \cdot N^{0,319} \cdot \exp(-2,692 + 0,012 \cdot G_{pd} + 0,060 \cdot G_{przp} + \dots$$

$$\dots + 0,209 \cdot WPRZC_T - 0,209 \cdot WPRZC_N + 0,225 \cdot USPOK_N - 0,225 \cdot USPOK_T)$$

$$R_p^2 = 0,66 \quad (5.100.13)$$

$$LW_{17-23} = L^{0,887} \cdot N^{0,317} \cdot \exp(-2,982 + 0,010 \cdot G_{pd} + 0,150 \cdot G_{ppz} + \dots$$

$$\dots + 0,061 \cdot G_{przp} + 0,203 \cdot USPOK_N - 0,203 \cdot USPOK_T)$$

$$R_p^2 = 0,62 \quad (5.103.37)$$

- Baza DW-NZ-NO (noc – obszar niezabudowany) [l. wyp./ 4lata]:

$$LW_{-alzm} = L^{0,454} \cdot N^{0,773} \cdot \exp(-5,985 + 0,216 \cdot G_{sk} + 0,026 \cdot G_{przp})$$

$$R_p^2 = 0,50 \quad (5.101.5)$$

Występujący we wzorze (5.102.41) symbol $WNLA_{NT}$ oznacza:

$WNLA_{NT}$ – występowanie niebezpiecznego łuku poziomego z słupkami prowadzącymi U-1a lub U-1b (zmienna jakościowa Tak/Nie; w przypadku występowania przedmiotowego łuku $WNLA_T=1$, a $WNLA_N=0$; w przeciwnym przypadku $WNLA_T=0$, a $WNLA_N=1$).

Pozostałe oznaczenia w powyższych wzorach są takie same, jak w tabl. 5.6, tabl. 5.8, tabl. 5.9 i we wzorze (5.81.8).

Podobnie, jak w przypadku analiz przeprowadzonych dla dróg krajowych, sformułowano następujące wnioski z budowy modeli predykcji LW_{-alzm} i LW_{17-23} zawierające nowe obserwacje i wskazujące na różnice w stosunku do wniosków z budowy modeli LW :

- W modelach, w których jedynymi zmiennymi objaśniającymi są L i N , wartość zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 (5.4) jest niższa o 0,01-0,03 (dla zmiennej LW_{-alzm}) oraz 0,08-0,11 (dla zmiennej LW_{17-23}) niż w modelach estymacji LW uwzględniających wszystkie wypadki. Może to wskazywać

na większą rolę zmiennych opisujących infrastrukturę drogową w opisie liczby wypadków w nocy. Przedmiotowe wartości R_p^2 w modelach dla wszystkich dróg wojewódzkich (baza DW-C-NO) i odcinków zabudowanych (DW-Z-NO) wynoszą 0,43-0,51, a w modelu dla obszaru niezabudowanego (DW-NZ-NO) 0,20. Opisany w punkcie „Modele zbudowane na podstawie danych z okresu nocy” niniejszego rozdziału pracy brak istotności statystycznej wyrazu wolnego w modelu LW na odcinkach poza zabudową uniemożliwia porównanie wstępnych wartości R_p^2 modeli predykcji LW , LW_{-alzm} i LW_{17-23} dla tej bazy;

- Obok zmiennych G_{ipd} , G_{pd} , G_{pazz} , G_{ppz} , G_{pp} , G_{przp} , $USPOK_{N/T}$ i „typ przekroju poprzecznego”, które włączono do modeli LW zbudowanych dla całego zbioru dróg wojewódzkich (baza DW-C-NO) oraz dla odcinków na terenie zabudowy (DW-Z-NO), w modelach LW_{-alzm} i LW_{17-23} uwidocznił się wpływ: skrzyżowań (G_{sk}), skrzyżowań bez sygnalizacji świetlnej (G_{skbs}), wszystkich przystanków autobusowych (G_{pa}), niebezpiecznych łuków poziomych (G_{nl} , $WNŁ_{N/T}$), niebezpiecznych łuków poziomych z słupkami prowadzącymi U-1a lub U-1b (G_{nlz} , $WNŁA_{N/T}$) oraz występowania przeszkód punktowych ($WPRZP_{N/T}$) i ciągłych ($WPRZC_{N/T}$);
- Obok zmiennych G_{sk} i G_{przp} , włączonych do modeli LW na odcinkach zamiejskich (DW-NZ-NO), wykazano również istotność statystyczną oraz wpływ (wzrost wartości R_p^2 o 0,10) na poprawę objaśnienia modelu LW_{-alzm} zmiennej $WPRZP_{N/T}$. Żaden z modeli predykcji LW_{17-23} dla przedmiotowej bazy danych nie był istotny statystycznie;
- Zmienna G_{przp} podobnie, jak w przypadku modeli estymacji LW została włączona do modeli reprezentatywnych LW_{-alzm} i LW_{17-23} we wszystkich rozpatrywanych bazach danych. Odrzucenie z analiz wypadków związanych z czynnikami osobowymi zwiększyło wpływ przeszkód punktowych na wyjaśnienie wariancji liczby wypadków na odcinkach zabudowanych. Wzrost wartości G_{przp} o 10 szt./km drogi powoduje wzrost wartości LW_{-alzm} i LW_{17-23} o ok. 100% (analizy z uwzględnieniem wypadków związanych z alkoholem lub zmęczeniem/ zaśnięciem wskazywały na 42% wzrost). Uzyskany wynik nie jest zgodny z wcześniejszymi przypuszczeniami, że w przypadku zmęczenia, nietrzeźwości itp. rola przeszkód powinna być większa niż w godzinach większej sprawności człowieka. Wzrost wartości G_{przp} poza zabudową jest związany z jednakowym ok. 25% wzrostem liczby wypadków niezależnie od prób minimalizacji wpływu w zbudowanych modelach czynników osobowych. Modele predykcji LW_{-alzm} i LW_{17-23} charakteryzują się również 2-3 razy większym niż modele estymacji LW wzrostem wartości współczynnika R_p^2 po włączeniu do nich przedmiotowej zmiennej;
- Obok potwierdzenia i wzrostu znaczenia przeszkód punktowych, po odrzuceniu wypadków silnie związanych z czynnikami osobowymi uwidocznił się również wpływ (wzrost wartości R_p^2 o 0,02-0,03) występowania przeszkód ciągłych ($WPRZC_{N/T}$) na powstawanie wypadków w obrębie zabudowy. Wykazany wpływ w dodatkowym stopniu wyjaśnia większy w nocy udział wypadków związanych z najechaniem na przeszkodę. Podobnie jak przeszkody punktowe, tak i ciągłe mogą wpływać na ograniczenie widoczności przy włączeniu się do ruchu na skrzyżowaniach bądź innych punktach dostępności, które licznie występują na odcinkach zabudowanych.

Takie problemy z widocznością potęgują się przy braku oświetlenia słonecznego, związanego z okresem nocy;

- Minimalizacja tzw. „czynnika ludzkiego” w zbudowanych modelach spowodowała również wzrost znaczenia zmiennej $USPOK_{NT}$ w modelach LW_{-alzm} i LW_{17-23} na odcinkach w obrębie zabudowy, wyrażony większym o 7% spadkiem liczby wypadków w nocy w przypadku obecności elementów uspokojenia ruchu. Zmienna $USPOK_{NT}$ wpływa na wzrost stopnia objaśnienia modelu nie tylko na obszarze zabudowanym, ale również w całej grupie odcinków dróg wojewódzkich (spadek zagrożenia wypadkowego o ok. 26%). Nadal nieznaczny (o 0,02-0,03) jest wzrost wartości współczynnika R_p^2 przy włączeniu do modelu przedmiotowej zmiennej;
- Dwa przystanki autobusowe z zatoką na odcinku o długości 1km są związane ze wzrostem estymowanej liczby wypadków o ok. 32%, tj. większym o 5% od wzrostu wykazanego w modelach zbudowanych bez prób minimalizacji znaczenia czynników osobowych. Ze względu na rzadkie wykorzystanie przystanków w nocy, wpływ przedmiotowej zmiennej należy traktować jako pośredni i wyrażający intensywność zabudowy, obsługi otoczenia oraz występowanie ruchu pieszego. Uzupełnienie interpretacji wpływu przystanków na brd w nocy znajduje się w podpunktach (Przystanki autobusowe - wn. 1) i (Przystanki autobusowe - wn. 2) w rozdz. 5.2.4;
- Wzrost wpływu przystanków autobusowych na zagrożenie wypadkowe w nocy objawia się również włączeniem do modeli LW_{-alzm} i LW_{17-23} dla danych z bazy DW-C-NO zmiennej G_{pa} , która w modelach estymacji LW była nieistotna statystycznie. Wzrost oczekiwanej liczby wypadków w przypadku obecności dwóch przystanków autobusowych na jednokilometrowym odcinku wynosi ok. 23% i jest mniejszy niż w przypadku przystanków z zatoką. Mniejsze znaczenie zmiennej G_{pa} w stosunku do G_{paz} w kontekście wpływu na wzrost estymowanej liczby wypadków może być związane z przystankami bez zatoki, które częściej występują poza obszarem zabudowy, przez co osłabiają pośredni wpływ intensywności obsługi otoczenia na wypadkowość.
- Modele predykcji LW_{-alzm} potwierdziły duże znaczenie skrzyżowań poza obszarem zabudowanym (DW-NZ-NO) w objaśnieniu liczby wypadków. Wzrost zagrożenia wypadkiem w przypadku obecności skrzyżowania na odcinku o długości 1km wynosi ok. 23%, tj. o 3% więcej w stosunku do modeli estymacji LW . Włączenie zmiennej G_{sk} do modelu estymacji LW_{-alzm} wpłynęło na wzrost wartości R_p^2 aż o 0,20. Brak istotności statystycznej zmiennej G_{sk} w modelach estymacji LW_{17-23} może wskazywać na szczególnie wzrost wpływu skrzyżowań na wypadkowość po godz. 23:00;
- Odrzucenie wypadków związanych z alkoholem, zmęczeniem lub zaśnięciem kierowcy z przedmiotowych analiz spowodowało wzrost wpływu zmiennej „typ przekroju poprzecznego” na estymowaną liczbę wypadków, wyrażony lepszym (wzrost wartości R_p^2 o 0,04) objaśnieniem modelu i większą wartością współczynnika kierunkowego przy zmiennej w modelu regresyjnym. Występowanie chodnika jest związane ze wzrostem LW_{-alzm} o ok. 43% w stosunku do przekroju z pobocznymi (analogiczny wzrost LW wyniósł ok. 30%). Wpływ typu przekroju poprzecznego jest w pośredni sposób odzwierciedleniem wysokiego udziału wypadków z pieszymi

w nocy. Obecność chodnika jest również skorelowana z występowaniem innych elementów infrastruktury drogowej i może pośrednio wyrażać ich wpływ na wypadkowość. Szerszą charakterystykę potencjalnego wpływu typu przekroju na liczbę wypadków przedstawiono w podpunktach (Typ przekroju - wn. 1) i (Typ przekroju - wn. 3) w rozdz. 5.2.4;

- Wpływ zmiennych G_{ipd} , G_{pd} , G_{ppz} i G_{pp} na powstawanie wypadków w nocy jest jednakowy w modelach LW , LW_{-alzm} i LW_{17-23} ;
- Modele estymacji LW_{17-23} uwidocznily wpływ niebezpiecznych łuków poziomych na występowanie wypadków w nocy. Statystyczną istotność oraz wystarczającą poprawę objaśnienia przedmiotowych modeli uzyskano dla zmiennych: G_{nl} , G_{nlz} , $WN\dot{L}_{NT}$ i $WN\dot{L}A_{NT}$. Zmienna $WN\dot{L}A_{NT}$ została włączona również do modeli LW_{-alzm} . Spodziewano się, że przedmiotowe wpływy są związane z ograniczeniami widoczności oraz nieprawidłowym oznakowaniem niebezpiecznych łuków w nocy. Znaczenie tych zmiennych okazało się jednak odwrotne od oczekiwanego, tzn. obecność lub wzrost gęstości łuków o małych promieniach zmusza kierowców do ostrożniejszej jazdy z mniejszymi prędkościami i wzrostu koncentracji w nocy, co wpływa na obniżenie liczby wypadków. Dodatkowym czynnikiem takiego wzrostu brd na krętych odcinkach może być rzadsze występowanie przejść dla pieszych oraz mniejsza dostępność do drogi, co wpływa na mniejszą liczbę konfliktów. Odcinki, na których występują niebezpieczne łuki poziome z słupkami prowadzącymi U-1a lub U-1b charakteryzują się o ok. 33% mniejszą liczbą wypadków niż odcinki proste lub z łagodnymi łukami poziomymi. W przypadku wszystkich niebezpiecznych łuków poziomych taka poprawa wynosi 22%, co może wskazywać, że łuki o mniejszych promieniach, oznaczone zwykle tablicami prowadzącymi U-3a, U-3b, U-3c lub U-3d w przeciwieństwie do łuków o większych promieniach ze słupkami prowadzącymi obniżają brd w nocy. Spośród ww. zmiennych największy wpływ na wzrost wartości R_p^2 (o 0,08) modelu ma zmienna $WN\dot{L}A_{NT}$;
- Łączny wzrost zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 po włączeniu dodatkowych zmiennych do modeli LW_{-alzm} i LW_{17-23} i utworzeniu modeli reprezentatywnych wyniósł 0,17-0,24 na wszystkich drogach wojewódzkich, 0,15-0,19 na odcinkach zabudowanych oraz 0,30 na niezabudowanych. Wzrost ten jest większy niż w modelach predykcji LW , co wskazuje, że oprócz ujawnienia się dodatkowych wpływów na brd w nocy, rośnie również ich znaczenie;

Modele zbudowane na podstawie danych z okresu światła dziennego i doby oraz porównanie determinant wypadków w różnych okresach naturalnego oświetlenia

Podobnie, jak w przypadku dróg krajowych, głównym celem budowy modeli predykcji wypadków w okresie występowania światła dziennego i całej doby były analizy porównawcze determinant bezpieczeństwa ruchu w różnych okresach oświetlenia. Takie porównanie powinno umożliwić określenie wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd, co jest jednym z głównych celów niniejszej rozprawy.

Różnice specyfiki ruchu drogowego przy świetle dziennym i w nocy dotyczą nie tylko zmiennych warunków oświetlenia i percepcji drogi przez kierowców. Polegają one również na większych w okresie „dnia” wartościach natężeń ruchu pojazdów (w tym z kierunków

poprzecznych do drogi wojewódzkiej) i pieszych oraz wzroście aktywności otoczenia (w tym obsługi zjazdów, przejść dla pieszych i przystanków autobusowych). Z drugiej strony światło dzienne sprzyja dostrzeganiu przeszkód w przestrzeni drogi oraz potencjalnych sytuacji konfliktowych w ruchu. Badania inwentaryzacyjne wskazują, że głównymi problemami wyróżniającymi drogi wojewódzkie na tle krajowych są: częstsza obecność przeszkód w otoczeniu drogi oraz brak kontroli dostępności do większości odcinków. Cechy te potęgują złożoność wskazanych powyżej problemów brd na drogach wojewódzkich. Takie zróżnicowanie czynników pokazuje, że oddzielne oszacowanie wpływu samego oświetlenia na zagrożenie wypadkowe jest trudne i wymagać będzie właściwej interpretacji wyników analiz zbudowanych modeli predykcji wskaźników wypadkowych z równoczesnym wykorzystaniem wiedzy na temat uwarunkowań ruchu w nocy, opisanych w rozdziałach 2.1 oraz 2.3.

Wszystkie przedmiotowe modele odpowiadające okresowi światła dziennego i całej doby zestawiono w tabl. Z5.30 i tabl. Z5.31 w załączniku nr 2. Te spośród nich, dla których uzyskano największą wartość współczynnika R_p^2 mają następującą postać:

1) Obszar zabudowany i niezabudowany razem

- Baza DW-C-DZ (dzień) [l. wyp./ 4lata]:

$$LW = L^{0,730} \cdot N^{0,162} \cdot \exp(0,045 \cdot G_{pp} + 0,081 \cdot WNLA_N - 0,081 \cdot WNLA_T) \\ R_p^2=0,69 \quad (5.93.7)$$

- Baza DW-C-DO (doba) [l. wyp./ 4lata]:

$$LW = L^{0,712} \cdot N^{0,198} \cdot \exp(0,047 \cdot G_{pp} + 0,013 \cdot G_{przp} + 0,065 \cdot WNLA_N - 0,065 \cdot WNLA_T) \\ R_p^2=0,76 \quad (5.96.10)$$

2) Obszar zabudowany

- Baza DW-Z-DZ (dzień) [l. wyp./ 4lata]:

$$LW = L^{0,767} \cdot N^{0,179} \cdot \exp(0,044 \cdot G_{pp} + 0,127 \cdot WNLA_N - 0,127 \cdot WNLA_T) \\ R_p^2=0,70 \quad (5.94.7)$$

- Baza DW-Z-DO (doba) [l. wyp./ 4lata]:

$$LW = L^{0,767} \cdot N^{0,194} \cdot \exp(0,059 \cdot G_{pp} + 0,084 \cdot WNLA_N - 0,084 \cdot WNLA_T + \dots \\ + 0,091 \cdot USPOK_N - 0,091 \cdot USPOK_T) \\ R_p^2=0,80 \quad (5.97.9)$$

3) Obszar niezabudowany

- Baza DW-NZ-DZ (dzień) [l. wyp./ 4lata]:

$$LW = L^{0,576} \cdot N^{0,170} \\ R_p^2=0,55 \quad (5.95.1)$$

- Baza DW-NZ-DO (doba) [l. wyp./ 4lata]:

$$LW = L^{0,547} \cdot N^{0,207} \quad R_p^2=0,64 \quad (5.98.1)$$

Występujące w powyższych wzorach symbole są takie same, jak w tabl. 5.8 oraz we wzorach (5.81.8) i (5.102.41).

W sformułowanych poniżej wnioskach z przedmiotowych analiz położono nacisk na porównanie modeli predykcji wypadków w okresie „dnia” i „nocy” oraz wskazanie różnic i identyfikację roli oświetlenia w tych modelach. Modele obejmujące całą dobę wykazały duże podobieństwo z modelami prognozowania wypadków w okresie światła dziennego, dlatego w większości wniosków zostały pominięte. Analiza wykonanych modeli doprowadziła do następujących obserwacji:

- Wykonane przed przystąpieniem do budowy modeli analizy korelacji wskazały, że wartości r_s Spearmana (przykład w tabl. Z5.2 i tabl. Z5.3 w załączniku nr 2) wskazują na potencjalnie mniejszy wpływ zmiennych opisujących infrastrukturę drogową na liczbę wypadków różnych typów przy świetle dziennym niż w nocy. Pomimo znacznie większych natężeń ruchu w „dzień” niż w „nocy”, korelacja zmiennych LW i N jest podobna w obu tych okresach i wynosi 0,17-0,19. W „dzień” liczba wypadków bardziej niż w „nocy” zależy natomiast od długości odcinka L ;
- Modele estymacji LW , w których jedynymi zmiennymi objaśniającymi są L i N , charakteryzują się wartościami zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 0,55-0,63 w okresie „dnia”. Wartości te są znacznie większe niż w modelach odpowiadających okresowi „nocy”, co wskazuje na potencjalnie większe znaczenie innych (poza L i N) determinant w objaśnieniu LW w ograniczonych warunkach oświetlenia;
- Czynniki wpływającymi na liczbę wypadków w okresie światła dziennego są: przejścia dla pieszych (G_{ppz} i G_{pp}) i niebezpieczne łuki poziome ($WN\dot{L}_{NT}$ i $WN\dot{L}_{ANT}$). Wszystkie wymienione czynniki są również determinantami LW w „nocy”. W „dzień” nie zaobserwowano natomiast charakterystycznego w okresie nocy wpływu skrzyżowań, przystanków autobusowych, punktów dostępności, przeszkód bocznych, elementów uspokojenia ruchu i typu przekroju poprzecznego na liczbę wypadków. Oprócz mniejszej liczby dodatkowych wpływów w okresie światła dziennego w porównaniu z nocą, spada również (ok. 2-krotnie) ich znaczenie;
- Do modeli predykcji LW na odcinkach poza obszarem zabudowy przy świetle dziennym (baza DW-NZ-DZ) nie udało się włączyć żadnej dodatkowej zmiennej;
- Utworzenie modeli „reprezentatywnych” (rozd. 5.2.3) estymacji LW , tj. o najwyższej wartości R_p^2 (5.4), spowodowało wzrost tego współczynnika o 0,06 w przypadku danych ze wszystkich dróg krajowych, bez względu na występowanie zabudowy (baza DW-C-NO) i 0,07 w przypadku danych z odcinków na terenie zabudowy (DW-Z-NO) w stosunku do modeli, w których jedynymi zmiennymi niezależnymi są L i N . Wzrost ten jest 2-3 razy mniejszy niż w modelach LW , LW_{-alm} i LW_{17-23} ;
- Wartości R_p^2 modeli reprezentatywnych estymacji LW wynoszą 0,69, 0,70 i 0,55. Są one nieznacznie (o 0,01-0,08) większe od wartości w modelach odpowiadających

okresowi nocy. W „dzień” duża część wariancji liczby wypadków jest wyjaśniona przez zmienne opisujące wystawienie na ryzyko, a pozostałe wpływy w niewielkim stopniu poprawiają to wyjaśnienie. W przypadku modeli reprezentatywnych z okresu nocy, uwzględnienie dodatkowych determinant wpłynęło natomiast na osiągnięcie wartości R_p^2 porównywalnych do przypadków modeli odpowiadających okresowi światła dziennego;

- Zarówno przejścia dla pieszych (rys. 5.10), jak i niebezpieczne łuki poziome (rys. 5.14) mają mniejszy, wyrażony niższymi wartościami współczynników kierunkowych w równaniach regresyjnych, wpływ na wzrost liczby wypadków w „dzień” niż w „nocy”. Ilościowy wzrost wpływu przejść dla pieszych na liczbę wypadków w nocy byłby w rzeczywistości znacznie większy, gdyby w jego oszacowaniu był uwzględniony spadek wystawienia na ryzyko wypadku w tym okresie. Większa rola przejść dla pieszych w wyjaśnieniu zagrożenia wypadkowego w nocy może być związana z wysokim udziałem wypadków w wyniku najechania na pieszego;
- Podobnie, jak w przypadku okresu nocy, również przy świetle dziennym obecność niebezpiecznych łuków poziomych jest związana ze spadkiem liczby wypadków (rys. 5.14). Prawdopodobną przyczyną takiej zależności jest mniejsza dostępność do drogi w strefie występowania łuków oraz rzadsze występowanie przejść dla pieszych na krętych odcinkach, co jest pośrednio związane ze spadkiem liczby potencjalnych konfliktów. Mniejsza liczba potencjalnych sytuacji konfliktowych w połączeniu z niższą prędkością i ostrożnością kierowców na krętych odcinkach dróg, może w pośredni sposób niwelować negatywny wpływ ewentualnych problemów z widocznością na brd. Występowanie niebezpiecznego łuku oznakowanego słupkami prowadzącymi U-1a lub U-1b wiąże się ze spadkiem LW przy świetle dziennym o ok. 16-24%, a w nocy o ok. 33%. Zgodnie z oczekiwaniami stwierdzono spadek brd na łukach oznaczonych tablicami prowadzącymi U-3a, U-3b, U-3c lub U-3d, które są uznawane za najbardziej niebezpieczne. Większy wpływ występowania niebezpiecznych łuków poziomych na wartość zmiennej zależnej w „nocy” niż w „dzień” może być spowodowany charakterystycznymi dla tego okresu ograniczeniami widoczności. Ponieważ w nocy obecność „ostrych zakrętów” jest związana ze spadkiem estymowanej liczby wypadków, można przypuszczać, że brak światła słonecznego wpływa na dodatkowy wzrost ostrożności kierowców przy dojeździe do takiego łuku.

5.2.7. Porównania modeli wypadkowych z dróg krajowych i wojewódzkich

Obok szeregu zidentyfikowanych do tej pory determinant brd w okresie nocnych ograniczeń widoczności, można sformułować przypuszczenie, że istotny powinien być również wpływ klasy drogi na wypadkowość. Drogi krajowe klas G i GP mają standard techniczny wyższy w stosunku do dróg wojewódzkich klas Z i G. Klasa dróg jest związana z różnicami ich charakterystyk geometrycznych, ruchowych, dostępności, wyposażenia i otoczenia. Takie zróżnicowanie cech nie pozwoliło na budowę modeli, w których jednocześnie byłyby uwzględnione drogi krajowe i wojewódzkie, a różnice między nimi odzwierciedlałyby tylko zmienna jakościowa opisująca klasę drogi. Budowa oddzielnych, opisanych w poprzednich rozdziałach, modeli obejmujących rozpatrywane grupy dróg

umożliwia wykonanie analizy porównawczej zmierzającej do identyfikacji wpływu klasy drogi na zagrożenie wypadkowe w różnych warunkach oświetlenia. Takie porównania doprowadziły do następujących wniosków:

- Na drogach wojewódzkich (niższych klas) zagrożenie wypadkowe w okresie nocnych ograniczeń widoczności jest determinowane przez szerszy zestaw zmiennych opisujących infrastrukturę drogową niż przy świetle dziennym. Na drogach krajowych (o wyższym standardzie technicznym związanym z klasą techniczną) powyższa tendencja jest odwrotna, tzn. okres światła dziennego jest związany z większym wpływem cech dróg na wypadkowość niż w nocy. Brd w okresie „dnia” na drogach wojewódzkich i w „nocy” na drogach krajowych jest zależne głównie od miar opisujących wystawienie na ryzyko wypadku, tj. natężenia ruchu i długości odcinka;
- Obok większej liczby zmiennych opisujących infrastrukturę, które wpływają na brd w nocy na drogach niższych klas i przy świetle dziennym na drogach o wyższej klasie, większe jest również znaczenie każdego pojedynczego czynnika w objaśnieniu liczby wypadków, wyrażone wzrostem wartości zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 w regresyjnych modelach predykcji LW ;
- W przypadku dróg krajowych, niezależnie od warunków oświetlenia, zidentyfikowano małą liczbę dodatkowych wpływów na estymowane wartości LW na odcinkach w terenie zabudowanym, ale dużą liczbę takich wpływów poza zabudowę. Odwrotną zależność zaobserwowano w modelach obejmujących drogi wojewódzkie, na których zmienne opisujące infrastrukturę odcinków przechodzących przez teren zabudowy mają znacznie większy wpływ na wypadkowość niż cechy odcinków na obszarze niezabudowanym;
- Większa dostępność do dróg wojewódzkich z uwagi na ich niższą klasę skutkuje ogólnie większymi niż na drogach krajowych, wartościami gęstości elementów infrastruktury. Np. gęstość skrzyżowań większa od 2 szt./km występuje na 73% odcinków niebezpiecznych na drogach wojewódzkich i jedynie na 41% takich odcinków na drogach krajowych. Większe wartości gęstości elementów infrastruktury oraz ich większa zmienność są, obok mniejszych natężeń ruchu w nocy, czynnikami sprzyjającymi ujawnianiu się w modelach wypadkowych wpływu infrastruktury drogowej na brd;
- Wspólnymi elementami infrastruktury drogowej, których wpływ na zagrożenie wypadkowe w nocy został wykazany zarówno na drogach krajowych, jak i wojewódzkich są: skrzyżowania (G_{sk}), punkty dostępności (G_{pd}), przystanki autobusowe (G_{pazz} i G_{pa}) i typ przekroju poprzecznego;
- Wpływ skrzyżowań na liczbę wypadków w nocy został w zbudowanych modelach potwierdzony na odcinkach dróg poza obszarem zabudowy. Zmienna G_{sk} w modelach predykcji wypadków na drogach niższych klas wpływa na wzrost wartości R_p^2 o 0,20, a na drogach wyższych klas jedynie o 0,02. Jedno skrzyżowanie na zamiejskim odcinku drogi niższej klasy o długości 1km związane jest ze wzrostem estymowanej wartości LW o ok. 23%, a na odcinku drogi wyższej klasy – o ok. 8%;

- Niższa klasa dróg jest związana również ze wzrostem znaczenia zmiennej G_{pd} , wyrażającym się zarówno lepszym objaśnieniem modelu estymacji LW , jak i ok. 2 razy większym wpływem na wartość zmiennej zależnej w nocy;
- Wpływ przystanków autobusowych na estymowaną wartość LW w okresie nocnych ograniczeń widoczności jest niezależny od klasy dróg. Wzrost estymowanej liczby wypadków w przypadku obecności dwóch przystanków autobusowych na jednokilometrowym odcinku wynosi ok. 23-27%, a wzrost wartości współczynnika R_p^2 po dodaniu do modelu zmiennej G_{pazz} lub G_{pa} wynosi ok. 0,02-0,06;
- Obecność przekroju z chodnikiem wiąże się w zbudowanych modelach z największym zagrożeniem brd w „nocy”. Różna w zależności od klasy drogi jest jednak skala tego zagrożenia. Występowanie chodnika jest związane ze wzrostem estymowanej liczby wypadków o ok. 30-43% na drogach wojewódzkich oraz ok. 25-30% na drogach krajowych w stosunku do przekroju z pobocznymi. Równocześnie w „dzień” na drogach wyższych klas zaobserwowano dodatkowy wzrost skali zagrożenia na odcinkach o przekrojach z chodnikiem w stosunku do okresu nocy. Taka tendencja wskazuje na wzrost znaczenia nocnych ograniczeń widoczności na odcinkach zamiejskich. Z podanych wyników analiz nie można wyciągać wprost wniosku odnośnie wskazań doboru typu przekroju poprzecznego, gdyż opisany wpływ przekroju z chodnikiem na estymowaną liczbę wypadków jest jedynie formalnym ujęciem pośredniego wpływu wielu zmiennych wystawienia na ryzyko, co zostało szerzej opisane w podpunktach (Typ przekroju - wn. 1) i (Typ przekroju - wn. 3) w rozdz. 5.2.4;
- Charakterystycznymi jedynie dla dróg niższych klas czynnikami wpływającymi w największym stopniu na brd w okresie nocnych ograniczeń widoczności są przeszkody punktowe i niebezpieczne łuki poziome. Wzrost znaczenia tych czynników wynika bezpośrednio z niższej klasy dróg, związanej z mniejszymi wymaganiami odnośnie parametrów geometrycznych, obudowy dróg i obecności urządzeń poprawy brd. Rola stałych przeszkód i niebezpiecznych łuków, zgodnie z przypuszczeniami, rośnie w nocy, gdy ich percepcja może być utrudniona;
- Uzupełnieniem analiz porównawczych zmierzających do identyfikacji wpływu klasy drogi na zagrożenie wypadkowe w różnych warunkach oświetlenia mogłyby być modele uwzględniające tylko ciężkie wypadki, jednak z uwagi na małą liczbę wypadków w nocy na drogach wojewódzkich taka analiza została pominięta.

5.2.8. Ilościowe oszacowanie wpływu wybranych elementów infrastruktury drogowej na brd w warunkach nocnych ograniczeń widoczności oraz przy świetle dziennym

Wnioski z analizy modeli predykcji wypadków zbudowanych na podstawie danych rejestrowanych przy różnych warunkach oświetlenia zawierały oceny jakościowe oraz informacje na temat ilościowych wpływów poszczególnych zmiennych niezależnych na estymowane wartości wskaźników wypadkowych. W celach porównania wartości zmiennych zależnych w modelach odpowiadających różnym okresom doby oraz różnym klasom dróg zakładano w dotychczasowych ocenach pewne stałe wartości zmiennych opisujących elementy infrastruktury drogowej (np. $G_{sk}=1$ szt./km, $G_{pd}=20$ szt./km). Przedmiotem niniejszego rozdziału będzie graficzna prezentacja najważniejszych wpływów elementów

infrastruktury drogowej na liczbę wypadków w warunkach nocnych ograniczeń widoczności, obejmująca różne wartości zmiennych niezależnych w modelach. W przypadku występowania określonej zmiennej niezależnej w modelach predykcji wypadków w okresie „nocy” i „dnia”, zmienna ta była eksponowana na wykresach w celu porównania jej wpływu na liczbę wypadków w różnych warunkach oświetlenia. Przy takim porównaniu starano się, aby modele obejmujące oba okresy oświetlenia zawierały możliwie zbliżony zestaw zmiennych niezależnych, co powinno zwiększyć wiarygodność oceny wpływu przedmiotowej (podlegającej porównaniu) zmiennej na liczbę wypadków. Jeżeli określona zmienna nie wystąpiła w modelach z okresu światła dziennego, analizę ograniczano do wpływu tej zmiennej tylko na liczbę wypadków w nocy. Dla ułatwienia na wykresach stosowano linie ciągle odpowiadające okresowi „nocy”, a przerywane dla „dnia”. Jednocześnie skupiono się na opisie ilościowym rozpoznanych wpływów, bez dodatkowej interpretacji ich charakteru, która została już w szerokim zakresie opisana we wcześniejszej części rozdz. 5.2, a szczególnie w rozdz. 5.2.4. Ocenie poddano wpływ zmiennych ilościowych i jakościowych, występujących w modelach „reprezentatywnych” (o najwyższych wartościach współczynnika R_p^2) predykcji liczby wypadków oraz pozostałych najistotniejszych zmiennych, tj. takich, których włączenie do modelu powodowało wzrost wartości zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 o min. 0,05.

Wpływ wybranych zmiennych niezależnych na prognozowaną liczbę wypadków zilustrowano dla następujących zmiennych zależnych:

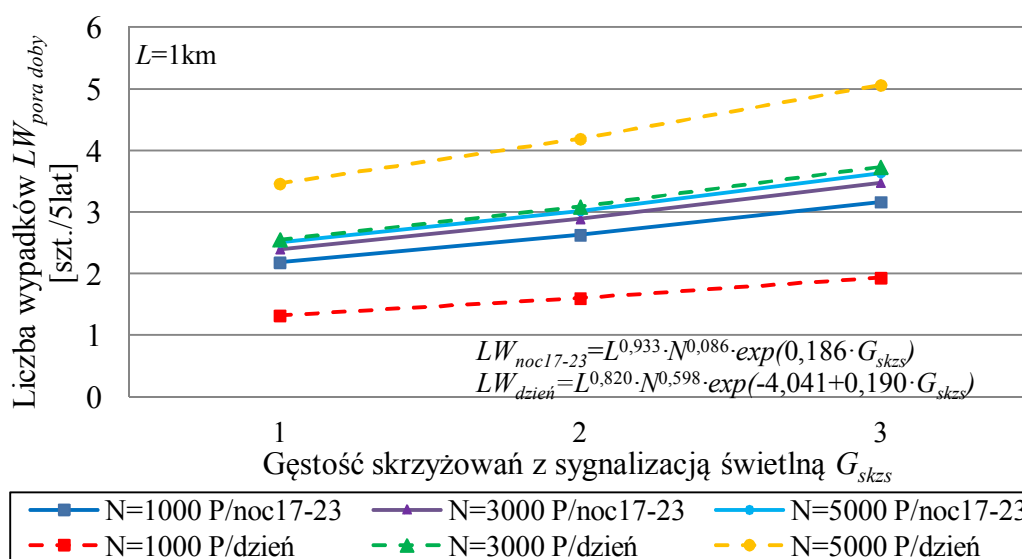
- Liczba wypadków w nocy LW_{noc} i przy świetle dziennym $LW_{dzień}$ [szt./okres analizy] w zależności od wybranych zmiennych: G_{kpd} – gęstość komercyjnych punktów dostępności (wg wzorów 5.1.6 i 5.31.16), G_{ipd} – gęstość indywidualnych punktów dostępności (5.90.14), G_{pd} – gęstość wszystkich punktów dostępności z wyłączeniem skrzyżowań (5.1.3 i 5.31.8), G_{pa} – gęstość przystanków autobusowych (5.1.5 i 5.31.10), G_{pazz} – gęstość przystanków autobusowych z zatoką (5.90.14), G_{pp} – gęstość przejść dla pieszych (5.90.5 i 5.93.3), G_{przp} – gęstość przeszkód punktowych (5.90.14), typ przekroju poprzecznego (5.90.11);
- Liczba wypadków na obszarze zabudowanym w nocy LW_{Znoc} [szt./okres analizy] w zależności od wybranej zmiennej: $USPOK_{T/N}$ – występowanie elementów uspokojenia ruchu (wg wzoru 5.91.27);
- Liczba wypadków w nocy w godz. 17:00-23:00 $LW_{noc17-23}$ i przy świetle dziennym $LW_{dzień}$ [szt./okres analizy] w zależności od wybranych zmiennych: G_{skzs} gęstość skrzyżowań z sygnalizacją świetlną (wg wzorów 5.12.3 i 5.31.5), $WNŁA_{T/N}$ – występowanie niebezpiecznych łuków zwykłych (5.102.13 i 5.93.5);
- Liczba wypadków typu „pojazd-pieszy” w nocy LW_{ppi_noc} i przy świetle dziennym $LW_{ppi_dzień}$ [szt./okres analizy] w zależności od wybranej zmiennej: G_{pp} – gęstość przejść dla pieszych (5.2.13 i 5.32.15);
- Liczba wypadków niezwiązanych z alkoholem ani zmęczeniem lub zaśnięciem kierowcy w nocy $LW_{noc_bez.alk.zmęcz}$ i liczba wszystkich wypadków przy świetle dziennym $LW_{dzień}$ [szt./okres analizy] w zależności od wybranej zmiennej: typ przekroju poprzecznego (5.11.5 i 5.31.15).

Równania regresyjne przedmiotowych modeli predykcji wypadków pokazano na poszczególnych rysunkach.

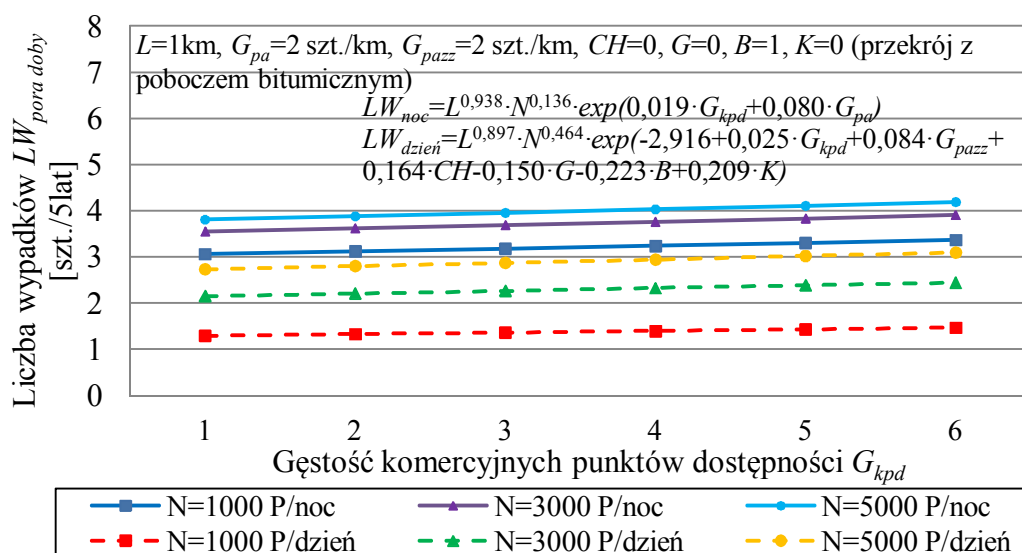
Oszacowanie ilościowe wpływu gęstości punktów dostępności na brd w nocy

Wpływ gęstości punktów dostępności na liczbę wypadków zidentyfikowano zarówno na drogach krajowych (wyższych klas G i GP), jak i wojewódzkich (niższych klas Z i G). Wpływ ten w obu grupach dróg jest jednak wyrażony różnymi zmiennymi objaśniającymi, co uniemożliwia wykonanie bezpośrednich porównań pomiędzy drogami różnych klas. Zgodnie z oczekiwaniami, gęstość skrzyżowań z sygnalizacją świetlną (rys. 5.4) ma większy wpływ na liczbę wypadków w nocy niż gęstość komercyjnych punktów dostępności (rys. 5.5). Jedno skrzyżowanie z sygnalizacją świetlną na drogach krajowych jest związane ze wzrostem liczby wypadków w nocy o 20,4%, a jeden komercyjny punkt dostępności o 1,9%. Oznacza to, że przebudowa odcinka drogi, polegająca na zastąpieniu ponad 10 komercyjnych punktów dostępności jednym skrzyżowaniem z sygnalizacją świetlną na kilometr drogi powinna poprawić poziom brd na takim odcinku. Większy (5-krotnie) wpływ gęstości skrzyżowań niż gęstości zjazdów komercyjnych na gęstość wszystkich wypadków, niezależnie od pory doby, wykazano również w pracach [9,10,11].

Wpływ gęstości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną oraz gęstości komercyjnych punktów dostępności na liczbę wypadków zaobserwowano również przy świetle dziennym. Wartość współczynnika przy zmiennej G_{skzs} w regresyjnym modelu predykcji wypadków (wzór podano na rys. 5.4) jest podobna, jak w modelach z okresu nocy. Wpływ przedmiotowych skrzyżowań na liczbę wypadków w „dzień” jest większy niż w „nocy” ze względu na większe wystawienie na ryzyko w postaci natężeń ruchu, w tym natężeń z wlotów bocznych. Przy świetle dziennym wpływ zmiennej G_{kpd} na liczbę wypadków, wyrażony wartościami współczynników w równaniach regresyjnych (zgodnie ze wzorami na rys. 5.5) jest większy niż w nocy. Mniejszą rolę w przedmiotowych modelach odgrywa różne, w zależności od pory doby, wystawienie na ryzyko w postaci natężeń ruchu związanych z obsługą komercyjnych punktów dostępności.



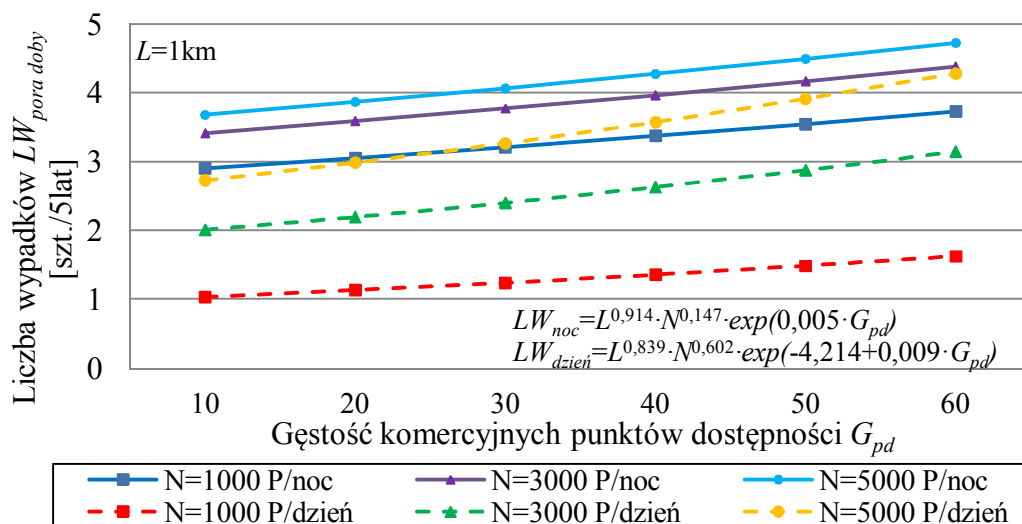
Rys. 5.4. Wpływ gęstości skrzyżowań z sygnalizacją świetlną (G_{skzs}) na estymowaną liczbę wypadków w różnych porach doby (wg wzorów 5.12.3 i 5.31.5) na drogach krajowych.



Rys. 5.5. Wpływ gęstości komercyjnych punktów dostępności (G_{kpd}) na estymowaną liczbę wypadków w różnych porach doby (wg wzorów 5.1.6 i 5.31.16) na drogach krajowych.

Na drogach niższych klas (wojewódzkich) zidentyfikowano wpływ indywidualnych punktów dostępności na liczbę wypadków jedynie w nocy, co jest trudne do zinterpretowania ze względu na ograniczone wykorzystanie tych zjazdów w przedmiotowym okresie doby. Każde 10 takich punktów dostępności podnosi liczbę wypadków o 9,4%.

Wpływ zmiennej G_{pd} (gęstość wszystkich punktów dostępności z wyłączeniem skrzyżowań) na liczbę wypadków jest większy przy świetle dziennym niż w nocy (rys. 5.6). 20 przedmiotowych punktów dostępności na odcinku drogi krajowej o długości 1 km, jest skorelowane ze wzrostem liczby wypadków o ok. 20% w „dzień” i o ok. 11% w „nocy”.

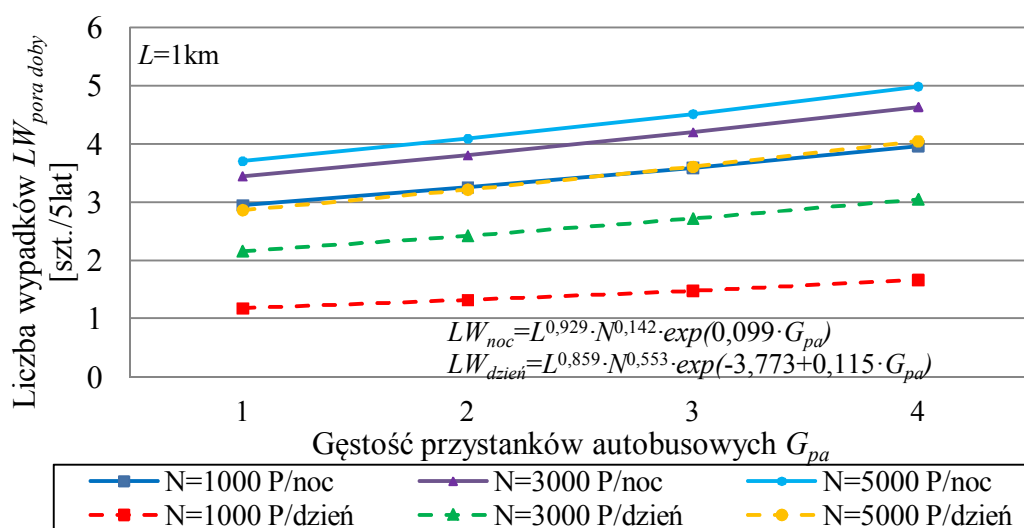


Rys. 5.6. Wpływ gęstości punktów dostępności (G_{pd}) na estymowaną liczbę wypadków w różnych porach doby (wg wzorów 5.1.3 i 5.31.8) na drogach krajowych.

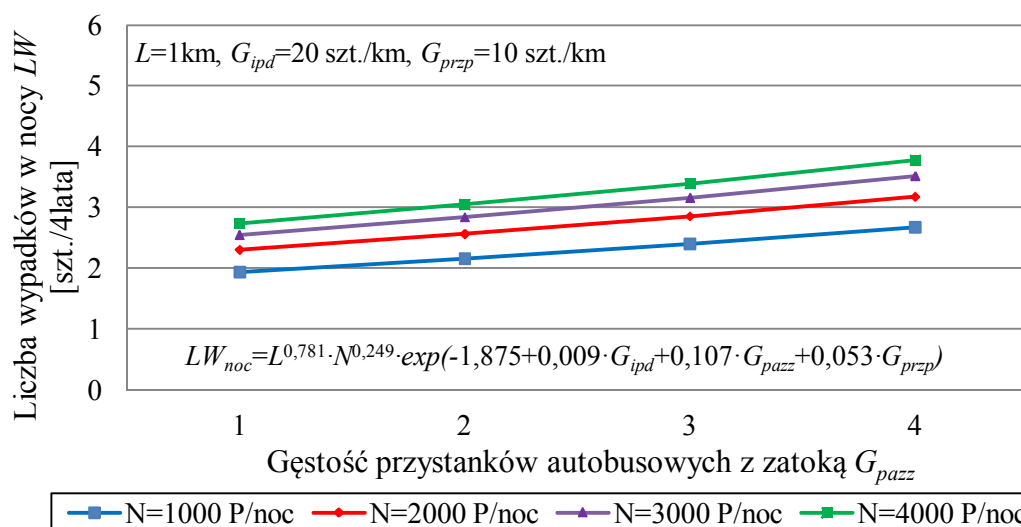
Oszacowanie ilościowe wpływu gęstości przystanków autobusowych na brd w nocy

Wpływ gęstości przystanków autobusowych na brd w nocy stwierdzono zarówno na drogach klas wyższych (krajowych), jak i niższych (wojewódzkich). Na drogach krajowych (rys. 5.7) dodatkowy przystanek autobusowy jest związany ze wzrostem liczby wypadków w nocy o 10,4%. Na drogach wojewódzkich jeden przystanek z zatoką powoduje wzrost liczby wypadków o 11,3% (rys. 5.8). Wpływ przystanków autobusowych na brd w nocy jest trudny w interpretacji ze względu na nieznaną stopnia wykorzystania przystanków i rzeczywistego wystawienia na ryzyko, co zostało szerzej opisane w podpunktach (Przystanki autobusowe - wn. 1) i (Przystanki autobusowe - wn. 2) w rozdz. 5.2.4.

Na drogach krajowych wpływ przystanków autobusowych na liczbę wypadków stwierdzono również przy świetle dziennym. Jeden przystanek jest związany ze wzrostem liczby wypadków w tym okresie o 12,2%. Ze względu na większe wykorzystanie przystanków w „dzień”, ich wpływ na liczbę wypadków w ciągu „dnia” jest większy niż w „nocy”.



Rys. 5.7. Wpływ gęstości przystanków autobusowych (G_{pa}) na estymowaną liczbę wypadków w różnych porach doby (wg wzorów 5.1.5 i 5.31.10) na drogach krajowych.



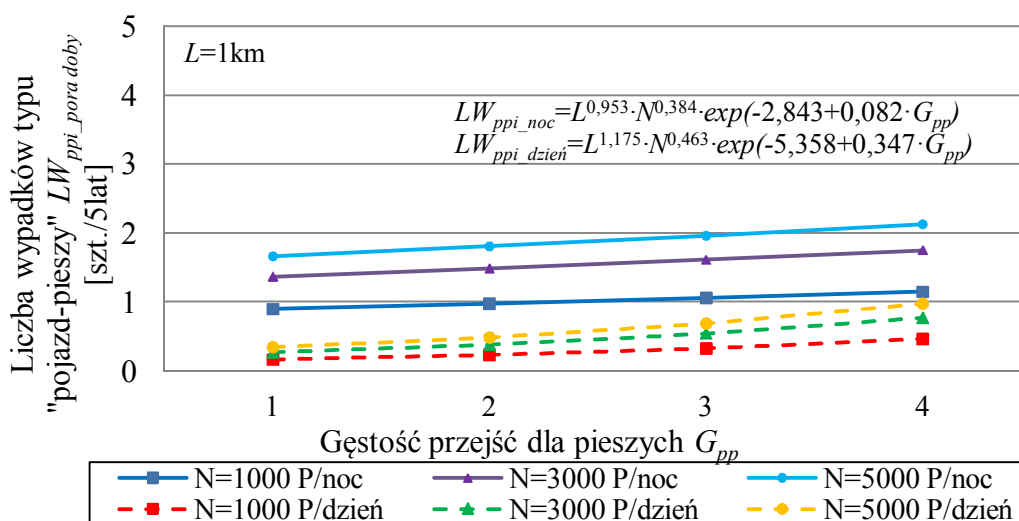
Rys. 5.8. Wpływ gęstości przystanków autobusowych z zatoką (G_{pazz}) na estymowaną liczbę wypadków w nocy na drogach wojewódzkich (wg wzoru 5.90.14).

Oszacowanie ilościowe wpływu gęstości przejść dla pieszych na brd w nocy

Gęstość przejść dla pieszych (G_{pp}) jest jedną z podstawowych cech infrastruktury, opisujących intensywność użytkowania otoczenia, szczególnie w odniesieniu do niechronionych użytkowników dróg. Charakterystyka wpływu gęstości przejść dla pieszych na liczbę wypadków została opisana w podpunkcie (Przejścia dla pieszych - wn.1) w rozdz. 5.2.4. Wnioski z analizy zbudowanych regresyjnych modeli predykcji wypadków pokazują, że w okresie nocy zmienna G_{pp} nie zawsze zostaje włączona do tych modeli, co może być odzwierciedleniem wzrostu udziału wypadków z pieszymi na odcinkach poza obszarem zabudowanym, gdzie rzadziej występują takie przejścia. Istotności zmiennej „gęstość przejść dla pieszych” nie uzyskano m.in. w modelach predykcji liczby wszystkich wypadków w nocy na drogach krajowych. Z tego powodu oszacowanie ilościowe wpływu zmiennej G_{pp} na brd pokazano na przykładzie modelu predykcji liczby wypadków typu „pojazd-pieszy” (rys. 5.9). Wpływ przedmiotowej zmiennej na liczbę wszystkich wypadków w nocy ujawnił się na drogach niższych klas (rys. 5.10).

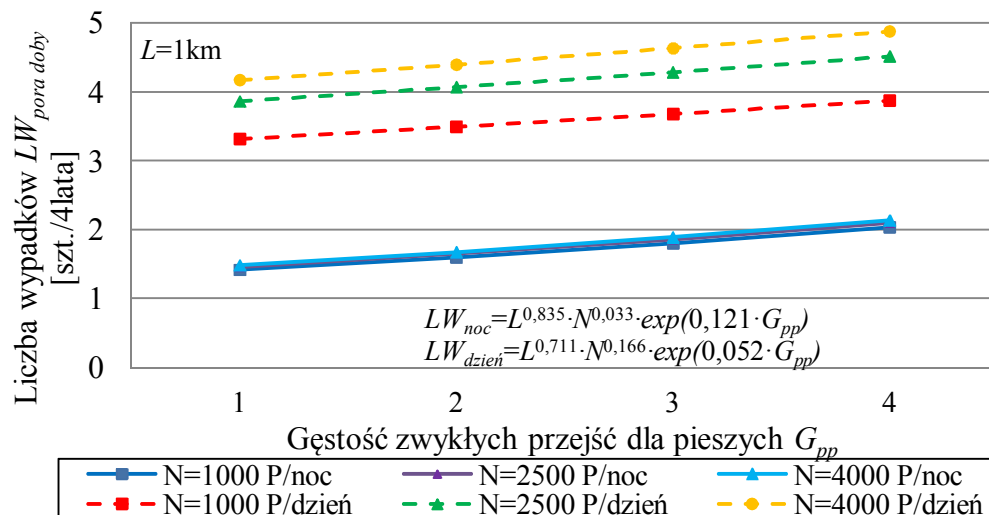
Na drogach krajowych każde dodatkowe przejście dla pieszych wpływa na 8,5% wzrost estymowanej liczby wypadków typu „pojazd-pieszy” w nocy. Na drogach wojewódzkich jedno takie przejście jest związane ze wzrostem liczby wszystkich wypadków w nocy o 12,9%. Ze względu na różne typy wypadków w analizowanych modelach, trudno o jednoznaczne porównanie wpływu klasy dróg na siłę związku pomiędzy gęstością przejść dla pieszych a liczbą wypadków.

Wpływ gęstości przejść dla pieszych na liczbę wypadków typu „pojazd-pieszy” na drogach krajowych zidentyfikowano również w okresie światła dziennego (rys. 5.9). Wpływ ten jest wyraźnie większy niż w nocy. Jedno przejście dla pieszych przy świetle dziennym wpływa na 41,5% wzrost estymowanej liczby wypadków typu „pojazd-pieszy”. Taki wzrost odpowiada 5 przejściom dla pieszych w nocy. Zaobserwowana tendencja może być związana ze znacznym wzrostem udziału wypadków z pieszymi w nocy poza obszarem zabudowy, gdzie rzadziej występują przejścia dla pieszych, w związku z czym ich rola w objaśnieniu liczby wypadków jest mniejsza.



Rys. 5.9. Wpływ gęstości przejść dla pieszych (G_{pp}) na estymowaną liczbę wypadków typu „pojazd-pieszy” w różnych porach doby (wg wzorów 5.2.13 i 5.32.15) na drogach krajowych.

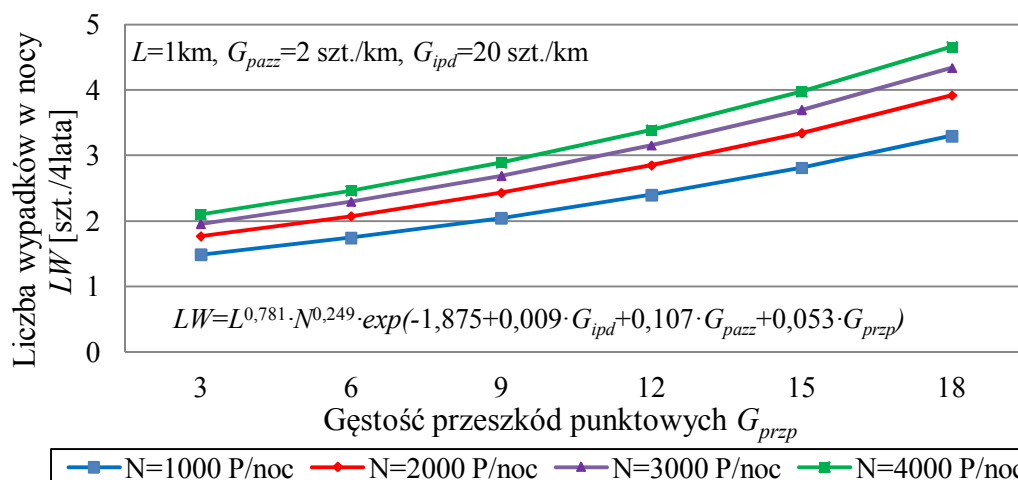
Na drogach wojewódzkich (niższych klas) wpływ gęstości przejść dla pieszych na estymowaną liczbę wypadków, wyrażony wartością współczynnika przy zmiennej G_{pp} w równaniu regresyjnym (rys. 5.10), jest mniejszy przy świetle dziennym niż w nocy. Jedno dodatkowe przejście jest związane ze wzrostem liczby wszystkich wypadków w „dzień” o 5,3%, a w „nocy” o 12,9%.



Rys. 5.10. Wpływ gęstości przejść dla pieszych (G_{pp}) na estymowaną liczbę wypadków w różnych porach doby (wg wzorów 5.90.5 i 5.93.3) na drogach wojewódzkich.

Oszacowanie ilościowe wpływu gęstości przeszkód punktowych na brd w nocy

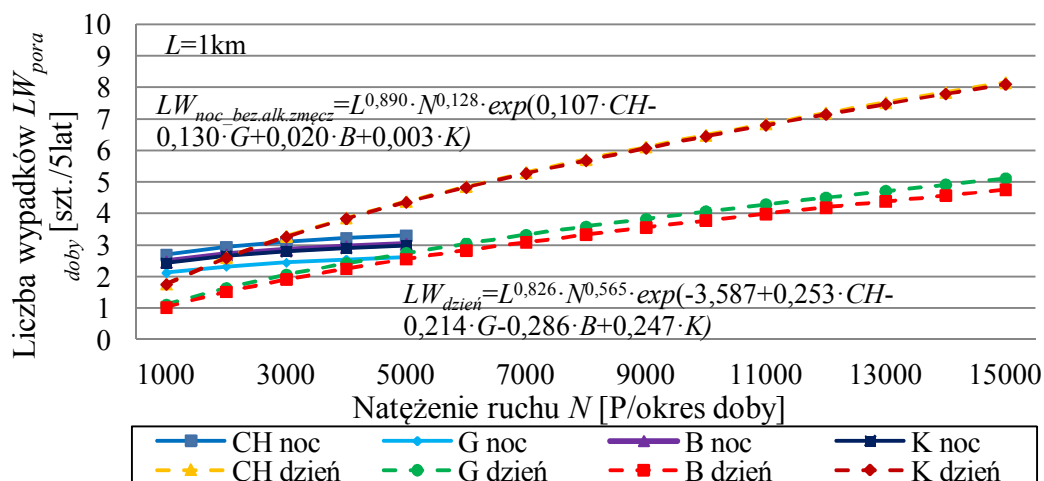
Wpływ przeszkód punktowych na brd w nocy ujawnił się jedynie na drogach niższych klas (wojewódzkich), co jest związane ze wzrostem liczby takich przeszkód w koronie lub bezpośrednim otoczeniu drogi wraz z obniżeniem jej klasy. Występowanie przeszkód w połączeniu z większą dostępnością do dróg i ograniczeniami widoczności, potęguje problemy brd w nocy. Szersza analiza wpływu gęstości przeszkód na liczbę wypadków znajduje się w podpunktach (Przeszkody - wn. 1) i (Przeszkody - wn. 2) w rozdz. 5.2.4. Na drogach wojewódzkich 3 przeszkody punktowe są związane ze wzrostem estymowanej liczby wypadków w nocy o 17,2% (rys. 5.11). Wpływu gęstości przeszkód bocznych na liczbę wypadków nie zidentyfikowano przy świetle dziennym.



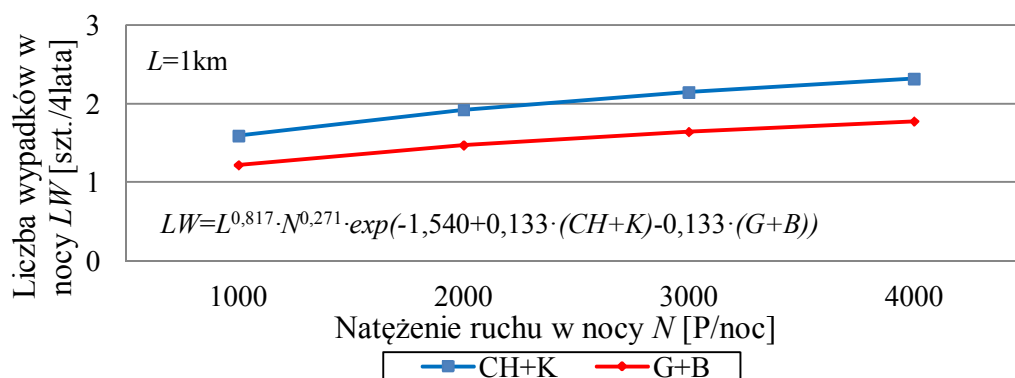
Rys. 5.11. Wpływ gęstości przeszkód punktowych (G_{przp}) na estymowaną liczbę wypadków w nocy na drogach wojewódzkich (wg wzoru 5.90.14).

Oszacowanie ilościowe wpływu typu przekroju poprzecznego na brd w nocy

Na drogach krajowych identyfikacja wpływu typu przekroju poprzecznego na liczbę wypadków w nocy była możliwa dopiero po wyłączeniu z analiz wypadków potencjalnie związanych z czynnikami osobowymi, tj. z alkoholem, zmęczeniem lub zaśnięciem kierowcy. Na drogach niższych klas z uwagi na rzadkie występowanie przekroju z poboczem bitumicznym i krawężnikiem połączono w jedną grupę $CH+K$ przekroje z chodnikiem i krawężnikiem oraz w grupę $G+B$ przekroje z poboczami gruntowymi i bitumicznymi. Niezależnie od klasy dróg, największa liczba wypadków w nocy występowała na odcinkach o przekrojach z chodnikiem i była ona większa o 26,7-30,5% (rys. 5.12 i rys. 5.13) niż na odcinkach z poboczami (w szczególności z poboczami gruntowymi). Większa liczba wypadków na odcinkach o przekrojach z chodnikami wynika z większego wystawienia na ryzyko, co zostało szerzej opisane w podpunktach (Typ przekroju - wn. 1) i (Typ przekroju - wn. 3) w rozdz. 5.2.4. Mniejsze zagrożenie występowaniem wypadków na odcinkach z poboczami wykazano również w pracach [9,10,11].



Rys. 5.12. Wpływ typu przekroju poprzecznego (CH chodnik, G pobocze gruntowe, B pobocze bitumiczne, K krawężnik) na estymowaną liczbę wypadków w różnych porach doby (wg wzorów 5.11.5 i 5.31.15) na drogach krajowych.



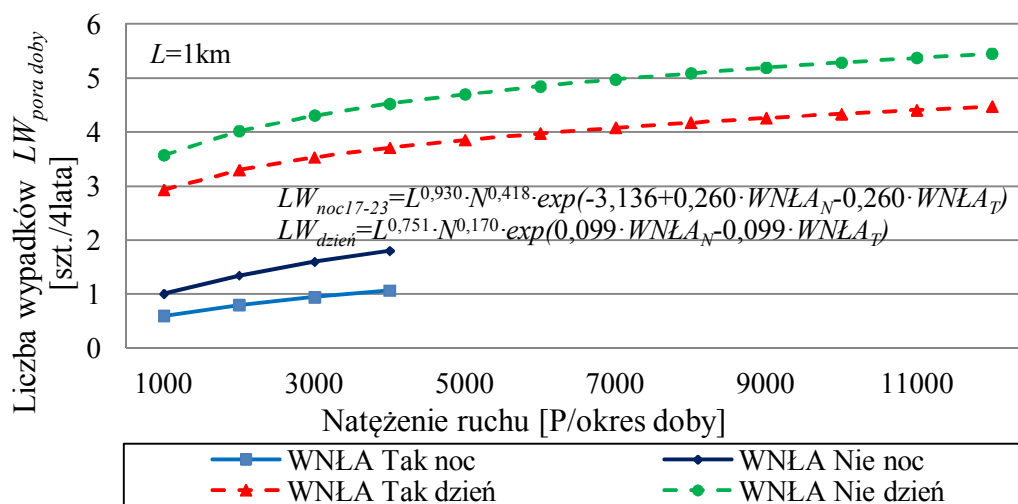
Rys. 5.13. Wpływ typu przekroju poprzecznego ($CH+K$ chodnik lub krawężnik, $G+B$ pobocze gruntowe lub bitumiczne) na estymowaną liczbę wypadków w nocy na drogach wojewódzkich (wg wzoru 5.90.11).

Z uwagi na obserwowany już na etapie analiz danych statystycznych o wypadkach (rozdz. 4) wzrost zagrożenia wypadkami z pieszymi poza zabudową w nocy, skala zagrożenia na odcinkach o przekrojach z chodnikiem w porównaniu do przekrojów z poboczami, choć

nadal jest większa od 1,0, to w większości modeli wyraźnie spada w stosunku do okresu dnia, co jest widoczne na drogach krajowych (rys. 5.12) pomimo różnych przedziałów natężeń ruchu w obu okresach doby. Przy świetle dziennym liczba wypadków na odcinkach z chodnikiem lub krawężnikiem jest o ok. 65% większa niż na odcinkach z poboczem gruntowym lub bitumicznym. Nie zaobserwowano wpływu typu przekroju poprzecznego na liczbę wypadków przy świetle dziennym na drogach wojewódzkich.

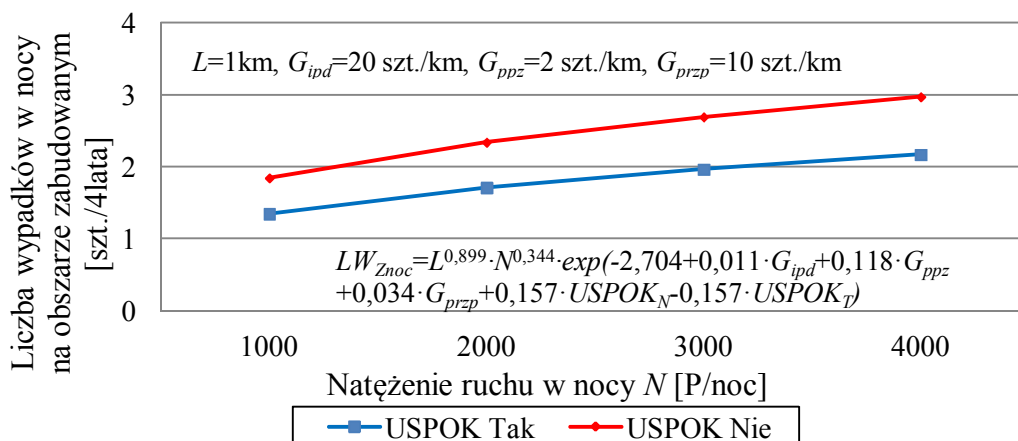
Oszacowanie ilościowe wpływu występowania niebezpiecznych łuków oraz elementów uspokojenia ruchu na brd w nocy

Zarówno wpływ występowania niebezpiecznych łuków (rys. 5.14), jak i elementów uspokojenia ruchu (rys. 5.15) na brd w nocy zidentyfikowano jedynie na drogach niższych klas. Ujawnienie się takich wpływów może być wynikiem większego, wraz ze spadkiem klasy drogi, zróżnicowania geometrii i wyposażenia dróg.



Rys. 5.14. Wpływ występowania niebezpiecznych łuków zwykłych (WNŁA) na estymowaną liczbę wypadków w różnych porach doby (wg wzorów 5.102.13 i 5.93.5) na drogach wojewódzkich.

Na odcinkach wyposażonych w elementy uspokojenia ruchu liczba wypadków w „nocy” spada o 26,9% (rys. 5.15), co jest zgodne z oczekiwaniami. W „dzień” nie zaobserwowano wpływu obecności elementów uspokojenia ruchu na zmiany estymowanej liczby wypadków.



Rys. 5.15. Wpływ występowania elementów uspokojenia ruchu (USPOK) na estymowaną liczbę wypadków w nocy na obszarze zabudowanym na drogach wojewódzkich (wg wzoru 5.91.27).

Występowanie niebezpiecznych łuków zwykłych, tj. oznakowanych słupkami prowadzącymi (U-1a lub U-1b), wpływa na spadek liczby wypadków w nocy w godz. 17:00-23:00 na drogach wojewódzkich o 40,5% (rys. 5.14), co może być odzwierciedleniem spadku prędkości, wzrostu koncentracji w nocy oraz mniejszej dostępności do dróg na odcinkach krętych. Przy świetle dziennym występowanie przedmiotowych łuków jest związane z mniejszym 18-procentowym spadkiem liczby wypadków w stosunku do odcinków bez takich łuków.

5.2.9. Podsumowanie analizy modeli regresyjnych

Zbudowane i opisane powyżej modele predykcji liczby wypadków przyczyniły się do rozpoznania szeregu determinant powstawania wypadków w różnych okresach doby. Część wykazanych wpływów może być w dużej mierze przypisana ograniczonym warunkom widoczności związanych z okresem nocy. Rozpoznane związki pomiędzy zidentyfikowanymi w modelach determinantami brd w nocy a informacjami na temat uwarunkowań nocnych ograniczeń widoczności zebranymi z literatury i własnych analiz wypadkowych, prowadzą do następujących spostrzeżeń:

- Przeszkody boczne są istotnymi determinantami zagrożenia wypadkowego, wpływają one głównie na wzrost udziału wypadków typu „najechanie na przeszkodę”;
- Część wypadków, szczególnie wypadków typu „najechanie na pieszego”, „przesuwa się” w nocy na odcinki poza zabudową;
- Wzrost wpływu przejść dla pieszych na brd w nocy na drogach niższych klas związany jest z dużym udziałem wypadków z pieszymi na odcinkach zabudowanych oraz na dojeźdżach do przystanków autobusowych lub skrzyżowaniach poza zabudową. Taki wpływ przejść dla pieszych pośrednio opisuje wystawienie na ryzyko w postaci większych natężeń ruchu pieszego;
- Niebezpieczne łuki poziome z słupkami prowadzącymi U-1a lub U-1b wpływają na spadek liczby wypadków w nocy na drogach wojewódzkich. Tendencja ta jest odwrotna na łukach o małych promieniach i dużych kątach zwrotu z tablicami prowadzącymi U-3a, U-3b, U-3c lub U-3d. Wzrost zagrożenia brd na najbardziej niebezpiecznych łukach jest odzwierciedleniem problemów z ich oznakowaniem, obecnością przeszkód w ich obrębie, stanem nawierzchni, lecz przede wszystkim ich utrudnioną percepcją w nocy;
- Skrzyżowania i komercyjne punkty dostępności mają duże znaczenie w opisie brd w nocy jako główne generatory ruchu w kierunkach bocznych do niezabudowanych odcinków dróg. Problem widoczności na dojeździe do skrzyżowania jest potęgowany obecnością przeszkód bocznych i trudnościami w dostrzeganiu pieszych w nocy;
- Wpływ przystanków autobusowych na zagrożenie wypadkowe w nocy w ogólności jest pośredni, ale jego wzrost w godz. 17:00-23:00 może być przypisany nie tylko większemu ruchowi autobusów, lecz również nocnym ograniczeniom widoczności pieszych poruszających się w obrębie przystanków.

Wartości współczynników determinacji modeli regresyjnych wyniosły 0,45-0,80 i są zgodne z wartościami współczynników determinacji (0,57-0,80) w modelach predykcji gęstości wypadków i ich ofiar zbudowanych przez Budzyńskiego i Kustrę [9,10,11].

Porównanie ww. współczynników determinacji jest zasadne z uwagi na dużą zgodność zmiennych niezależnych w modelach (w pracach [9,10,11] jako zmienne niezależne w modelach wykorzystano m.in.: natężenie ruchu, gęstość skrzyżowań, gęstość zjazdów komercyjnych, występowanie drzew, występowanie zabudowy i typ przekroju poprzecznego) i częściową zgodność próby odcinków dróg, dla których te modele zbudowano.

Przytoczone powyżej ogólne oceny wyników badań oraz szczegółowe wnioski zawarte we wcześniejszych rozdziałach pozwoliły w dużym stopniu zidentyfikować te elementy infrastruktury drogowej, które mają szczególne znaczenie w powstawaniu wypadków w warunkach nocnych ograniczeń widoczności. Na drogach wyższych klas, na których wpływ cech dróg na liczbę wszystkich wypadków w nocy był ograniczony, wykazano związek wybranych cech dróg z wypadkami różnych typów. Najsilniejsze ujawnione w ten sposób powiązania dotyczą wpływu:

- skrzyżowań, przejść dla pieszych i typu przekroju poprzecznego na liczbę wypadków typu „najechanie na pieszego”,
- skrzyżowań, typu przekroju poprzecznego i przeszkód bocznych na liczbę wypadków typu „pojazd-pojazd”,
- skrzyżowań, przejść dla pieszych, przeszkód bocznych i typu przekroju poprzecznego na liczbę wypadków na skrzyżowaniach,
- skrzyżowań, przeszkód punktowych i typu przekroju poprzecznego na liczbę wypadków w wyniku zderzenia bocznego.

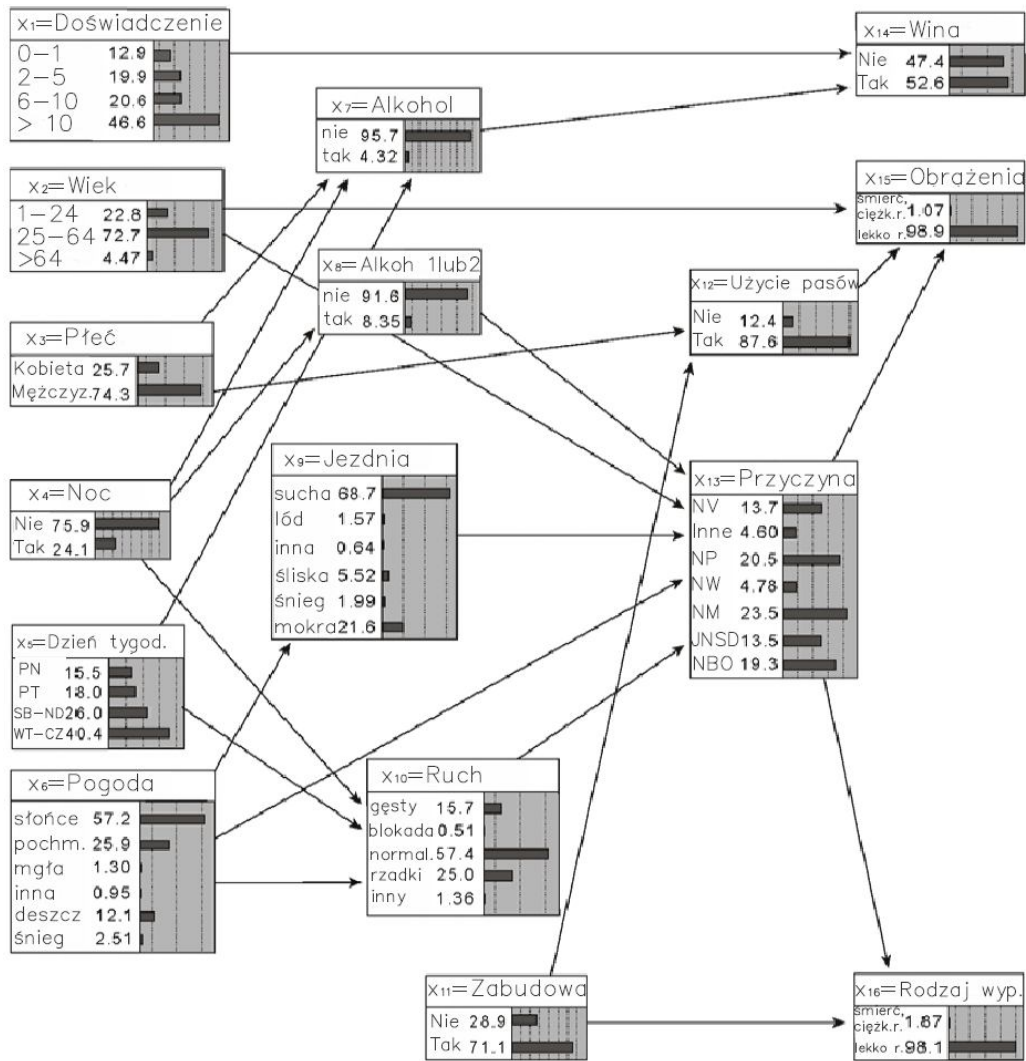
Wobec potrzeby dodatkowego kompleksowego rozpoznania determinant wypadków w nocy oraz rozszerzenia wiedzy na temat zależności pomiędzy wypadkami i cechami infrastruktury na drogach różnych klas podjęto dalsze badania przy pomocy sieci graficznych Bayesa.

5.3. Modele graficzne

Dotychczas przeprowadzone analizy regresyjne doprowadziły do identyfikacji elementów infrastruktury drogowej, wpływających na brd w warunkach nocnych ograniczeń widoczności. Identyfikacja ta może być jednak niepełna ze względu na ograniczenia metod regresyjnych, polegające m.in. na [78]:

- podziale zmiennych na zależne i niezależne,
- nieuwzględnieniu wprost korelacji między zmiennymi niezależnymi,
- jednokierunkowym i jednopoziomowym wzajemnym wpływie zmiennych.

Pozbycie się powyższych ograniczeń jest możliwe dzięki zastosowaniu modeli graficznych opartych na sieciach Bayesa. Podstawę teoretyczną tych sieci i ich zalety w stosunku do modeli regresyjnych przedstawiono w rozdz. 2.2.2. Przy pomocy modeli graficznych Simoncic [78] zbudował sieć współzależności pomiędzy cechami wypadków (rys. 5.16), która jest dobrą ilustracją zasad działania sieci Bayesa, przedstawionych w rozdz. 2.2.2. Na Rys. 5.16 znajdują się wartości prawdopodobieństw marginalnych (2.10), przyjęcia konkretnych wartości przez poszczególne zmienne.



Rys. 5.16. Przykładowa sieć Bayesa z prawdopodobieństwami marginalnymi [%] przyjęcia poszczególnych wartości przez pojedyncze węzły wg [78].

Występujące na rys. 5.16 symbole oznaczają: NV - niedostosowanie prędkości do warunków ruchu, NP - nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu, NW - nieprawidłowe wyprzedzanie, NM - nieprawidłowe manewry, JNSD - jazda po niewłaściwej stronie drogi, NBO - niezachowanie bezpiecznej odległości między pojazdami.

Prawdopodobieństwo łączne dla podanego przykładu zgodnie z zależnością (2.9) wyraża się wzorem:

$$\begin{aligned}
 P(X_1, \dots, X_{16}) = & P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) \cdot P(X_5) \cdot P(X_6) \cdot P(X_7 | X_3, X_4, X_5) \cdot \dots \\
 & \cdot P(X_8 | X_4) \cdot P(X_9 | X_6) \cdot P(X_{10} | X_4, X_5, X_6) \cdot P(X_{11}) \cdot P(X_{12} | X_3, X_{11}) \cdot \dots \\
 & \cdot P(X_{13} | X_2, X_6, X_8, X_9, X_{10}) \cdot P(X_{14} | X_1, X_7) \cdot P(X_{15} | X_2, X_{12}, X_{13}) \cdot P(X_{16} | X_{11}, X_{13})
 \end{aligned}
 \tag{5.13}$$

Prawdopodobieństwo przyjęcia poszczególnych wartości przez zmienną oblicza się zgodnie z zależnością (2.10), wykonując szereg uproszczeń z wykorzystaniem własności:

$$\sum_{X_k} P(X_k | par_G(X_k)) = 1
 \tag{5.14}$$

Dla przykładowej zmiennej X_{10} po wykonaniu uproszczeń prawdopodobieństwo $P(X_{10})$ wynosi:

$$P(X_{10}) = \sum_{X_1, \dots, X_9, X_{11}, \dots, X_{16}} P(X_1, \dots, X_{16}) = \sum_{X_4, X_5, X_6} P(X_{10} | X_4, X_5, X_6) \cdot P(X_4) \cdot P(X_5) \cdot P(X_6) \quad (5.15)$$

W taki sam sposób przeprowadza się obliczenie (marginalizację) prawdopodobieństwa wszystkich zmiennych.

Uwzględnienie jako jednego z węzłów sieci Bayesa miary zagrożenia brd (np. wskaźnika wypadkowego) umożliwia określenie wpływu na tę zmienną każdej innej zmiennej znajdującej się w sieci, jak i dowolnego zbioru tych zmiennych zgodnie ze wzorem (2.3). Na przykład prawdopodobieństwo, że zmienna X_{15} (*Obrażenia*) przyjmie wartość $X_{15} = \text{'śmierć, ciężko ranni'}$ pod warunkiem zajścia zdarzenia X_4 (*Noc*) = *'tak'* będzie wynosić:

$$\begin{aligned} P(X_{15} = \text{'śmierć_ciężko_ranni'} | X_4 = \text{'tak'}) &= \\ \frac{P(X_{15} = \text{'śmierć_ciężko_ranni'}, X_4 = \text{'tak'})}{P(X_4 = \text{'tak'})} &= \\ \frac{\sum_{X_1, X_2, X_3, X_5, \dots, X_{14}, X_{16}} P(X_1, X_2, X_3, X_4 = \text{'tak'}, X_5, \dots, X_{14}, X_{15} = \text{'śmierć_ciężko_ranni'}, X_{16})}{\sum_{X_1, X_2, X_3, X_5, \dots, X_{16}} P(X_1, X_2, X_3, X_4 = \text{'tak'}, X_5, \dots, X_{16})} &= \end{aligned} \quad (5.16)$$

Wykorzystanie modeli graficznych w analizach wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd uwidocznilo również ich następujące, dodatkowe zalety w stosunku do metod opartych na analizie regresji:

- Możliwość oceny zagrożenia brd w różnych warunkach oświetlenia przy pomocy jednego reprezentatywnego modelu zamiast wielu modeli regresyjnych;
- Uwzględnienie w modelu reprezentatywnym szerszego zestawu zmiennych (w sieciach Bayesa nazywanych również cechami) niż w modelach regresyjnych;
- Brak konieczności budowy różnych modeli dla wypadków różnych typów. Typ wypadku jest oddzielną zmienną w modelu;
- Uwzględnienie udziału tzw. „czynnika ludzkiego”, tj. alkoholu oraz zmęczenia lub zaśnięcia kierowcy jako oddzielnych zmiennych w modelu. Brak potrzeby usuwania z bazy danych o wypadkach rekordów silnie związanych z czynnikami osobowymi i budowy oddzielnych modeli w przypadku prób minimalizacji tych czynników.

5.3.1. Uwarunkowania zastosowania sieci Bayesa w analizach wypadkowych

Spotykana w literaturze metodologia modeli graficznych opartych na sieciach Bayesa [5,7,18,56,61,78,80,90] dotyczy wielu popularnych dziedzin wiedzy. Uwarunkowania zastosowania takich modeli w analizach wypadkowych nie zostały jednak wystarczająco dokładnie opisane. Badania podjęte przez Simoncica [78] i de Ona [18], w których takie modele zastosowano, opierały się na analizach współzależności cech wypadków bez uwzględnienia wpływu infrastruktury drogowej. Rekordem bazy danych w wymienionych opracowaniach jest pojedynczy wypadek wraz ze zbiorem jego cech. Przy takim podejściu

jedynym wskaźnikiem wypadkowym może być ciężkość wyrażona stopniem obrażeń poniesionych w wypadku. Nie podjęto natomiast prób włączenia do modelu innych miar zagrożenia brd.

Celem niniejszych badań jest identyfikacja współzależności nie tylko pomiędzy cechami wypadków, lecz również cechami dróg, ruchu oraz zagrożeniem brd. Takie kompleksowe podejście wymaga uzupełnienia wiedzy na temat uwarunkowań zastosowania modeli graficznych w analizach brd. Informacje dotyczące możliwości sieci Bayesa i jej zastosowania przy różnych zbiorach danych zaczerpnięto z [56]. Zasadniczo wyróżniono dwa sposoby budowy takich sieci:

- Gdy mamy do dyspozycji bardzo dużą bazę danych, tzn. większą od l^n rekordów, gdzie n to liczba zmiennych w modelu, a l to maksymalna liczba przypadków wartości zmiennej. Wówczas proces „uczenia sieci” może przebiec samoistnie, tzn. algorytm uczący może sprawdzić wszystkie połączenia pomiędzy węzłami i wybrać te, które są najsilniejsze. Takie sieci znajdują szerokie zastosowanie w medycynie (np. rekordem jest pojedynczy pacjent, a cechami jego dolegliwości, pochodzenie, itd.), meteorologii, ekonomii, branży internetowej czy telefonii komórkowej.
- Gdy baza danych jest mniej liczna. Wówczas należy w możliwie najwierniejszy sposób odzwierciedlić rzeczywistość, tzn. niektóre zależności „przyczynowo-skutkowe” powinny być oparte na wiedzy. Im więcej jest danych (jak w sposobie 1), tym model jest dokładniejszy, jednak głębsza analiza niektórych cech może doprowadzić do wniosku o ich ściśle losowym charakterze, co świadczyłoby o braku konieczności korzystania ze sposobu 1. Ponadto często zdarza się, że mamy tylko częściową wiedzę na temat opisywanego stanu. Takie rozpoznanie natury badanego zjawiska pozwala na budowę połączeń pomiędzy węzłami, które znacząco upraszczają proces „uczenia sieci”. Znajomość natury pojedynczej cechy pozwala również zredukować liczbę niezbędnych rekordów bazy danych w sposób wykładniczy, co jest niezwykle istotne z punktu widzenia pracochłonności budowy modelu.

W analizach wypadkowych możemy posługiwać się obydwoma sposobami budowy modelu graficznego. Wraz z wyborem jednego z nich istotne jest również rozstrzygnięcie kilku zasadniczych wątpliwości, dotyczących doboru rekordu bazy danych oraz sposobu zespolenia danych o wypadkach z cechami infrastruktury drogowej i wskaźnikami wypadkowymi.

Rekordem bazy danych, na podstawie której buduje się model graficzny, może być odcinek drogi lub pojedynczy wypadek wraz ze zbiorem jego cech. Gdy za taki rekord chcemy przyjąć wypadek, to utrudniamy możliwość włączenia do modelu danych opisujących infrastrukturę drogową. Trudność polega na tym, że wypadek jest przypisany do jednego punktu na drodze, opisanego odpowiednim kilometrażem, natomiast dane dotyczące infrastruktury często są wyrażone przy pomocy charakterystyk odnoszonych do określonej długości odcinka. Ponadto w przypadku analiz całej sieci dróg zachodzi konieczność pozyskania danych o infrastrukturze ze wszystkich odcinków tworzących sieć, co wiąże się z kosztami i pracochłonnością. Duży zbiór danych jest również związany ze spadkiem szczegółowości modelu, trudnością identyfikacji jego zakłóceń oraz odkrycia pewnych

stanów, których nie może on uwzględnić. Zysk z takiego podejścia polegałby natomiast na możliwości wykorzystania pierwszego z powyższych sposobów budowy modelu, który pozwoliłby na pominięcie poszukiwania zależności między zmiennymi.

Aby w pełni uwzględnić cechy infrastruktury drogowej, za pojedynczy rekord możemy przyjąć pewien odcinek drogi, posiadający konkretną charakterystykę, np. odcinek niebezpieczny wyznaczony w rozdz. 5.1.1. Wówczas danych jest z reguły mniej i należy skorzystać z drugiego sposobu budowy sieci. W tym przypadku dodatkową trudność stanowi jednak połączenie bazy danych o wypadkach oraz o infrastrukturze, gdyż do jednego odcinka przyporządkowana jest różna liczba wypadków.

5.3.2. Założenia do budowy modeli graficznych

Analiza wad i zalet, a także możliwości budowy modelu graficznego oraz dostępnych baz danych doprowadziła do następujących założeń we własnych analizach:

- Jako rekord bazy danych przyjęto wypadek, który miał miejsce na dowolnym odcinku niebezpiecznym, wyznaczonym w rozdz. 5.1.1. Takie założenie umożliwia maksymalizację liczby rekordów przy wykorzystaniu dostępnej (w ramach możliwości dotyczących środków i pracochłonności) bazy o infrastrukturze drogowej;
- Wybrano 2 sposób budowy sieci. Wykorzystanie pierwszego sposobu jest niemożliwe ze względu na ograniczoną liczbę wypadków na wyselekcjonowanych odcinkach niebezpiecznych (2067 wypadków na drogach krajowych i 1322 na drogach wojewódzkich). Przy założeniu maksymalnej liczby przypadków wartości zmiennej $l=5$, sieć dla obu baz danych mogłaby zawierać jedynie $n=4$ zmienne ($l^n=625$). W przypadku $n=5$ zmiennych, $l^n=3125$ jest bowiem większe zarówno od 2067, jak i 1322;
- W związku z wyborem drugiego sposobu budowy modeli selekcję ich zmiennych oraz powiązań między nimi należy oprzeć na: interpretacji fizycznej, zależnościach „przyczynowo-skutkowych”, wiedzy zaczerpniętej z modeli regresyjnych opisanych w rozdz. 5.2 oraz korelacjach r_s Spearmana. Dzięki budowie modelu na podstawie znajomości natury zjawiska, uproszczeniu ulegnie proces „uczenia sieci”;
- Ze względu na cel nadrzędny budowy sieci Bayesa, jakim jest identyfikacja wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd, obligatoryjnie wprowadzono link łączący każdy węzeł sieci ze zmienną wyrażającą porę doby;
- Przyjęto, że każdy wypadek będzie przyporządkowany do odcinka, na którym miał miejsce i w związku z tym będzie zawierał jego cechy. W ten sposób zostanie wyrażony potencjalny wpływ infrastruktury na wystąpienie konkretnego wypadku;
- Bazę danych nazwano D . Baza składa się z m rekordów, z których każdy oznaczono $d[m]$;
- Zostanie podjęta próba włączenia do modelu wskaźnika zagrożenia W_Z obliczanego ze wzoru (2.25). Ze względu na zmienność tego wskaźnika w zależności od pory doby, jego wartość na każdym odcinku niebezpiecznym skorygowano analogicznie, jak w rozdz. 5.1.1, tzn. z uwzględnieniem różnych długości trwania poszczególnych okresów oświetlenia. Każdy wypadek przyjmuje wartość zmiennej W_Z zgodnie z właściwą mu porą doby i odcinkiem niebezpiecznym;

- Ocena zagrożenia brd zgodnie z metodologią [22] wymaga uwzględnienia w modelu miary wystawienia na ryzyko, wobec czego jeden z węzłów sieci Bayesa będzie wyrażał natężenie ruchu. Wartość tej zmiennej, podobnie jak w przypadku W_Z , będzie adekwatna do pory doby i odcinka niebezpiecznego, właściwych dla danego wypadku;
- Ze względu na konieczność zapewnienia zgodności sieci ze stanem rzeczywistym liczba zmiennych nie może być zbyt duża. Każda zmienna włączona do modelu obniża wartość prawdopodobieństwa $P(\text{MPE})$, opisanego w rozdz. 5.3.4. Najniższa możliwa wartość tego prawdopodobieństwa dla zbioru danych empirycznych $P_{dane}(\text{MPE})$ wynosi odpowiednio $1/2067=0,0004837$ dla dróg krajowych oraz $1/1322=0,0007564$ dla dróg wojewódzkich. Granicznym momentem włączania zmiennych do modeli jest zatem spadek $P(\text{MPE})$ poniżej podanych wartości;
- Decyzja o włączeniu dodatkowego połączenia (linku) pomiędzy węzłami, które już znajdują się w modelu będzie zależęć od wzrostu wartości $P(\text{MPE})$. W przypadku nieuzyskania takiego wzrostu połączenie jest odrzucane;
- Ze względu na dostępną liczbę danych wprowadzono ograniczenie liczby kombinacji wartości zmiennych będących rodzicami danej zmiennej ($Par_G(X_k)$ rozdz. 2.2.2) odpowiednio do $2067/30=69$ dla dróg krajowych oraz $1322/30=44$ dla dróg wojewódzkich. Dzięki takiemu ograniczeniu średnia liczba przypadków każdej zmiennej pod warunkiem wystąpienia danej kombinacji zmiennych $Par_G(X_k)$ jest większa od 30, co zapewnia istotność statystyczną tej zmiennej. W praktyce oznacza to, że każda zmienna będzie mieć w sieci maksymalnie 2-3 rodziców;
- Różne wartości korelacji i zmienne wzajemne wpływy poszczególnych cech zidentyfikowane w analizach regresyjnych stwarzają konieczność budowy modeli metodą krokową z każdorazową weryfikacją ich poprawności.

5.3.3. Przepływ informacji w modelu bayesowskim

Jedno z przyjętych w pracy założeń polega na ograniczeniu liczby rodziców każdej zmiennej do 2-3. Takie ograniczenie nie musi jednak powodować, że przedmiotowa zmienna jest zależna jedynie od swoich rodziców. Teoria sieci Bayesa [56] wskazuje, że zmienna X_1 wpływa na zmienną X_2 w przypadkach następujących połączeń:

- 1) $X_1 \rightarrow X_2$
- 2) $X_1 \leftarrow X_2$
- 3) $X_1 \rightarrow X_3 \rightarrow X_2$
- 4) $X_1 \leftarrow X_3 \leftarrow X_2$
- 5) $X_1 \leftarrow X_3 \rightarrow X_2$

Przedmiotowe wpływy oznaczają m.in., że zmienna będąca „dzieckiem” wpływa na zmienną będącą „rodzicem”, tzn. zależność „rodzic-dziecko” jest dwukierunkowa. Każda zmienna jest również zależna od innych zmiennych niezwiązanych z nią bezpośrednim połączeniem w sieci Bayesa. Niezależność zmiennych występuje jedynie w przypadku tzw. „struktury V” o następującej postaci:

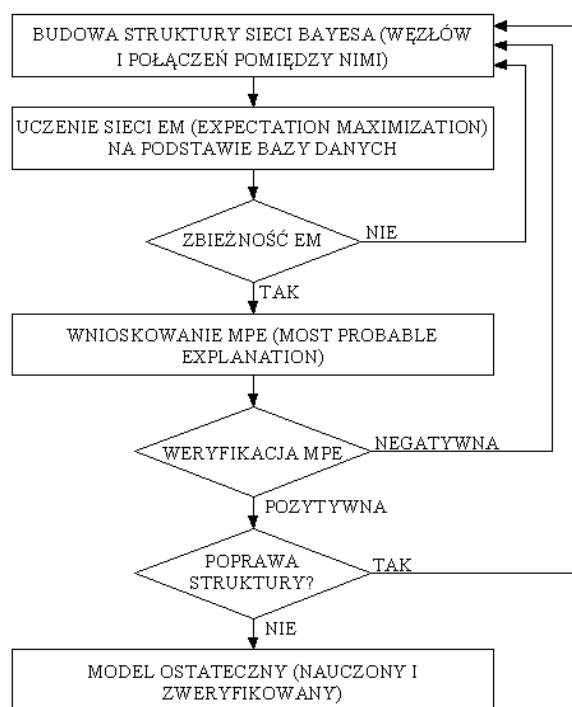
- 6) $X_1 \rightarrow X_3 \leftarrow X_2$

Przepływ informacji w sieci Bayesa jest aktywny, jeśli na jego drodze nie ma „struktury V”. Ograniczenie liczby rodziców w sieci nie stanowi zatem przeszkody we

wzajemnym wpływie zmiennych. Aby umożliwić przepływ informacji w modelach graficznych budowanych na potrzeby niniejszej pracy, starano się unikać „struktur V”.

5.3.4. Budowa sieci Bayesa

Konsekwencją założeń opisanych w rozdz. 5.3.2 jest wybór sposobu budowy sieci Bayesa opartego na częściowo znanej strukturze połączeń między węzłami. Krokowa metoda, której schemat przedstawiono na rys. 5.17, zapewni dokładne poznanie tej struktury oraz umożliwi weryfikację modelu.



Rys. 5.17. Schemat krokowej metody budowy sieci Bayesa.

Poprawa struktury modelu we wskazanej metodzie jest konieczna w przypadku:

- Braku zbieżności algorytmu uczącego EM (rozdz. 5.3.5),
- Negatywnej weryfikacji modelu (rozdz. 5.3.6),
- Braku poprawy zgodności $P(\text{MPE})$ z $P_{\text{dane}}(\text{MPE})$,
- Spadku wartości $P(\text{MPE})$ poniżej minimalnej wartości wskazanej w rozdz. 5.3.2.

Przedstawiona metoda powinna doprowadzić do budowy sieci o optymalnej strukturze, która umożliwi określenie dodatkowych wpływów nocnych ograniczeń widoczności na brd. Do budowy modelu bayesowskiego wykorzystano program SAMIAM (*Sensitivity Analysis, Modeling, Inference and More*) [46].

5.3.5. Proces uczenia sieci Bayesa

Proces uczenia sieci polegał na identyfikacji wartości wszystkich jej parametrów przy zadanej w danym kroku strukturze. W tym celu wykorzystano algorytm EM (*Expectation Maximization*), zaprojektowany w celu optymalizacji funkcji prawdopodobieństwa. Algorytm ten umożliwia optymalizację parametrów sieci nawet przy brakach w bazie danych. Ma on jednak szczególne zastosowanie w przypadku kompletnej bazy, jaką dysponowano w przedmiotowych badaniach. EM jest złożony z następujących kroków [56]:

- 1) Przyjęcie niezerowych wartości wstępnych wszystkich parametrów θ modelu, tj. prawdopodobieństw warunkowych $\theta^{t=0}=P(X_k|U_k)$, zwanych czynnikami (*factors*), opisanych w rozdz. 2.2.2. W podanych oznaczeniach: $U_k=Par_G(X_k)$; $k=1, \dots, n$; n liczba zmiennych w sieci Bayesa.
- 2) Procedura iteracyjna dla zadanej liczby iteracji t :

a) Krok E (Expectation):

- Uzupełnienie ewentualnych braków w bazie danych na podstawie aktualnych wartości parametrów,
- Wyznaczenie dla każdego rekordu bazy danych $d[m]$ i każdej rodziny zmiennych (X_k, U_k) prawdopodobieństwa:

$$P(X_k, U_k | d[m], \theta^t) \quad (5.17)$$

- Obliczenie oczekiwanej wystarczającej statystyki (ESS *Expected Sufficient Statistics*) \overline{M}_{θ^t} dla każdego przypadku (x_{kij}, u_{kj}) w rodzinie (X_k, U_k) , gdzie: $i=1, \dots, l$; l liczba przypadków zmiennej X_k ; j liczba konfiguracji przypadków zmiennych U_k :

$$\overline{M}_{\theta^t} [x_{kij}, u_{kj}] = \sum_{m=1}^M P(x_{kij}, u_{kj} | d[m], \theta^t) \quad (5.18)$$

- b) Krok M (Maximization), wykorzystujący procedurę MLE (Maximum Likelihood Estimation), polegającą na znalezieniu wartości parametru θ , która maksymalizuje prawdopodobieństwo:

$$L(\theta : D) = \prod_{i=1}^l \theta_{x_{kij}|u_{kj}}^{\overline{M} [x_{kij}, u_{kj}]} \quad (5.19)$$

Krok ten obejmuje następujące czynności:

- Przyjęcie statystyki \overline{M}_{θ^t} jako rzeczywistej,
- Wyznaczenie nowych wartości parametrów θ modelu w odniesieniu do \overline{M}_{θ^t} :

$$\theta_{x_{kij}|u_{kj}}^{t+1} = \frac{\overline{M}_{\theta^t} [x_{kij}, u_{kj}]}{\overline{M}_{\theta^t} [u_{kj}]} \quad (5.20)$$

Zastosowanie algorytmu EM gwarantuje wzrost wartości $L(\theta:D)$ w każdej iteracji, co jest istotne z punktu widzenia zbieżności całej metody. Cechą charakterystyczną tego algorytmu jest to, że już po kilku iteracjach parametry zbliżają się do rzeczywistych wartości, a następnie proces zbieżności znacznie zwalnia. Wykorzystując EM w niniejszej pracy założono wykonanie 10 iteracji, dzięki którym uzyskiwano bardzo dobrą zgodność (w najgorszym przypadku rzędu 10^{-20}) wartości parametrów z prawdopodobieństwami rzeczywistymi.

5.3.6. Metoda wnioskowania i weryfikacji modelu bayesowskiego

Rozwiązanie sieci Bayesa jest problemem NP.-trudnym (*non-deterministic polynomialtime hard*), tzn. przynajmniej tak trudnym, jak problem NP, którego rozwiązanie musi być podane z zewnątrz, a następnie zweryfikowane metodą krokową [56]. Podanie rozwiązania z zewnątrz oznacza, że specjalny algorytm dysponuje pewnym skończonym zbiorem możliwych rozwiązań, spośród których wybiera jedno. Weryfikacja polega na wyznaczeniu metodą aproksymacyjną prawdopodobieństw łącznych (2.9), marginalnych (2.10) i warunkowych (tj. prawdopodobieństw przyjęcia konkretnych wartości przez pewien zestaw zmiennych w przypadku posiadania częściowej wiedzy na temat innych zmiennych), a następnie sprawdzeniu dobroci tej aproksymacji. Negatywny wynik weryfikacji oznacza odrzucenie rozwiązania i zaproponowanie nowego. Do przeprowadzenia całego opisanego procesu nazywanego wnioskowaniem (*inference*) sieci Bayesa służą następujące algorytmy: sumacyjne (np. VE – *Variable Elimination*), przenoszenia wiadomości (np. BP – *Belief Propagation* i VA – *Variational Approximations*) oraz próbkowania losowego (np. MCMC – *Markov Chain Monte Carlo* i IS – *Importance Sampling*). Program SAMIAM, który został użyty do budowy sieci na potrzeby niniejszej rozprawy bazuje na algorytmach Hugin i Shenoy-Shafer [47], należących do grupy BP.

Obok wnioskowania odnoszącego się do wyznaczenia kompletu prawdopodobieństw łącznych, marginalnych i warunkowych istnieje również tzw. wnioskowanie MAP (*Maximum a Posteriori*). Jego przedmiotem jest określenie najbardziej prawdopodobnej konfiguracji „a posteriori” wartości konkretnego zestawu zmiennych $\{X_1, \dots, X_n\}$ w sieci przy założeniu, że część z nich może być znana. Do wyznaczenia MAP służy następujący wzór [56]:

$$MAP(Y|E=e) = \operatorname{argmax}_y P(Y=y|E=e) \quad (5.21)$$

gdzie:

- $E=e$ – cechy, których wartość jest znana (*Evidence*);
- Y – wszystkie pozostałe cechy: $Y=\{X_1, \dots, X_n\}-E$;

Szczególnym przypadkiem MAP jest MPE (*Most Probable Explanation*), tj. najbardziej prawdopodobna konfiguracja wszystkich zmiennych w sieci poza tymi, których wartość jest znana. Simonic [78] i de Ona [18] weryfikowali poprawność zbudowanych przez siebie sieci przy pomocy porównania wartości $P(\text{MPE})$ dla wszystkich zmiennych z prawdopodobieństwem $P_{dane}(\text{MPE})$, tzn. udziałem przypadków konfiguracji MPE w bazie danych. $P(\text{MPE})$ wyznacza się z ogólnego wzoru na prawdopodobieństwo łączne (2.9). Porównanie $P(\text{MPE})$ i $P_{dane}(\text{MPE})$ będzie również wyznacznikiem jakości sieci w niniejszej pracy i dotyczyć będzie wszystkich modeli w każdym kroku wnioskowania sieci Bayesa. Zarówno Simonic, jak i de Ona swoje porównania ograniczyli do zestawienia tabelarycznego wartości $P(\text{MPE})$ i $P_{dane}(\text{MPE})$, nie wykorzystując wskaźników, umożliwiających ocenę zgodności tych prawdopodobieństw. W niniejszej pracy w celu ułatwienia przedmiotowego porównania wprowadzono współczynnik R wg następującego wzoru:

$$R = \frac{\min(P(\text{MPE}), P_{dane}(\text{MPE}))}{\max(P(\text{MPE}), P_{dane}(\text{MPE}))} \quad (5.22)$$

Podobnie, jak w przypadku zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 w modelach regresyjnych, wartość R zawiera się w przedziale $<0; 1>$. Im wyższa jest ta wartość, tym lepiej model jest dopasowany do danych rzeczywistych.

5.3.7. Zbiór zmiennych w modelach graficznych

Dobór zmiennych do modeli graficznych był w dużej mierze podyktowany wnioskami z analizy regresyjnych modeli predykcji wypadków. Obok rozpoznania w tych modelach determinant zagrożenia brd w różnych warunkach oświetlenia, zidentyfikowano również zmienne, które nie są związane z takim zagrożeniem i nie będą brane pod uwagę przy budowie modeli graficznych. Kolejną przyczyną zawężenia zbioru zmiennych w sieciach Bayesa są ograniczenia odnośnie liczby tych zmiennych w modelu wskazane w rozdz. 5.3.2. Ze względu na konieczność precyzyjnego doboru zmiennych, zdecydowano się uwzględnić w badaniach jedynie te, które wyraźnie wpływały na brd w różnych porach doby w modelach regresyjnych (tj. podnosiły wartość R_p^2 o min. 0,05). Uwzględniono również zmienne opisujące wystawienie na ryzyko oraz zagrożenie brd, co wynikało z założeń opisanych w rozdz. 5.3.2. Łącznie wyodrębniono następujące zmienne, podzielone na 4 grupy:

1) Cechy wypadków:

- Pora doby – dzień (DZ), zmierzch lub świt (ZS), noc w godzinach 17:00-23:00 ($NI7-23$) oraz noc po godzinie 23:00 ($Npo23$) – z wyodrębnieniem okresu nocy w godzinach 17:00-23:00 ze względu na próbę minimalizacji znaczenia tzw. „czynnika ludzkiego”, opisaną w rozdz. 4.7,
- Typ wypadku – wypadek typu „pojazd-pieszcy” (PPI), wypadek z pojedynczym pojazdem, m.in. najechanie na przeszkodę lub wywrócenie się pojazdu (P), zderzenie czołowe (ZCZ), zderzenie boczne (ZBO) oraz zderzenie tylne (ZTY),
- Alkohol – zmienna dychotomiczna, określająca udział alkoholu jako okoliczności wypadku,
- Zmęczenie lub zaśnięcie – zmienna dychotomiczna, określająca zmęczenie lub zaśnięcie kierowcy jako bezpośrednią przyczynę wypadku (zmienne „Alkohol” i „Zmęczenie lub zaśnięcie” wprowadzono w celu minimalizacji znaczenia czynników osobowych w analizie powiązań wypadków z infrastrukturą drogową),

2) Miary wystawienia na ryzyko:

- Natężenie Q ruchu pojazdów w roku 2007 (drogi krajowe) lub 2008 (drogi wojewódzkie) [P/h pory doby / pas] – na odpowiednim dla danego wypadku odcinku niebezpiecznym obliczone wg metody opisanej w rozdz. 5.1.3, podzielone przez liczbę godzin, przypadającą średnio w ciągu roku na dany okres doby;

3) Miary zagrożenia brd:

- Wskaźnik W_Z – obliczany ze wzoru (2.25) i przy uwzględnieniu założeń podanych w rozdz. 5.3.2, przyporządkowany do danego wypadku adekwatnie do pory doby i odcinka niebezpiecznego,
- Obrażenia – miara ciężkości wypadku wg ofiary o największych obrażeniach: ofiara śmiertelna (OS), ciężko ranny (CR) lub lekko ranny (LR). W bazie z dróg

wojewódzkich nie rozróżniono ciężkości rannego, wobec czego połączono grupy „CR” i „LR” w jedną grupę „R” (ranny);

4) Cechy infrastruktury dróg:

- Gęstość komercyjnych punktów dostępności (G_{kpd}) [szt./km],
- Gęstość punktów dostępności (G_{pd}) [szt./km],
- Gęstość przystanków autobusowych (G_{pa}) [szt./km],
- Gęstość przejść dla pieszych (G_{pp}) [szt./km],
- Gęstość zwykłych przejść dla pieszych (G_{ppz}) [szt./km],
- Gęstość skrzyżowań (G_{sk}) [szt./km],
- Gęstość przeszkód punktowych do 2m długości włącznie (G_{przp}) [szt./km],
- Typ przekroju poprzecznego – chodnik (CH), pobocze bitumiczne (B), pobocze gruntowe (G) lub krawężnik (K). W modelach obejmujących drogi wojewódzkie połączono grupy „B” i „G” oraz grupy „CH” i „K” z uwagi na rzadkie występowanie pobocza bitumicznego oraz przekroju z krawężnikiem;
- Występowanie zabudowy;

Zmienne o charakterze ciągłym (G_{kpd} , G_{pd} , G_{pa} , G_{pp} , G_{ppz} , G_{sk} , G_{przp} , Q i W_z) zgodnie z założeniami zostały poddane dyskretyzacji. Dla każdej z nich wyodrębniono 5 przedziałów wartości. Kryteriami doboru przedziałów były:

- zapewnienie wystarczającej zmienności przedmiotowych cech w oparciu o znajomość ich wartości na podstawie bazy danych,
- niedopuszczenie do zbyt dużych rozpiętości wartości w ramach jednego przedziału, co mogłoby spowodować trudności we właściwej interpretacji wyników,
- założenie o maksymalnie 5 przypadkach w obrębie jednej zmiennej zgodnie z przesłankami opisanymi w rozdz. 5.3.2.

Wszystkie rozpatrywane zmienne wraz z liczbą przypadków zestawiono w tabl. 5.11.

Tabl. 5.11. Zestawienie zmiennych do budowy modeli graficznych.

Zmienna X_k	Liczba przypadków l	Przypadki				
		Tak	Nie			
Alkohol	2					
G_{kpd}	5	0	(0; 2>	(2; 4>	(4; 8>	(8; +∞)
G_{pd}	5	(0; 5>	(5; 15>	(15; 25>	(25; 40>	(40; +∞)
G_{pa}	5	0	(0; 1>	(1; 2>	(2; 3>	(3; +∞)
G_{pp}	5	0	(0; 1>	(1; 2>	(2; 3>	(3; +∞)
G_{ppz}	5	0	(0; 1>	(1; 2>	(2; 3>	(3; +∞)
G_{sk}	5	0	(0; 1>	(1; 2>	(2; 4,5>	(4,5; +∞)
G_{przp}	5	0	(0; 2>	(2; 4>	(4; 6>	(6; +∞)
Natężenie Q	5	(0; 100>	(100; 200>	(200; 350>	(350; 500>	(500; +∞)
Obrażenia	3	OŚ	CR	LR		
Pora doby	4	DZ	ZŚ	N17-23	Npo23	
Typ przekroju	4	CH	K	G	B	
Typ wypadku	5	PPI	P	ZCZ	ZBO	ZTY
W_z	5	<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞)
Zabudowa	2	Tak	Nie			
Zmęczenie lub zaśnięcie	2	Tak	Nie			

5.3.8. Modele graficzne zależności cech wypadków na drogach krajowych

Budowa modeli

Głównym celem zastosowania modeli graficznych jako dodatkowej metody oceny zagrożenia wypadkowego w różnych warunkach oświetlenia jest potrzeba dokładniejszej identyfikacji czynników drogowo-ruchowych, odpowiadających za to zagrożenie. Dzięki pozbyciu się w analizach przy pomocy modeli graficznych pewnych ograniczeń, jakie były związane z zastosowaniem metod regresyjnych spodziewano się uwidocznienia charakteru wpływu elementów infrastruktury na zagrożenie wypadkowe. Takie oczekiwania stawiano głównie przed modelami obejmującymi odcinki dróg krajowych ze względu na ograniczoną liczbę zidentyfikowanych na tych drogach wpływów infrastruktury drogowej na występowanie wypadków w warunkach nocnych ograniczeń widoczności.

Kierując się wszystkimi poczynionymi założeniami i uwarunkowaniami, zbudowano model reprezentatywny zawierający 13 następujących zmiennych: „Alkohol”, „Obrażenia”, „Pora doby”, „Typ przekroju”, „Typ wypadku”, wskaźnik zagrożenia W_z , „Natężenie Q ”, „Zabudowa”, „Zmęczenie/zaśnięcie” oraz gęstości: komercyjnych punktów dostępności (G_{kpd}), przystanków autobusowych (G_{pa}), przejść dla pieszych (G_{pp}) i skrzyżowań (G_{sk}). Liczebności przypadków tych zmiennych w bazie danych zestawiono w tabl. 5.12.

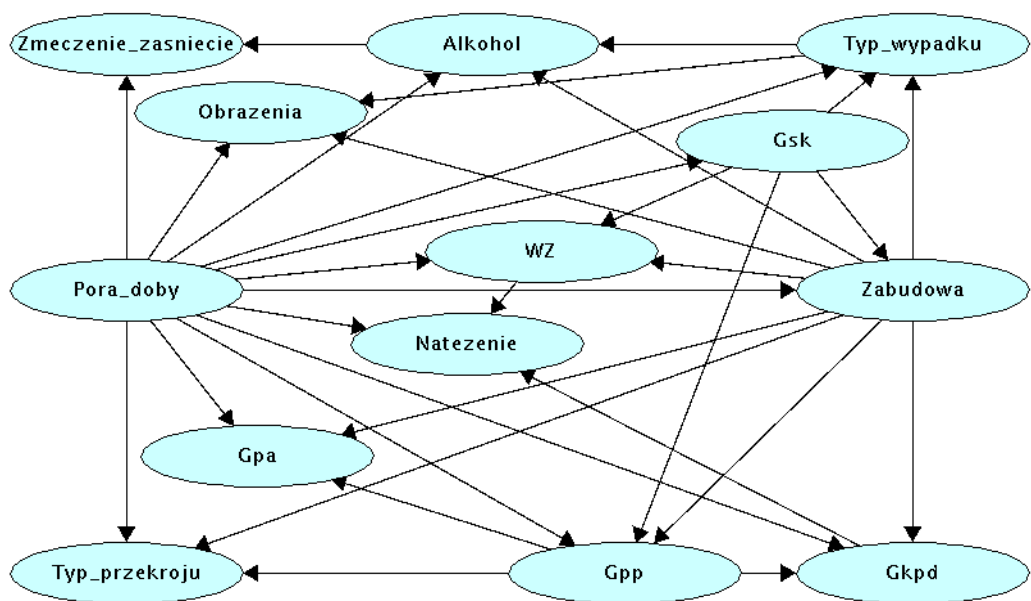
Tabl. 5.12. Liczebność przypadków zmiennych wyselekcjonowanych do budowy sieci Bayesa w bazie danych z dróg krajowych.

Zmienna X_k	Wartość	Liczebność przypadków	Udział przypadków [%]	Zmienna X_k	Wartość	Liczebność przypadków	Udział przypadków [%]
Alkohol	Tak	230	11,1%	Obrażenia	OŚ	326	15,8%
	Nie	1837	88,9%		CR	550	26,6%
G_{kpd}	0	571	27,6%		LR	1191	57,6%
	(0; 2>	386	18,7%	Pora doby	DZ	1001	48,4%
	(2; 4>	402	19,4%		ZŚ	233	11,3%
	(4; 8>	299	14,5%		N17-23	485	23,5%
	(8; +∞)	409	19,8%		Npo23	348	16,8%
G_{pa}	0	622	30,1%	Typ przekroju	CH	405	19,6%
	(0; 1>	265	12,8%		K	102	4,9%
	(1; 2>	667	32,3%		G	692	33,5%
	(2; 3>	472	22,8%		B	868	42,0%
	(3; +∞)	41	2,0%	Typ wypadku	PPI	554	26,8%
G_{pp}	0	906	43,8%		P	411	19,9%
	(0; 1>	259	12,5%		ZCZ	314	15,2%
	(1; 2>	333	16,1%		ZBO	492	23,8%
	(2; 3>	229	11,1%		ZTY	296	14,3%
	(3; +∞)	340	16,5%	W_z	<0; 1>	156	7,6%
G_{sk}	0	319	15,4%		(1; 3>	634	30,7%
	(0; 1>	368	17,8%		(3; 5>	497	24,0%
	(1; 2>	529	25,6%		(5; 7>	416	20,1%
	(2; 4,5>	485	23,5%		(7; +∞)	364	17,6%
	(4,5; +∞)	366	17,7%		Natężenie Q	(0; 100>	316
Zabudowa	Tak	1101	53,3%	(100; 200>		553	26,7%
	Nie	966	46,7%	(200; 350>		628	30,4%
Zmęczenie/ zaśnięcie	Tak	64	3,1%	(350; 500>		351	17,0%
	Nie	2003	96,9%	(500; +∞)		219	10,6%

Proces budowy sieci obejmował 48 kroków. 10 najważniejszych kroków, tzn. takich, które doprowadziły do włączenia dodatkowej zmiennej do modelu, zestawiono w tabl. 5.13. W przypadku wszystkich modeli uzyskano bardzo dobrą zgodność z danymi rzeczywistymi wyrażoną wartościami R z zakresu 0,44-1,00. Większość spośród 38 zbudowanych modeli została odrzucona w pozostałych, nieuwzględnionych w tabeli krokach, ze względu na zbyt niską wartość R . Pomimo, że już w kroku 9 przekroczona została minimalna wartość $P(MPE)$, zdecydowano się przeprowadzić również krok 10, dzięki czemu możliwe było dołączenie kolejnej zmiennej przy zachowaniu zadowalającej wartości $R=0,44$. Reprezentatywna sieć Bayesa, oznaczona numerem 10 w tabl. 5.13, została przedstawiona na rys. 5.18.

Tabl. 5.13. Zestawienie MPE modeli powstałych w kolejnych krokach uczenia sieci Bayesa na podstawie danych z dróg krajowych.

model	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
włączona zmienna	-	Obrażenia	W_z	Alkohol	Zmęczenie zaśnieście	G_{pp}	Typ przekroju	G_{pa}	G_{kpd}	Q	
zmienna	Alkohol			Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	
	G_{kpd}								0	0	
	G_{pa}							0	0	0	
	G_{pp}					0	0	0	0	0	
	G_{sk}	(2; 4,5>	(2; 4,5>	(2; 4,5>	(2; 4,5>	(2; 4,5>	0	0	0	0	
	Natężenie Q										(350; 500>
	Obrażenia		LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR	LR
	Pora doby	DZ	DZ	DZ	DZ	DZ	DZ	DZ	DZ	DZ	DZ
	Typ przekroju							B	B	B	B
	Typ wypadku	ZTY	ZTY	ZTY	ZTY	ZTY	P	P	P	P	P
	W_z			(1; 3>	(1; 3>	(1; 3>	(1; 3>	(1; 3>	(1; 3>	(1; 3>	(1; 3>
	Zabudowa	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
Zmęczenie zaśnieście					Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	
$P(MPE)$	0,02806	0,02245	0,00868	0,00829	0,00813	0,00512	0,00255	0,00113	0,00045	0,00022	
liczba rekordów	2067	2067	2067	2067	2067	2067	2067	2067	2067	2067	
liczba rekordów z MPE	58	47	16	14	14	6	4	3	1	1	
$P_{dane}(MPE)$	0,02806	0,02274	0,00774	0,00677	0,00677	0,00290	0,00194	0,00145	0,00048	0,00048	
R	1,00	0,99	0,89	0,82	0,83	0,57	0,76	0,78	0,93	0,44	

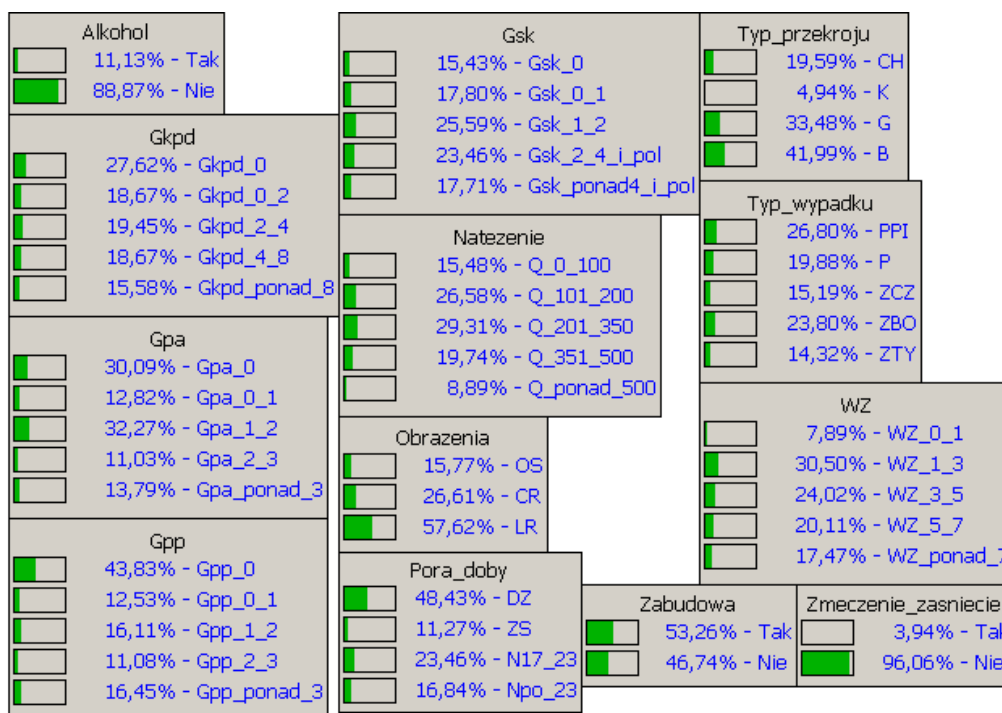


Rys. 5.18. Model graficzny zależności cech wypadków na drogach krajowych.

Ponieważ zmienne w sieci są ze sobą połączone i każda ze zmiennych jest czynnikiem (*factor*), wyrażonym prawdopodobieństwem warunkowym $P(X_k | Par_G(X_k))$, konfiguracja MPE nie jest jednoznaczna z zestawem najczęściej występujących przypadków, zawartych w tabl. 5.12. W przypadku modelu reprezentatywnego (nr 10) dla dróg krajowych, $P(MPE)$ wyznaczono z następującego wzoru:

$$\begin{aligned}
 P(MPE) = & P(Pora_doby = DZ) \cdot P(G_{sk} = 0 | Pora_doby = DZ) \cdot \dots \\
 & \cdot P(Zabudowa = Nie | Pora_doby = DZ, G_{sk} = 0) \cdot \dots \\
 & \cdot P(Typ_wypadku = P | Pora_doby = DZ, G_{sk} = 0, Zabudowa = Nie) \cdot \dots \\
 & \cdot P(Obrazenia = LR | Pora_doby = DZ, Zabudowa = Nie, Typ_wypadku = P) \cdot \dots \\
 & \cdot P(W_Z = (1,3 > | Pora_doby = DZ, G_{sk} = 0, Zabudowa = Nie) \cdot \dots \\
 & \cdot P(Alkohol = Nie | Pora_doby = DZ, Zabudowa = Nie, Typ_wypadku = P) \cdot \dots \\
 & \cdot P(Zmeczenie_zasniecie = Nie | Pora_doby = DZ, Alkohol = Nie) \cdot \dots \\
 & \cdot P(G_{pp} = 0 | Pora_doby = DZ, G_{sk} = 0, Zabudowa = Nie) \cdot \dots \\
 & \cdot P(Typ_przekroju = B | Pora_doby = DZ, Zabudowa = Nie, G_{pp} = 0) \cdot \dots \\
 & \cdot P(G_{pa} = 0 | Pora_doby = DZ, Zabudowa = Nie, G_{pp} = 0) \cdot \dots \\
 & \cdot P(G_{kpd} = 0 | Pora_doby = DZ, Zabudowa = Nie, G_{pp} = 0) \cdot \dots \\
 & \cdot P(Natezenie = (350;500 > | Pora_doby = DZ, W_Z = (1,3 >, G_{kpd} = 0) \cdot \dots = 0,0002151 \quad (5.23)
 \end{aligned}$$

Prawdopodobieństwa przyjęcia konkretnych wartości przez poszczególne zmienne w modelu reprezentatywnym (nr 10), obliczone zgodnie ze wzorem (2.10), przedstawiono na rys. 5.19.



Rys. 5.19. Prawdopodobieństwa marginalne przyjęcia poszczególnych wartości przez zmienne w modelu graficznym na podstawie danych z dróg krajowych.

Wnioskowanie przy znanej porze doby

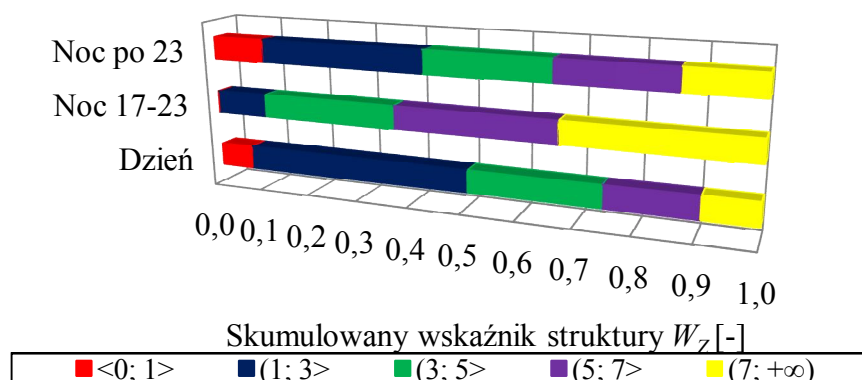
Ze względu na cel nadrzędny badań, jakim jest określenie wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd, szczegółowe wnioskowanie oparto o znaną wartość zmiennej „Pora doby”. W pierwszej kolejności przeprowadzono wnioskowanie w oparciu jedynie o przedmiotową zmienną. Zależności cech wypadków (tj. typu wypadku, stopnia obrażeń, zabudowy oraz udziału alkoholu, zmęczenia lub zaśnięcia kierowcy jako okoliczności wypadku) oraz natężenia ruchu od pory doby w takim wnioskowaniu powinny być podobne, jak w analizach danych statystycznych o wypadkach, przeprowadzonych w rozdz. 4. Przedmiotem szczególnego zainteresowania będzie wpływ pory doby na wypadki w powiązaniu z cechami opisującymi infrastrukturę odcinków niebezpiecznych (tabl. 5.14). We wszystkich analizach pominięto okres zmierzchu lub świtu ze względu na zbyt krótki okres jej trwania i zbyt dużą losowość wyników, szczególnie w przypadku złożonych analiz.

Wyniki wnioskowania zmiennej „Natężenie Q ” oraz zmiennych opisujących cechy wypadków: „Obrażenia”, „Alkohol”, „Typ wypadku”, „Zabudowa”, „Zmęczenie/ zaśnięcie” przy znanej porze doby (tabl. 5.14) zgodnie z oczekiwaniami są potwierdzeniem efektów analiz przeprowadzonych w rozdz. 4. Dlatego ich szczegółowy opis zostanie pominięty.

Tabl. 5.14. Wyniki wnioskowania bayesowskiego w przypadku wiedzy na temat pory doby na drogach krajowych (wartości w [%]).

Pora doby	W_z					Obrażenia			Alkohol	
	<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞)	OŚ	CR	LR	Tak	Nie
Dzień	6,61	43,90	23,92	16,26	9,31	9,69	25,07	65,24	5,59	94,41
Noc 17-23	0,00	10,31	26,19	30,31	33,19	21,44	30,52	48,04	16,70	83,30
Noc po 23	10,34	31,91	23,56	20,69	13,51	25,58	24,71	49,71	18,39	81,61
Pora doby	G_{knd}					G_{pa}				
	0	(0; 2>	(2; 4>	(4; 8>	(8; +∞)	0	(0; 1>	(1; 2>	(2; 3>	(3; +∞)
Dzień	25,58	17,98	18,78	20,58	17,08	28,17	12,09	31,87	12,79	15,08
Noc 17-23	31,55	19,79	18,76	16,70	13,20	29,90	11,96	35,66	8,87	13,61
Noc po 23	30,46	21,26	17,82	15,52	14,94	36,21	13,51	30,16	8,05	12,07
Pora doby	G_{pp}					G_{sk}				
	0	(0; 1>	(1; 2>	(2; 3>	(3; +∞)	0	(0; 1>	(1; 2>	(2; 4,5>	(4,5; +∞)
Dzień	40,16	12,29	17,18	11,29	19,08	13,19	16,28	26,37	24,98	19,18
Noc 17-23	48,45	12,78	14,43	10,52	13,82	16,08	20,00	25,57	22,06	16,29
Noc po 23	48,56	12,93	15,52	10,92	12,07	21,26	19,54	24,71	18,10	16,38
Pora doby	Typ przekroju				Typ wypadku					
	CH	K	G	B	PPI	P	ZCZ	ZBO	ZTY	
Dzień	22,28	5,20	33,27	39,25	18,38	18,28	15,38	27,88	20,08	
Noc 17-23	17,11	4,33	34,23	44,33	43,51	14,43	12,78	21,65	7,63	
Noc po 23	15,23	3,73	34,48	46,56	22,99	35,92	16,95	16,38	7,76	
Pora doby	Natężenie Q					Zabudowa		Zmęczenie/ zaśnięcie		
	(0; 100>	(100; 200>	(200; 350>	(350; 500>	(500; +∞)	Tak	Nie	Tak	Nie	
Dzień	0,53	10,80	31,09	39,23	18,35	57,64	42,36	1,90	98,10	
Noc 17-23	13,86	47,75	38,39	0,00	0,00	49,90	50,10	0,83	99,17	
Noc po 23	64,40	35,60	0,00	0,00	0,00	44,82	55,18	14,19	85,81	

W „nocy” odcinki niebezpieczne charakteryzują się wyższymi wartościami wskaźnika W_z niż w „dzień” (rys. 5.20). W nocy przed godz. 23:00 na ok. 90% odcinków zanotowano wskaźnik zagrożenia większy od 3,0. W „dzień” taka wartość W_z występuje na około połowie odcinków. Wzrost zagrożenia zaobserwowany również w nocy po godz. 23:00, jest zgodny z podawanym w literaturze oraz z analizami danych statystycznych o wypadkach (rozdz. 4).



Rys. 5.20. Ilustracja wyników wnioskowania bayesowskiego o wartości W_z w przypadku wiedzy na temat pory doby na drogach krajowych.

Przedmiotowe wnioskowanie doprowadziło również do następujących ogólnych wniosków, obejmujących cechy infrastruktury drogowej odcinków niebezpiecznych:

- W nocy (szczególnie po godz. 23:00) następuje wzrost udziału wypadków na odcinkach o mniejszych gęstościach elementów infrastruktury drogowej, tj. komercyjnych punktów dostępności, przystanków autobusowych, przejść dla pieszych i skrzyżowań. Przedmiotowy wzrost wynosi 8% na odcinkach o $G_{kpd} \leq 2$ szt./km, 10% (po godz. 23:00) na odcinkach o $G_{pa} \leq 1$ szt./km, 9% na odcinkach bez przejść dla pieszych i od 7 (przed godz. 23:00) do 12% (po 23:00) na odcinkach o $G_{sk} \leq 1$ szt./km. Wartości wskaźnika gęstości tych elementów są również skorelowane z występowaniem zabudowy;
- Ponieważ obecność skrzyżowań jest potencjalnie związana z wypadkami typu „pojazd-pojazd”, przesunięcie części wypadków na odcinki o mniejszej wartości G_{sk} może być związane z mniejszym wystawieniem na ryzyko i częstszym występowaniem wypadków z pojedynczymi pojazdami w nocy;
- Wraz ze spadkiem oświetlenia maleje z 22 do 15% udział wypadków na odcinkach z chodnikiem, a wzrasta z 39 do 46% na odcinkach z pobocznymi bitumicznymi.

Podane powyżej wnioski mają charakter wstępnych spostrzeżeń, wobec czego nie podlegały szczegółowej interpretacji.

Wnioskowanie przy znanej porze doby oraz znanej zmiennej „zabudowa” lub „typ przekroju poprzecznego”

W dalszym wnioskowaniu obok identyfikacji zagrożenia wypadkowego w różnych warunkach drogowo-ruchowych szczególną uwagę poświęcono rozpoznaniu zależności pomiędzy zmiennymi opisującymi gęstości poszczególnych elementów infrastruktury, zabudową, typem przekroju poprzecznego i typem wypadku w poszczególnych okresach doby. Zależności te w analizach regresyjnych były niemożliwe do rozpoznania w takim zakresie, jak w modelach graficznych. Konkluzje z przedmiotowego wnioskowania przedstawiają się następująco:

- Duże wartości wskaźnika wypadkowego W_z w okresie nocy przed godz. 23:00 są w znacznym stopniu zależne od występowania zabudowy (tabl. 5.15) oraz typu przekroju poprzecznego (tabl. Z5.35 w załączniku nr 2). Wzrost zagrożenia

wypadkowego w przedmiotowym okresie jest szczególnie wyraźny na obszarze zabudowanym (tabl. 5.15), co może wynikać z ograniczonej widoczności oraz utrzymującej się dużej aktywności otoczenia w godz. 17:00-23:00.

- Na odcinkach zamiejskich wartości W_Z przy świetle dziennym i w nocy po godz. 23:00 są bardziej rozproszone niż na przejściach przez miejscowości, tzn. większy jest udział zarówno odcinków o niskich (nie przekraczających 1,0), jak i wysokich (większych od 5,0) wartościach tego wskaźnika (tabl. 5.15). Jednocześnie w „dzień” na odcinkach zamiejskich występuje znacznie więcej, niż na przejściach przez miejscowości, odcinków o wartości W_Z z przedziału (1; 3> oraz mniej odcinków, na których $W_Z \in (3; 7>$, co świadczy o większym zagrożeniu wypadkowym w obrębie zabudowy niż poza nią. W nocy po godz. 23:00 zagrożenie wypadkowe jest w przybliżeniu jednakowe bez względu na występowanie zabudowy. Zidentyfikowane w przeprowadzonym wcześniej wstępnym wnioskowaniu „przeniesienie się” części wypadków poza zabudowę przy pogorszeniu warunków oświetlenia jest związane głównie z okresem nocy po godz. 23:00;
- Zabudowa oraz typ przekroju poprzecznego wykazują wysoki stopień wzajemnej korelacji (tabl. 5.15). Na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości 4-7% wypadków „przenosi się” w „nocy” (w stosunku do okresu „dnia”) z przekrojów z chodnikiem lub krawężnikiem na odcinki z poboczami. Poza zabudowę w nocy następuje wyraźny wzrost udziału wypadków na odcinkach z poboczami bitumicznymi oraz spadek na odcinkach z poboczami gruntowymi. Obecność poboczy bitumicznych poszerza optycznie przekrój drogi i sprzyja poczuciu bezpieczeństwa kierowców, którzy często nie są świadomi wzrostu zagrożenia związanego z nocnymi ograniczeniami widoczności. Udział wypadków, które miały miejsce na odcinkach o poszczególnych typach przekrojów jest również po części determinowany przez udział tych przekrojów wśród odcinków niebezpiecznych, wobec czego pozornie niewielkie kilkuprocentowe zmiany mogą być w rzeczywistości bardziej znaczące;

Tabl. 5.15. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennych W_Z i „Typ przekroju” w przypadku wiedzy na temat pory doby i występowania zabudowy na drogach krajowych (wartości w [%]).

Pora doby	Zabudowa	W_Z					Typ przekroju			
		<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞)	CH	K	G	B
Dzień	Tak	4,71	39,41	28,16	24,05	3,67	35,87	9,02	24,09	31,02
Noc 17-23		0,00	9,92	22,31	29,34	38,43	32,64	8,68	28,10	30,58
Noc po 23		8,33	33,97	26,93	18,59	12,18	30,13	7,69	28,20	33,98
Dzień	Nie	9,20	50,00	18,16	5,66	16,98	3,77	0,00	45,76	50,47
Noc 17-23		0,00	10,70	30,04	31,28	27,98	1,65	0,00	40,33	58,02
Noc po 23		11,98	30,22	20,83	22,39	14,58	3,12	0,52	39,58	56,78

- Korelacja zabudowy i typu przekroju poprzecznego sprawia, że wzrost udziału odcinków o wysokim w nocy przed godz. 23:00 wskaźniku wypadkowym W_Z na obszarze zabudowanym, pokrywa się z podobnym wzrostem na odcinkach z chodnikiem lub krawężnikiem (tabl. Z5.35 w załączniku nr 2). W przedmiotowym okresie wskaźnik W_Z większy od 5,0 występuje na 68-69% odcinków z chodnikiem lub krawężnikiem oraz na 62% odcinków z poboczami, niezależnie od ich rodzaju. Nie zaobserwowano charakterystycznego dla wnioskowania zmiennej „Zabudowa”,

- rozproszenia wartości W_Z w okresie światła dziennego i nocy po godz. 23:00 na odcinkach z poboczami w stosunku do odcinków z chodnikiem lub krawężnikiem;
- Wspólnym elementem wpływu zabudowy na rolę zmiennych G_{kpd} , G_{pa} , G_{pp} i G_{sk} w różnych warunkach oświetlenia jest tendencja do występowania wypadków w nocy na odcinkach o mniejszej gęstości elementów infrastruktury drogowej, co jest widoczne szczególnie na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (tabl. 5.16). Jednocześnie ze względu na wysoką korelację zabudowy z typem przekroju poprzecznego wspomniana tendencja jest najbardziej widoczna na odcinkach z poboczami, a mniej wyraźna w przypadku występowania chodnika;
 - Występująca jedynie na odcinkach niezabudowanych tendencja do przesunięcia się w nocy części wypadków na odcinki o $G_{kpd}=0$ szt./km (tabl. 5.16) może być związana z mniejszym wystawieniem na ryzyko wypadków związanym z ograniczoną obsługą zjazdów komercyjnych oraz wzrostem udziału wypadków pojedynczych pojazdów poza zabudową w nocy, szczególnie po godz. 23:00;
 - Odnotowany we wcześniej przeprowadzonym wstępnym wnioskowaniu wzrost udziału wypadków przy braku przystanków autobusowych w nocy dotyczy zatem odcinków zamiejskich (tabl. 5.16). „Przesunięcie się” części wypadków na odcinki, na których nie ma przystanków autobusowych, jest szczególnie zauważalne po godz. 23:00, co może być związane ze znacznym ograniczeniem korzystania z przystanków i ich mniejszym wpływem na występowanie wypadków w tym okresie;
 - Tendencja do „przesunięcia się” poza zabudową części wypadków w kierunku odcinków o mniejszej wartości G_{pp} jest charakterystyczna dla okresu nocy przed godz. 23:00 (tabl. 5.16) i jest związana ze znacznym wzrostem udziału wypadków z pieszymi w tym okresie;

Tabl. 5.16. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennych G_{kpd} , G_{pa} , G_{pp} i G_{sk} w przypadku wiedzy na temat pory doby i występowania zabudowy na drogach krajowych (wartości w [%]).

Pora doby	Zabudowa	G_{kpd}					G_{pa}				
		0	(0; 2>	(2; 4>	(4; 8>	(8; +∞)	0	(0; 1>	(1; 2>	(2; 3>	(3; +∞)
Dzień	Tak	17,68	11,09	21,49	25,48	24,26	24,44	10,23	27,38	16,29	21,66
Noc 17-23		19,42	13,63	23,56	20,66	22,73	20,66	10,74	33,06	12,81	22,73
Noc po 23		16,03	16,67	23,08	21,14	23,08	23,72	10,26	33,33	14,74	17,95
Dzień	Nie	36,32	27,36	15,09	13,92	7,31	33,26	14,62	37,97	8,02	6,13
Noc 17-23		43,62	25,93	13,99	12,76	3,70	39,10	13,17	38,26	4,94	4,53
Noc po 23		42,19	25,00	13,54	10,94	8,33	46,36	16,15	27,60	2,60	7,29
Pora doby	Zabudowa	G_{pp}					G_{sk}				
		0	(0; 1>	(1; 2>	(2; 3>	(3; +∞)	0	(0; 1>	(1; 2>	(2; 4,5>	(4,5; +∞)
Dzień	Tak	21,66	7,80	21,84	17,68	31,02	7,28	5,03	25,30	33,62	28,77
Noc 17-23		23,13	9,50	21,91	19,01	26,45	6,19	8,26	23,16	31,81	30,58
Noc po 23		23,08	10,26	23,08	19,87	23,71	11,53	8,98	23,71	27,57	28,21
Dzień	Nie	65,34	18,39	10,85	2,59	2,83	21,23	31,60	27,83	13,21	6,13
Noc 17-23		73,67	16,05	6,99	2,06	1,23	25,94	31,69	27,96	12,35	2,06
Noc po 23		69,27	15,10	9,38	3,65	2,60	29,16	28,12	25,53	10,42	6,77

- Jak wykazano w rozdz. 4.4, wysoki udział wypadków z pieszymi w nocy jest związany głównie z obszarem zabudowanym, jednak charakterystyczny jest jego kilkukrotny wzrost poza zabudową w „nocy” w stosunku do okresu „dnia”. Na podstawie tabl. 5.14 można stwierdzić, że zagrożenie wypadkami z pieszymi w nocy jest szczególnie wysokie przed godz. 23:00. Spadek tego zagrożenia po godz. 23:00 dotyczy

w większym stopniu odcinków z zabudową (tabl. 5.17). Poza zabudową przedmiotowy spadek również występuje, jednak udział wypadków z pieszymi jest wciąż 3 razy większy w „nocy” niż w „dzień”. Po 23:00 w nocy udział wypadków z pieszymi jest niewiele mniejszy na odcinkach zamiejskich, niż na przejściach przez miejscowości, co podkreśla problem dostrzegalności pieszych przez kierowców;

Tabl. 5.17. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej „Typ wypadku” w przypadku wiedzy na temat pory doby i występowania zabudowy na drogach krajowych (wartości w [%]).

Pora doby	Zabudowa	Typ wypadku				
		PPI	P	ZCZ	ZBO	ZTY
Dzień	Tak	26,86	11,44	11,79	26,52	23,40
Noc 17-23		52,48	8,68	11,98	20,66	6,20
Noc po 23		26,28	38,46	12,18	17,95	5,13
Dzień	Nie	6,84	27,59	20,28	29,72	15,57
Noc 17-23		34,57	20,16	13,58	22,63	9,05
Noc po 23		20,31	33,85	20,83	15,10	9,90

- Pozostałe typy wypadków (a szczególnie wypadki z pojedynczymi pojazdami oraz w wyniku zderzenia czołowego) przy świetle dziennym i w nocy przed godz. 23:00 częściej występują poza zabudową (tabl. 5.17). Rzadkie występowanie wypadków pojedynczych pojazdów w miejscowościach jest związane z dużymi natężeniami ruchu kołowego oraz wzmożoną aktywnością otoczenia. Wypadki w wyniku zderzenia czołowego rzadziej występują na odcinkach niezabudowanych ze względu na ograniczoną możliwość wyprzedzania. Po godz. 23:00 na przejściach drogowych przez miejscowości znacznie wzrasta udział wypadków pojedynczych pojazdów i jest on, w przeciwieństwie do okresu przed godz. 23:00, większy w obszarze zabudowanym niż na odcinkach zamiejskich. Poza zabudową częściej dochodzi natomiast do wypadków w wyniku zderzenia czołowego i tylnego.

Wnioskowanie rozszerzone

Dalsza część wnioskowania obejmowała kierowanie do sieci złożonych, szczegółowych zapytań. Wyniki rozszerzonego wnioskowania, które uznano za istotne i wnoszące nowe elementy do dotychczas zebranej wiedzy, zestawiono w postaci następujących obserwacji:

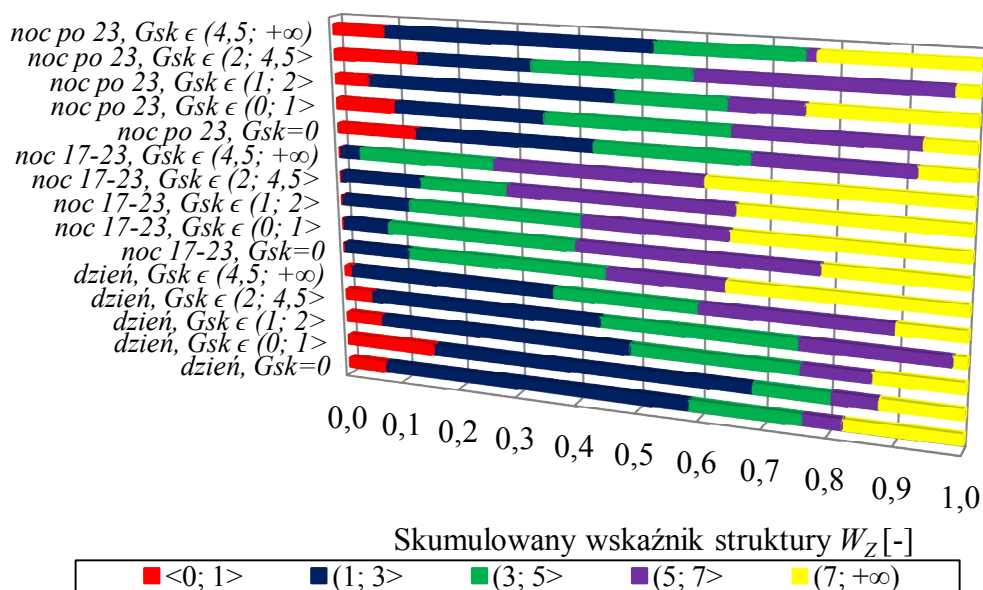
- Wraz ze wzrostem gęstości komercyjnych punktów dostępności (G_{kpd}), przystanków autobusowych (G_{pa}), przejść dla pieszych (G_{pp}) i skrzyżowań (G_{sk}) występuje koncentracja wartości wskaźnika W_Z w przedziale (3; 7> w okresie „dnia” i (5; +∞) w „nocy” w godz. 17:00-23:00. Okres „nocy” przed godz. 23:00 charakteryzuje się również największym wpływem elementów infrastruktury na zagrożenie wypadkowe;
- Po godz. 23:00 wzrost G_{kpd} jest skorelowany ze wzrostem (tabl. 5.18) udziału odcinków o wartości W_Z z przedziału (1; 5>. Tendencja do grupowania się, wraz ze wzrostem G_{kpd} , wartości W_Z wokół środkowych przedziałów w okresie „dnia” i „nocy” po godz. 23:00 jest wyjaśnieniem niskich wartości korelacji r_s Spearmana (przykład w tabl. Z5.2 i tabl. Z5.3 w załączniku nr 2) i trudności z włączeniem zmiennej G_{kpd} do modeli regresyjnych (rozd. 5.2);
- W nocy po godz. 23:00 koncentracja wartości wskaźnika wypadkowego w przedziale (1; 5> wraz ze wzrostem G_{pa} jest wyraźna aż do wartości G_{pa} z przedziału (2; 3>. Dla

gęstości przystanków autobusowych większej niż 3,0 tendencja ta jest nieznacznie zaburzona (tabl. 5.18);

Tabl. 5.18. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat zmiennych „Pora doby” oraz G_{kpd} i G_{pa} na drogach krajowych (wartości w [%]).

Pora doby	G_{kpd}	W_Z					G_{pa}	W_Z				
		<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞)		<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞)
Dzień	0	8,13	46,29	21,83	11,93	11,82	0	7,38	45,09	22,83	14,18	10,52
Noc 17-23	0	0,00	10,43	27,83	30,32	31,42	0	0,00	10,34	27,96	29,03	32,68
Noc po 23	0	11,02	30,82	22,72	21,94	13,50	0	10,97	30,98	23,05	21,72	13,29
Dzień	(0; 2>	8,25	47,03	21,28	11,87	11,57	(0; 1>	7,27	45,27	22,50	15,62	9,34
Noc 17-23	(0; 2>	0,00	10,46	27,81	29,41	32,33	(0; 1>	0,00	10,12	26,76	31,71	31,41
Noc po 23	(0; 2>	10,87	31,41	22,82	21,21	13,69	(0; 1>	10,62	31,81	22,77	20,65	14,15
Dzień	(2; 4>	6,09	43,20	24,73	17,53	8,45	(1; 2>	7,13	44,97	23,19	14,58	10,14
Noc 17-23	(2; 4>	0,00	10,25	25,43	29,62	34,71	(1; 2>	0,00	10,43	26,59	30,22	32,76
Noc po 23	(2; 4>	9,78	32,13	24,52	20,67	12,89	(1; 2>	10,48	31,78	23,73	20,89	13,12
Dzień	(4; 8>	5,66	41,95	25,54	19,30	7,56	(2; 3>	5,93	42,15	25,62	18,46	7,84
Noc 17-23	(4; 8>	0,00	10,29	24,68	31,05	33,98	(2; 3>	0,00	10,27	23,58	30,63	35,52
Noc po 23	(4; 8>	10,01	32,41	24,65	20,05	12,88	(2; 3>	8,03	35,42	25,03	16,43	15,08
Dzień	(8; +∞)	4,33	40,15	27,00	22,29	6,22	(3; +∞)	4,13	39,79	27,23	22,32	6,53
Noc 17-23	(8; +∞)	0,00	9,91	22,80	31,72	35,57	(3; +∞)	0,00	10,12	22,41	31,96	35,52
Noc po 23	(8; +∞)	9,25	33,97	24,07	18,08	14,63	(3; +∞)	9,39	32,70	24,58	19,97	13,36

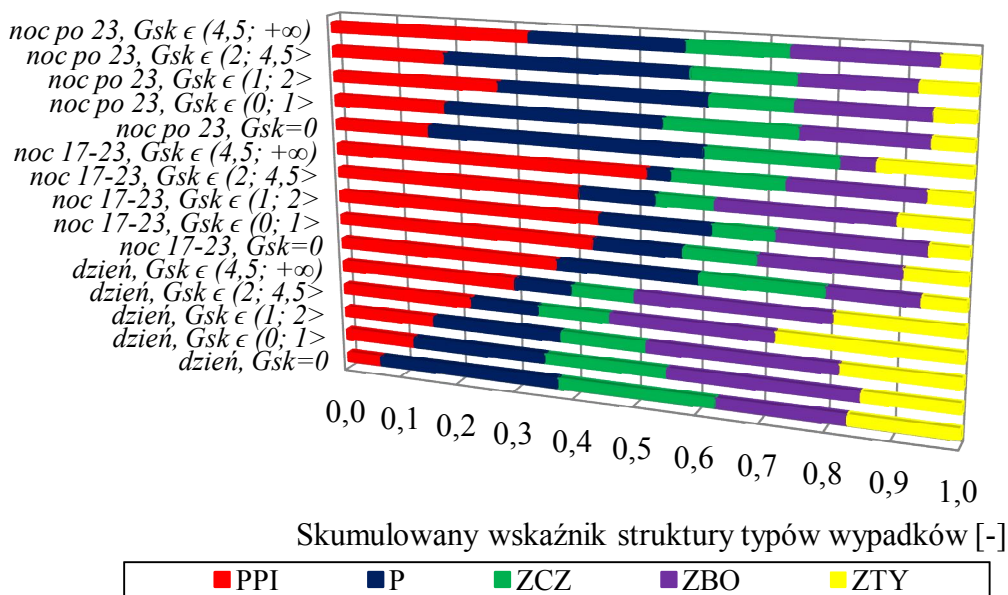
- Koncentracja wartości wskaźnika W_Z w przedziale (3; 7> w okresie dnia i (5; +∞) w nocy w godz. 17:00-23:00 jest szczególnie wyraźna wraz ze wzrostem wartości G_{pp} (tabl. Z5.36). Po godz. 23:00 nie zaobserwowano wpływu przejść dla pieszych na wartość W_Z , co może być związane z przeniesieniem części wypadków z pieszymi na odcinki bez takich przejść oraz ze spadkiem natężeń ruchu pieszego i kołowego;
- Gęstość skrzyżowań charakteryzuje się największym z rozpatrywanych cech infrastruktury drogowej wpływem na wskaźnik zagrożenia wypadkowego w różnych porach doby (rys. 5.21). Po godz. 23:00 w nocy stopniowy wzrost gęstości skrzyżowań jest związany z dużymi, lecz nieregularnymi zmianami wartości W_Z . Największa koncentracja wartości tego wskaźnika po zmianie gęstości skrzyżowań z wartości 0 do ponad 4,5 wystąpiła w przedziałach (1; 3> i (7; +∞);



Rys. 5.21. Ilustracja wyników wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat zmiennych „Pora doby” oraz G_{sk} na drogach krajowych.

- Wskaźnik zagrożenia W_Z większy od 7,0 aż w 45% dotyczy okresu nocy przed godz. 23:00, a jedynie w 26% okresu „dnia” i w 13% okresu „nocy” po godz. 23:00;
- Przy świetle dziennym ok. 75% odcinków o wskaźniku W_Z z przedziału $(3; 7>$ znajduje się w obszarze zabudowanym. Skrajne wartości W_Z częściej występują poza zabudową. Jeżeli w nocy przed godziną 23:00 $W_Z \in (3; 5>$, to z prawdopodobieństwem 57% odcinek znajduje się poza zabudową, a gdy $W_Z \in (7; +\infty)$, to z 57% prawdopodobieństwem odcinek ten występuje w terenie zabudowanym. Po godz. 23:00 w przedziale $W_Z \in (1; 5>$ znajduje się podobna liczba przejść przez miejscowości i odcinków zamiejskich, a skrajne wartości W_Z częściej występują poza zabudową;
- Wzrost gęstości przejść dla pieszych z 0,0 do ponad 3,0 szt./km wpływa na zwiększenie udziału wypadków z pieszymi z 11 do 28% w „dzień”, z 40 do 49% w nocy w godz. 17:00-23:00 i z 20 do 26% po godz. 23:00. Mniejsza w „nocy” niż w „dzień” rola liczby przejść w powstawaniu wypadków z pieszymi wskazuje, że wysoki udział takich wypadków jest głównie związany z ograniczeniami widoczności;
- W „dzień” wraz ze wzrostem wartości G_{pp} , wzrasta również (o 6%) udział wypadków w wyniku zderzenia tylnego, co może być związane generowaniem potencjalnych konfliktów w ruchu przez pieszych przechodzących przez jezdnię. Znaczenie tych konfliktów w „nocy” jest mniejsze;
- W nocy przed godz. 23:00 wzrost G_{pp} z 0,0 do ponad 3,0 szt./km jest skorelowany ze spadkiem udziału wypadków śmiertelnych z 27 do 11%, po godz. 23:00 z 31 do 16%, a w „dzień” z 12 do 7%. Spadek zagrożenia śmiercią w wypadku może wynikać z korelacji gęstości przejść dla pieszych z obszarem zabudowanym oraz z występowaniem sztucznego oświetlenia;
- Wzrost gęstości komercyjnych punktów dostępności (z 0,0 do ponad 8,0 szt./km) i przystanków autobusowych (z 0,0 do ponad 3,0 szt./km) w mniejszym stopniu niż w przypadku przejść dla pieszych, wpływa na wzrost udziału wypadków z pieszymi we wszystkich porach doby. Przy świetle dziennym wzrost ten wyniósł 8-10%, w nocy w godz. 17:00-23:00 7-9%, a po godz. 23:00 3-5%. W okresie „głębokiej nocy” występuje przesunięcie się części wypadków z pieszymi poza obszar zabudowany, co jest skorelowane z rzadszym występowaniem zjazdów komercyjnych. Mniejszy wpływ pory doby na wzrost udziału wypadków z pieszymi może wynikać z faktu, że nie wszystkie zjazdy komercyjne są związane z ruchem pieszym oraz ze zmian koncentracji ruchu pieszego w pobliżu przystanków autobusowych;
- Wraz ze wzrostem wartości G_{kpd} lub G_{pa} , zwiększa się o 3-4% udział wypadków w wyniku zderzenia tylnego w „dzień”. Potencjalne sytuacje konfliktowe w obrębie przystanków są związane z ruchem pieszym i włączaniem się autobusów do ruchu. W nocy po godz. 23:00 przy zwiększającej się gęstości zjazdów komercyjnych wzrasta natomiast o 4% udział wypadków w wyniku zderzenia bocznego, co wskazuje na problem niedostatecznej widoczności przy włączaniu się do ruchu z tych zjazdów;
- Kompensacja wzrostu wskaźnika zagrożenia wraz z większą wartością G_{kpd} lub G_{pa} przez spadek ciężkości wypadków jest mniejsza niż w przypadku przejść dla pieszych. Komercyjne punkty dostępności i przystanki autobusowe są słabiej skorelowane z zabudową i rzadziej wyposażone w sztuczne oświetlenie;

- Zmienną, która najsilniej wpływa na strukturę typów wypadków w różnych warunkach oświetlenia jest gęstość skrzyżowań (rys. 5.22).



Rys. 5.22. Ilustracja wyników wnioskowania bayesowskiego zmiennej „Typ wypadku” w przypadku wiedzy na temat zmiennych „Pora doby” oraz G_{sk} na drogach krajowych.

- We wszystkich porach doby wzrost gęstości skrzyżowań wpływa na zwiększenie się udziału wypadków z pieszymi i wypadków w wyniku zderzenia bocznego. Największy wzrost zagrożenia wystąpieniem wypadku w wyniku zderzenia bocznego zidentyfikowano w nocy po godz. 23:00, co może pośrednio świadczyć o problemie widoczności, związanym zarówno z ograniczeniami oświetlenia, jak i z występowaniem przeszkód bocznych w obrębie skrzyżowań;
- W nocy przed godz. 23:00 wzrost G_{sk} z 0,0 do ponad 4,5 jest związany ze spadkiem udziału wypadków śmiertelnych z 29 do 13%, po godz. 23:00 z 28 do 19%, a przy świetle dziennym z 12 do 7%;
- Wypadki z pieszymi przy świetle dziennym 2 razy częściej zdarzają się na odcinkach z chodnikami niż na odcinkach z poboczami bitumicznymi. Taka skala zagrożenia świadczy o niewystarczającej skuteczności zastosowanej segregacji ruchu pieszego od kołowego na chodnikach oraz o większym wystawieniu na ryzyko w postaci natężeń ruchu pieszego. Wraz z pogarszającymi się warunkami oświetlenia wzrasta udział wypadków z pieszymi na odcinkach o przekrojach z poboczami;
- Zagrożenie wystąpieniem wypadku pojedynczego pojazdu w „dzień” i w „nocy” po godz. 23:00 na odcinkach z poboczami gruntowymi lub bitumicznymi jest ok. 1,4-1,6 razy większe niż na odcinkach z chodnikami. Analogiczne zagrożenie w nocy w godz. 17:00-23:00 jest 2,2-2,3 większe;
- Ryzyko wypadku w wyniku zderzenia czołowego jest również większe (1,1-1,3 razy w „dzień” i w „nocy” przed godz. 23:00 oraz 1,8-2,0 w nocy po godz. 23:00) na odcinkach z poboczami niż na odcinkach z chodnikiem;
- W ograniczonych warunkach oświetlenia ryzyko wypadku w wyniku zderzenia bocznego jest 1,1-1,2 razy większe na odcinkach z poboczami niż w przypadku

występowania chodnika. Przy świetle dziennym prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku w wyniku zderzenia bocznego jest większe na odcinku z chodnikiem;

- Prawdopodobieństwo zajścia zderzenia tylnego w okresie „dnia” jest mniejsze na odcinkach z poboczami gruntowymi lub bitumicznymi niż na odcinkach z chodnikiem. W pozostałych porach doby ryzyko przedmiotowego wypadku jest większe (1,3-1,5 razy w nocy przed godz. 23:00 oraz 1,8-2,0 razy po godz. 23:00) na odcinkach z poboczami w stosunku do odcinków z chodnikiem;
- Jeśli sprawca był pod wpływem alkoholu, to wypadek z prawdopodobieństwem 63% miał miejsce w nocy. Podobnie jeśli zmęczenie lub zaśnięcie kierowcy było przyczyną wypadku, to zdarzył się on na 65% w nocy;
- Prawie połowa wypadków, których sprawca był pod wpływem alkoholu to wypadki typu „najechanie na pieszego”.

5.3.9. Modele graficzne zależności cech wypadków na drogach wojewódzkich

W przypadku dróg wojewódzkich analizy regresyjne nie pozwoliły na wystarczającą identyfikację wpływu cech dróg i parametrów ruchu na brd w dobrych warunkach oświetlenia. Duża liczba zmiennych włączonych do modeli regresyjnych na przedmiotowych odcinkach dróg w okresie nocy wymaga również dodatkowego rozpoznania charakterystyk tych zmiennych oraz ich wzajemnego wpływu. Do takiego rozpoznania powinien przyczynić się zbudowany model graficzny.

Model reprezentatywny obejmujący odcinki dróg wojewódzkich zawiera 12 zmiennych. Wśród nich są: „Alkohol”, „Obrażenia”, „Pora doby”, „Typ przekroju”, „Typ wypadku”, wskaźnik zagrożenia „ W_Z ”, „Natężenie Q ”, „Zabudowa” oraz gęstości: punktów dostępności (G_{pd}), przeszkód punktowych (G_{przp}), zwykłych przejść dla pieszych (G_{ppz}) i skrzyżowań (G_{sk}). Liczebności i udziały przypadków zmiennych wyselekcjonowanych do modelu reprezentatywnego, zaczerpnięte z bazy danych zestawiono w tabl. 5.19. Ograniczenie liczby zmiennych ze względu na założenia budowy sieci Bayesa przedstawione w rozdz. 5.3.2 nie pozwoliło na włączenie do modelu zmiennej $WNŁ$ (występowanie niebezpiecznego łuku), która wpływała na znaczny wzrost stopnia objaśnienia modeli regresyjnych. Odrzucenie akurat tej zmiennej było również podyktowane nieuzyskaniem zbieżności modelu podczas uczenia sieci. Do modelu reprezentatywnego nie włączono także zmiennej „Zmęczenie/ zaśnięcie” ze względu na małą (9 na 1322 rekordy bazy danych) liczbę przypadków o wartości „Tak”. Ponieważ wśród wszystkich 198 odcinków niebezpiecznych znajdował się tylko jeden z poboczem bitumicznym i jeden z krawężnikiem, odcinki te włączono odpowiednio do przypadków G i CH zmiennej „typ przekroju poprzecznego”.

Z 60-krokowego procesu budowy sieci Bayesa dla dróg wojewódzkich wyodrębniono podobnie, jak w przypadku dróg krajowych, 10 najważniejszych kroków, które były związane z włączeniem dodatkowej zmiennej do modelu (tabl. 5.20). W każdym kroku uzyskano pozytywny wynik sprawdzenia zgodności modeli z danymi rzeczywistymi, a wartości R wynosiły 0,33-1,00. Nieuwzględnienie pozostałych 50 kroków było najczęściej związane z niezgodnością z danymi rzeczywistymi. Minimalna wartość $P(MPE)$ została przekroczona już w kroku 9, jednak ze względu na niewielką zmianę tej wartości w kroku 10, zdecydowano się

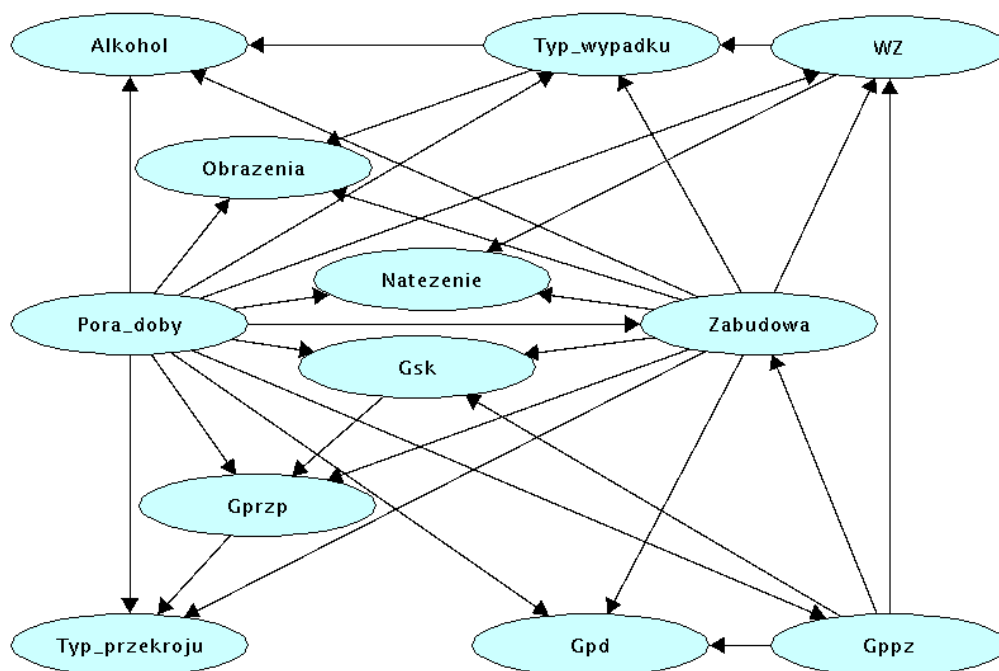
również uwzględnić ten krok, włączając w ten sposób do modelu istotną zmienną „Alkohol”. Reprezentatywną sieć, oznaczoną w tabl. 5.20 numerem 10 przedstawiono na rys. 5.23.

Tabl. 5.19. Liczebność przypadków zmiennych wyselekcjonowanych do budowy sieci Bayesa w bazie danych z dróg wojewódzkich

Zmienna X_k	Wartość	Liczebność przypadków	Udział przypadków [%]	Zmienna X_k	Wartość	Liczebność przypadków	Udział przypadków [%]
Alkohol	Tak	90	6,8%	Pora doby	DZ	889	67,2%
	Nie	1232	93,2%		ZS	108	8,2%
G_{pd}	(0; 5>	79	6,0%		N17-23	221	16,7%
	(5; 15>	192	14,5%		Npo23	104	7,9%
	(15; 25>	217	16,4%	Typ przekroju	CH	777	58,8%
	(25; 40>	490	37,1%		G	545	41,2%
	(40; +∞)	344	26,0%	Typ wypadku	PPI	354	26,8%
G_{przp}	0	485	36,7%		P	302	22,9%
	(0; 2>	277	21,0%		ZCZ	246	18,6%
	(2; 4>	216	16,3%		ZBO	298	22,5%
	(4; 6>	160	12,1%		ZTY	122	9,2%
	(6; +∞)	184	13,9%	W_z	<0; 1>	38	2,9%
G_{ppz}	0	499	37,7%		(1; 3>	493	37,3%
	(0; 1>	226	17,1%		(3; 5>	371	28,1%
	(1; 2>	256	19,4%		(5; 7>	212	16,0%
	(2; 3>	142	10,7%		(7; +∞)	208	15,7%
	(3; +∞)	199	15,1%	Natężenie Q	(0; 100>	329	24,9%
G_{sk}	0	143	10,8%		(100; 200>	548	41,5%
	(0; 1>	67	5,1%		(200; 350>	310	23,4%
	(1; 2>	147	11,1%		(350; 500>	112	8,5%
	(2; 4,5>	462	34,9%		(500; +∞)	23	1,7%
	(4,5; +∞)	503	38,1%	Zabudowa	Tak	995	75,3%
Obrażenia	OŚ	116	8,8%		Nie	327	24,7%
	R	1206	91,2%				

Tabl. 5.20. Zestawienie MPE modeli powstałych w kolejnych krokach uczenia sieci Bayesa na podstawie danych z dróg wojewódzkich.

model	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
włączona zmienna	-	W_z	G_{sk}	G_{przp}	Typ przekroju	G_{pd}	Typ wypadku	Obrażenia	Q	Alkohol
zmienna	Alkohol									Nie
	G_{pd}					(40; +∞)	(40; +∞)	(40; +∞)	(40; +∞)	(40; +∞)
	G_{ppz}	0	(0; 1>	(0; 1>	(0; 1>	(0; 1>	(3; +∞)	(3; +∞)	(3; +∞)	(2; 3>
	G_{przp}				0	0	(0; 2>	(0; 2>	(0; 2>	(0; 2>
	G_{sk}			(2; 4,5>	(2; 4,5>	(2; 4,5>	(4,5; +∞)	(4,5; +∞)	(4,5; +∞)	(4,5; +∞)
	Natężenie Q									(100; 200>
	Obrażenia								R	R
	Pora doby	DZ	DZ	DZ	DZ	DZ	DZ	DZ	DZ	DZ
	Typ przekroju					G	CH	CH	CH	CH
	Typ wypadku							ZBO	ZBO	ZBO
W_z		(1; 3>	(1; 3>	(1; 3>	(1; 3>	(3; 5>	(3; 5>	(3; 5>	(1; 3>	
Zabudowa	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	
$P(MPE)$	0,16641	0,06732	0,04391	0,01470	0,00855	0,00504	0,00129	0,00124	0,00051	0,00049
liczba rekordów	1322	1322	1322	1322	1322	1322	1322	1322	1322	1322
liczba rekordów z MPE	220	89	62	17	17	4	1	1	2	2
$P_{dane}(MPE)$	0,16641	0,06732	0,04690	0,01286	0,01286	0,00303	0,00076	0,00076	0,00151	0,00151
R	1,00	1,00	0,94	0,87	0,67	0,60	0,59	0,61	0,34	0,33

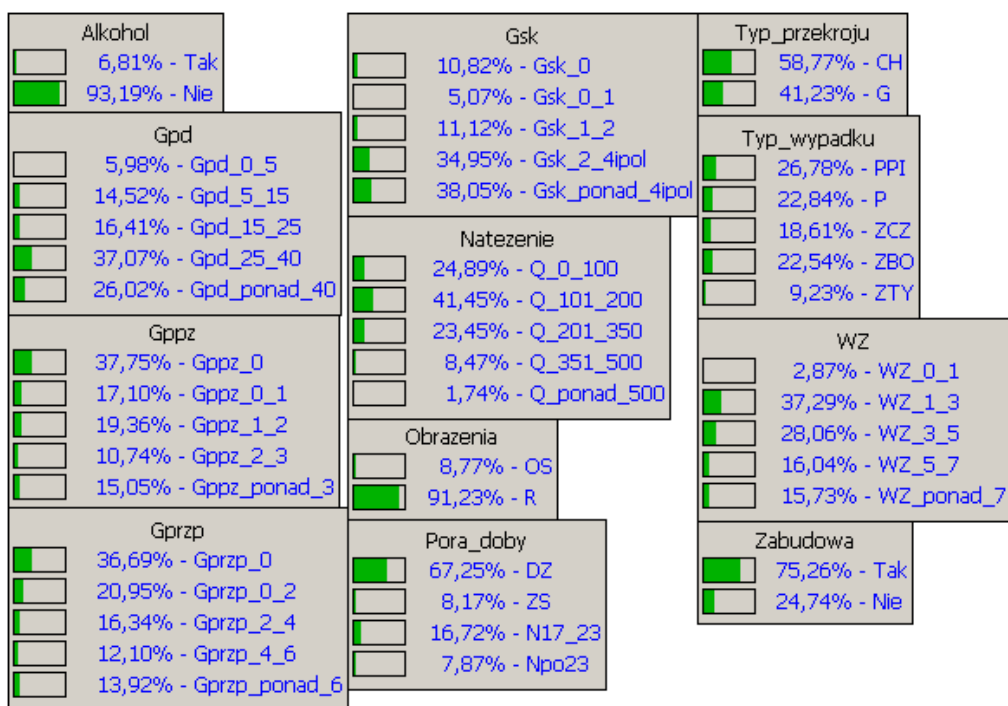


Rys. 5.23. Model graficzny zależności cech wypadków na drogach wojewódzkich.

Bazując na rozpoznanej w tabl. 5.20 najbardziej prawdopodobnej konfiguracji zmiennych (MPE) oraz postaci sieci Bayesa przedstawionej na rys. 5.23, prawdopodobieństwo $P(\text{MPE})$ możemy wyznaczyć z następującego wzoru:

$$\begin{aligned}
 P(\text{MPE}) = & P(\text{Pora_doby} = \text{DZ}) \cdot P(G_{ppz} = (2;3 > | \text{Pora_doby} = \text{DZ}) \cdot \dots \\
 & \cdot P(\text{Zabudowa} = \text{Tak} | \text{Pora_doby} = \text{DZ}, G_{ppz} = (2;3 >) \cdot \dots \\
 & \cdot P(W_z = (1;3 > | \text{Pora_doby} = \text{DZ}, G_{ppz} = (2;3 >, \text{Zabudowa} = \text{Tak}) \cdot \dots \\
 & \cdot P(G_{sk} = (4,5; +\infty) | \text{Pora_doby} = \text{DZ}, G_{ppz} = (2;3 >, \text{Zabudowa} = \text{Tak}) \cdot \dots \\
 & \cdot P(G_{przp} = (0;2 > | \text{Pora_doby} = \text{DZ}, \text{Zabudowa} = \text{Tak}, G_{sk} = (4,5; +\infty)) \cdot \dots \\
 & \cdot P(\text{Typ_przekroju} = \text{CH} | \text{Pora_doby} = \text{DZ}, \text{Zabudowa} = \text{Tak}, G_{przp} = (0;2 >) \cdot \dots \\
 & \cdot P(G_{pd} = (40; +\infty) | \text{Pora_doby} = \text{DZ}, G_{ppz} = (2;3 >, \text{Zabudowa} = \text{Tak}) \cdot \dots \\
 & \cdot P(\text{Typ_wypadku} = \text{ZBO} | \text{Pora_doby} = \text{DZ}, \text{Zabudowa} = \text{Tak}, W_z = (1;3 >) \cdot \dots \\
 & \cdot P(\text{Obrazenia} = \text{R} | \text{Pora_doby} = \text{DZ}, \text{Zabudowa} = \text{Tak}, \text{Typ_wypadku} = \text{ZBO}) \cdot \dots \\
 & \cdot P(\text{Natezenie} = (100;200 > | \text{Pora_doby} = \text{DZ}, \text{Zabudowa} = \text{Tak}, W_z = (1;3 >) \cdot \dots \\
 & \cdot P(W_z = (1;3 > | \text{Pora_doby} = \text{DZ}, G_{ppz} = (2;3 >, \text{Zabudowa} = \text{Tak}) \cdot \dots \\
 & \cdot P(\text{Alkohol} = \text{Nie} | \text{Pora_doby} = \text{DZ}, \text{Zabudowa} = \text{Tak}, \text{Typ_wypadku} = \text{ZBO}) = 0,0004941
 \end{aligned}
 \tag{5.24}$$

MPE jest jednym z przypadków prawdopodobieństwa łącznego (*joint probability*), wobec czego wzór (5.24) jest zgodny z ogólną zależnością (2.9). Na rys. 5.24 przedstawiono natomiast prawdopodobieństwa przyjęcia konkretnych wartości przez zmienne w modelu reprezentatywnym (nr 10). Wartości tych prawdopodobieństw uzyskano poprzez marginalizację prawdopodobieństwa łącznego, zgodną z ogólnym wzorem (2.10).



Rys. 5.24. Prawdopodobieństwa marginalne przyjęcia poszczególnych wartości przez zmienne w modelu graficznym na podstawie danych z dróg wojewódzkich.

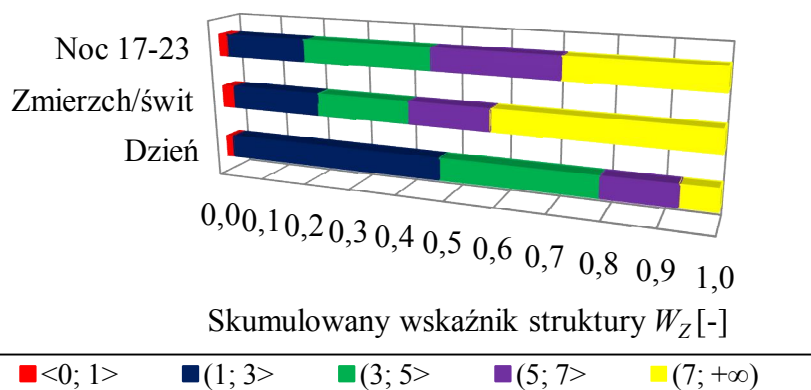
Wnioskowanie przy znanej porze doby

Prawdopodobieństwa przyjęcia poszczególnych wartości przez wszystkie zmienne w modelu przy znajomości pory doby zestawiono w tabl. 5.21.

Tabl. 5.21. Wyniki wnioskowania bayesowskiego w przypadku wiedzy na temat pory doby na drogach wojewódzkich (wartości w [%]).

Pora doby	W_z					Obrażenia		Alkohol		
	<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞)	OŚ	R	Tak	Nie	
Dzień	1,57	45,00	30,26	13,50	6,67	6,19	93,81	4,61	95,39	
Noc 17-23	1,81	17,65	27,15	24,89	28,51	11,76	88,24	9,50	90,50	
Noc po 23	16,35	31,73	20,19	18,27	13,46	19,23	80,77	17,31	82,69	
Pora doby	G_{pd}					G_{przp}				
	(0; 5>	(5; 15>	(15; 25>	(25; 40>	(40; +∞)	0	(0; 2>	(2; 4>	(4; 6>	(6; +∞)
Dzień	6,64	14,74	16,68	36,52	25,42	36,33	21,71	17,10	12,15	12,71
Noc 17-23	4,07	11,31	12,67	40,73	31,22	32,58	19,46	14,93	14,48	18,55
Noc po 23	5,77	15,38	19,23	35,58	24,04	39,42	22,12	14,42	10,58	13,46
Pora doby	G_{ppz}					G_{gsk}				
	0	(0; 1>	(1; 2>	(2; 3>	(3; +∞)	0	(0; 1>	(1; 2>	(2; 4,5>	(4,5; +∞)
Dzień	39,37	16,31	18,79	10,57	14,96	12,04	5,17	11,14	33,41	38,24
Noc 17-23	26,70	18,10	22,62	14,48	18,10	4,98	4,07	8,14	39,37	43,44
Noc po 23	42,31	19,23	21,15	4,81	12,50	9,62	6,73	14,42	40,38	28,85
Pora doby	Typ przekroju		Typ wypadku							
	CH	G	PPI	P	ZCZ	ZBO	ZTY			
Dzień	56,81	43,19	19,24	22,50	20,36	26,43	11,47			
Noc 17-23	66,06	33,94	50,22	17,65	16,29	12,22	3,62			
Noc po 23	57,69	42,31	30,77	43,26	12,50	9,62	3,85			
Pora doby	Nateżenie Q					Zabudowa				
	(0; 100>	(100; 200>	(200; 350>	(350; 500>	(500; +∞)	Tak	Nie			
Dzień	9,79	43,86	31,16	12,60	2,59	75,14	24,86			
Noc 17-23	48,42	43,44	8,14	0,00	0,00	78,73	21,27			
Noc po 23	94,23	5,77	0,00	0,00	0,00	71,15	28,85			

Zidentyfikowany w trakcie analiz danych statystycznych o wypadkach (rozdz. 4) oraz studiów literatury wzrost zagrożenia brd w warunkach ograniczonej widoczności znalazł również potwierdzenie w niniejszych badaniach. Wzrost ten jest odzwierciedlony większymi wartościami wskaźnika W_Z w „nocy” niż w „dzień” (rys. 5.25). W nocy przed godz. 23:00 na 82% odcinków wartość wskaźnika zagrożenia W_Z jest większa od 3,0, a na ok. 50% odcinków większa od 5,0. W „dzień” wartości W_Z skupiają się w przedziale (1; 5>. Duże zróżnicowanie wartości wskaźnika zagrożenia występuje w nocy po godz. 23:00.



Rys. 5.25. Ilustracja wyników wnioskowania bayesowskiego wartości W_Z w przypadku wiedzy na temat pory doby na drogach wojewódzkich.

Ogólne wnioski dotyczące zależności pomiędzy porą doby a „Natężeniem Q ” i pozostałymi cechami wypadków („Obrażenia”, „Alkohol”, „Typ wypadku”, „Zabudowa”, „Zmęczenie/ zaśnięcie”) są zgodne z wynikami analiz przeprowadzonych w rozdz. 4 i nie będą szczegółowo opisywane. Traktowane ze szczególnym zainteresowaniem wstępne wnioskowanie dotyczące badań wpływu elementów infrastruktury na występowanie wypadków w kolejnych porach doby doprowadziło do następujących wniosków:

- W „nocy” w godz. 17:00-23:00 zaobserwowano wzrost udziału wypadków na odcinkach o większych gęstościach elementów infrastruktury drogowej, tj. punktów dostępności, przeszkód punktowych, zwykłych przejść dla pieszych i skrzyżowań, w stosunku do okresu „dnia”. Wzrost ten wynosi 10% na odcinkach o $G_{pd} > 25$ szt./km, 8% na odcinkach o $G_{przp} > 2$ szt./km, 13% na odcinkach o $G_{ppz} > 0$ szt./km i 11% na odcinkach o $G_{sk} > 2$ szt./km;
- Ponowne przesunięcie się części wypadków na odcinki o mniejszych gęstościach elementów infrastruktury występuje w nocy po godz. 23:00;
- Udział wypadków na odcinkach zabudowanych i niezabudowanych jest skorelowany z udziałem wypadków na odcinkach z chodnikami i pobocznymi i jest podobny w poszczególnych porach doby.

Opisane powyżej konkluzje dotyczą wstępnego wnioskowania. Interpretacja poszczególnych zależności wraz z bardziej szczegółowym wnioskowaniem będzie przedmiotem dalszej części niniejszego rozdziału.

Wnioskowanie przy znanej porze doby oraz znanej zmiennej „zabudowa” lub „typ przekroju poprzecznego”

Dalsze wnioskowanie prowadzono według tego samego schematu, co na drogach krajowych. Obok identyfikacji zagrożenia wypadkowego w różnych warunkach drogowo-ruchowych głównym celem takiego wnioskowania było rozpoznanie zależności pomiędzy zmiennymi opisującymi elementy infrastruktury, zabudowę, typ przekroju poprzecznego i typ wypadków w różnych warunkach naturalnego oświetlenia. Poniżej przedstawiono konkluzje dotyczące przedmiotowego wnioskowania.

- W nocy w godz. 17:00-23:00 wzrost wartości wskaźnika zagrożenia W_Z w większym stopniu dotyczy obszaru zabudowy (tabl. 5.22), co było również obserwowane na drogach krajowych i może być związane z pogorszeniem oświetlenia wobec wciąż dużej aktywności otoczenia w godz. 17:00-23:00;
- W okresach „dnia” i „nocy” po godz. 23:00 charakteryzujących się najmniejszymi wartościami W_Z dodatkowo wzrost brd zaobserwowano w przypadku występowania zabudowy (tabl. 5.22);
- W ograniczonych warunkach oświetlenia ok. 5-7% wypadków w miejscowościach „przenosi się” (w stosunku do okresu światła dziennego) z przekrojów z poboczami na odcinki z chodnikiem (tabl. 5.22). Poza zabudową zaobserwowano tendencję do występowania wypadków na odcinkach o przekrojach z chodnikiem w nocy przed godz. 23:00 oraz na odcinkach o przekrojach z poboczami po godz. 23:00, co jest uzasadnieniem struktury rodzajowej wypadków w różnych warunkach oświetlenia;

Tabl. 5.22. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennych W_Z i „Typ przekroju” w przypadku wiedzy na temat pory doby i występowania zabudowy na drogach wojewódzkich (wartości w [%]).

Pora doby	Zabudowa	W_Z					Typ przekroju	
		<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞)	CH	G
Dzień	Tak	1,20	47,16	29,79	14,07	7,78	63,17	36,83
Noc 17-23		1,15	16,67	27,01	27,01	28,16	70,11	29,89
Noc po 23		20,27	39,20	13,51	14,86	12,16	68,92	31,08
Dzień	Nie	2,71	38,48	31,67	11,76	15,38	37,56	62,44
Noc 17-23		4,26	21,28	27,66	17,02	29,80	51,06	48,94
Noc po 23		6,67	13,33	36,66	26,67	16,67	30,00	70,00

- Nie zaobserwowano korelacji zabudowy i typu przekroju poprzecznego z uwagi na specyfikę dróg wojewódzkich obejmującą m.in. małe zróżnicowanie typów przekrojów dróg (dwa wyodrębnione przypadki chodnik i pobocze), oraz częstsze niż w przypadku dróg krajowych, występowanie chodników poza zabudową (tabl. Z5.36 w załączniku nr 2). W nocy po godz. 23:00 znacznie większe wartości W_Z występują na odcinkach z poboczem gruntowym niż na odcinkach z chodnikiem, co może być związane ze wzrostem udziału wypadków pojedynczych pojazdów;
- W nocy w godz. 17:00-23:00 zaobserwowano „przesunięcie się” (w stosunku do pozostałych okresów doby) części wypadków na odcinki o większej gęstości punktów dostępności, przeszkód punktowych, przejść dla pieszych i skrzyżowań (tabl. 5.23);
- „Przesunięcie się” 7% wypadków na obszarze zabudowanym i 15% poza zabudową w nocy w godz. 17:00-23:00 w stosunku do okresu „dnia” i „nocy” po godz. 23:00 na odcinki, na których gęstość punktów dostępności $G_{pd} > 25$ szt./km (tabl. 5.23) może być

związane z ograniczeniami oświetlenia i brakiem widoczności przy włączeniu się do ruchu przy utrzymujących się stosunkowo dużych natężeniach ruchu;

- Tendencja do częstszego występowania wypadków poza zabudową w nocy w godz. 17:00-23:00 na odcinkach o dużej gęstości przeszkód punktowych G_{przp} (tabl. 5.23) nie była spodziewana z uwagi na strukturę rodzajową wypadków. Wzrostu znaczenia przeszkód bocznych oczekiwano w większym stopniu po godz. 23:00;
- „Przesunięcie się” w nocy w godz. 17:00-23:00 części wypadków na odcinki o większej wartości gęstości zwykłych przejść dla pieszych G_{ppz} dotyczy w podobnym stopniu odcinków w obszarze zabudowanym i niezabudowanym (tabl. 5.23);
- Na przejściach drogowych przez miejscowości w nocy w godz. 17:00-23:00 zaobserwowano wzrost udziału wypadków (tabl. 5.23) na odcinkach o dużej gęstości skrzyżowań ($G_{sk} > 4,5$ szt./km), a po godz. 23:00 na odcinkach o mniejszych gęstościach skrzyżowań. Poza obszarem zabudowy w nocy w godz. 17:00-23:00 następuje koncentracja wypadków na odcinkach o $G_{sk} \in (2; 4,5 >)$;

Tabl. 5.23. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennych G_{pd} , G_{przp} , G_{ppz} i G_{sk} w przypadku wiedzy na temat pory doby i występowania zabudowy na drogach wojewódzkich (wartości w [%]).

Pora doby	Zabudowa	G_{pd}					G_{przp}				
		(0; 5>	(5; 15>	(15; 25>	(25; 40>	(40; +∞)	0	(0; 2>	(2; 4>	(4; 6>	(6; +∞)
Dzień	Tak	3,59	11,98	14,37	38,62	31,44	32,94	21,71	17,51	13,77	14,07
Noc 17-23		2,30	9,20	11,48	38,51	38,51	30,47	21,26	14,94	16,09	17,24
Noc po 23		2,70	9,46	17,57	40,54	29,73	36,49	21,62	13,91	12,16	16,22
Dzień	Nie	15,84	23,08	23,53	30,31	7,24	46,60	21,72	15,84	7,24	8,60
Noc 17-23		10,64	19,15	17,02	48,93	4,26	40,43	12,77	14,89	8,51	23,40
Noc po 23		13,34	30,00	23,33	23,33	10,00	46,66	23,33	16,67	6,67	6,67
Pora doby	Zabudowa	G_{ppz}					G_{sk}				
		0	(0; 1>	(1; 2>	(2; 3>	(3; +∞)	0	(0; 1>	(1; 2>	(2; 4,5>	(4,5; +∞)
Dzień	Tak	32,93	17,22	20,51	11,68	17,66	8,98	4,04	9,58	34,43	42,97
Noc 17-23		21,84	18,97	22,41	16,67	20,11	4,02	1,72	8,05	34,48	51,73
Noc po 23		35,13	22,97	17,57	6,76	17,57	9,46	2,70	13,51	39,19	35,14
Dzień	Nie	58,83	13,57	13,57	7,24	6,79	21,27	8,60	15,84	30,31	23,98
Noc 17-23		44,69	14,89	23,40	6,38	10,64	8,51	12,77	8,51	57,44	12,77
Noc po 23		60,00	10,00	30,00	0,00	0,00	10,00	16,67	16,67	43,33	13,33

- Zaobserwowany w rozdz. 4.4 oraz w tabl. 5.21 wysoki udział wypadków z pieszymi w „nocy” (szczególnie przed godz. 23:00) w stosunku do okresu „dnia” dotyczy zarówno obszaru zabudowanego, jak i niezabudowanego (tabl. 5.24). Należy jednak zwrócić uwagę, że poza zabudową problem częstego występowania wypadków z pieszymi w nocy jest szczególnie istotny ze względu na małe wystawienie na ryzyko w postaci natężenia ruchu pieszego. W nocy istotną rolę w aż ponad 5-krotnym wzroście udziału wypadków z pieszymi w stosunku do okresu dnia odgrywiają ograniczenia oświetlenia, przyczyniające się do problemów z dostrzeganiem pieszych przez kierowców, co zostało szczegółowo opisane w rozdz. 2.1. Spadek udziału wypadków z pieszymi po godz. 23:00 jest najbardziej wyraźny na odcinkach z zabudową;
- Po godz. 23:00 w nocy w obszarze zabudowanym znacznie wzrasta w stosunku do pozostałych okresów oświetlenia udział wypadków pojedynczych pojazdów. Poza zabudową częściej niż na odcinkach w obszarze zabudowanym dochodzi do wypadków w wyniku zderzenia czołowego i bocznego w nocy przed godz. 23:00.

Tabl. 5.24. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej „Typ wypadku” w przypadku wiedzy na temat pory doby i występowania zabudowy na drogach wojewódzkich (wartości w [%]).

Pora doby	Zabudowa	Typ wypadku				
		PPI	P	ZCZ	ZBO	ZTY
Dzień	Tak	23,35	19,01	19,46	26,05	12,13
Noc 17-23		54,02	15,52	15,52	10,92	4,02
Noc po 23		27,03	44,60	14,86	10,81	2,70
Dzień	Nie	6,79	33,03	23,08	27,60	9,50
Noc 17-23		36,17	25,53	19,15	17,02	2,13
Noc po 23		40,00	40,00	6,67	6,67	6,66

Wnioskowanie rozszerzone

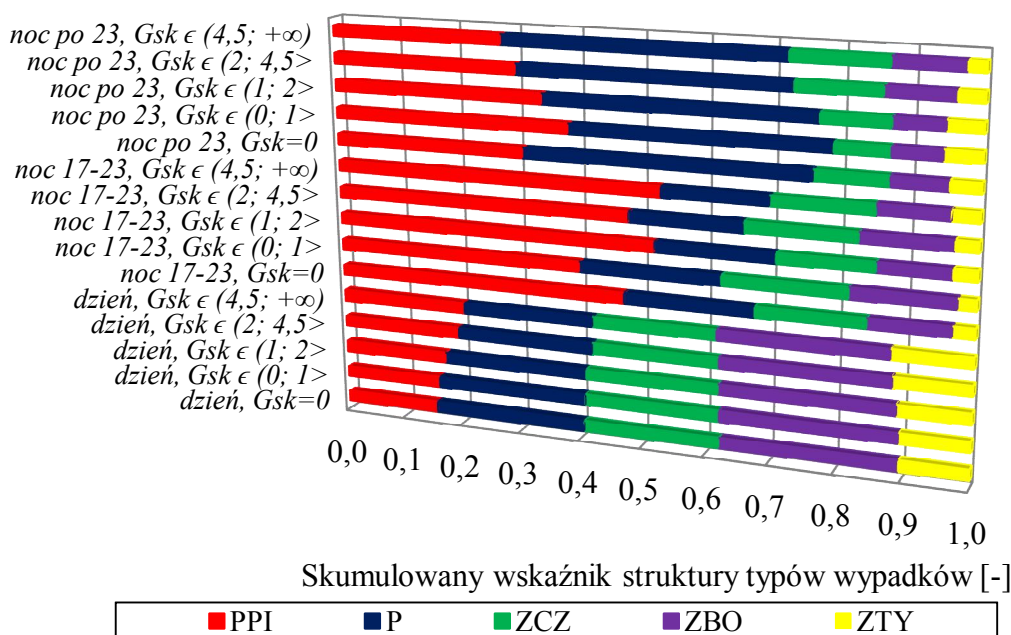
W dalszej części wnioskowania podobnie, jak w przypadku analiz dla dróg krajowych, kierowano do sieci szczegółowe, złożone zapytania. Najistotniejsze konkluzje z przedmiotowego wnioskowania przedstawiają się następująco:

- Wraz ze wzrostem gęstości punktów dostępności (G_{pd}), przeszkód punktowych (G_{przp}), zwykłych przejść dla pieszych (G_{ppz}) i skrzyżowań (G_{sk}) występuje spadek wartości wskaźnika W_Z w nocy po godz. 23:00. Okres ten charakteryzuje się największym wpływem elementów infrastruktury na zagrożenie wypadkowe;
- Przy świetle dziennym wraz ze wzrostem G_{pd} (tabl. 5.25) wartości W_Z coraz częściej koncentrują się w przedziale (1; 5>, a w nocy przed godz. 23:00 w przedziałach (1; 3> i (5; 7>;
- Nie zaobserwowano wyraźnego wpływu gęstości przeszkód punktowych na zagrożenie wypadkowe przy świetle dziennym i w nocy w godz. 17:00-23:00 (tabl. 5.25). Spadek wartości W_Z wraz ze wzrostem G_{przp} w nocy po godz. 23:00 wobec rozpoznanego w tabl. 5.24 wzrostu udziału wypadków pojedynczych pojazdów, na które w dużej części składają się wypadki w wyniku najechania na przeszkodę wskazuje, że prawdopodobieństwo takiego wypadku nie rośnie wraz ze wzrostem G_{przp} . W niektórych przypadkach jedna przeszkoda punktowa może stwarzać większe zagrożenie wypadkowe niż kilka przeszkód rozstawionych w niewielkiej odległości.

Tabl. 5.25. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat zmiennych „Pora doby” oraz G_{pd} i G_{przp} na drogach wojewódzkich (wartości w [%]).

Pora doby	G_{pd}	W_Z					G_{przp}	W_Z				
		<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞)		<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞)
Dzień	(0; 5>	0,91	37,93	27,84	15,76	17,56	0	1,64	43,72	29,35	14,11	11,18
Noc 17-23	(0; 5>	2,65	10,28	32,86	17,29	36,92	0	1,89	17,25	25,44	25,49	29,93
Noc po 23	(0; 5>	11,85	17,14	24,66	27,69	18,66	0	14,73	28,07	23,01	19,73	14,46
Dzień	(5; 15>	1,51	41,24	29,41	14,61	13,23	(0; 2>	1,54	45,00	31,23	13,11	9,12
Noc 17-23	(5; 15>	1,57	13,12	29,26	20,20	35,85	(0; 2>	1,62	17,03	28,46	25,05	27,84
Noc po 23	(5; 15>	9,81	18,61	26,40	27,77	17,41	(0; 2>	16,69	31,29	20,41	18,56	13,05
Dzień	(15; 25>	1,64	42,22	27,70	15,32	13,12	(2; 4>	1,67	46,56	29,25	13,14	9,38
Noc 17-23	(15; 25>	2,37	15,34	23,35	27,85	31,09	(2; 4>	1,83	17,76	27,18	24,89	28,34
Noc po 23	(15; 25>	16,04	26,85	24,97	18,12	14,02	(2; 4>	17,13	32,13	19,92	17,70	13,12
Dzień	(25; 40>	2,04	47,89	30,22	12,41	7,44	(4; 6>	1,41	45,95	32,01	12,94	7,69
Noc 17-23	(25; 40>	1,94	20,82	24,20	26,29	26,75	(4; 6>	1,65	17,97	28,24	24,98	27,16
Noc po 23	(25; 40>	15,15	38,68	18,44	14,75	12,98	(4; 6>	18,21	40,98	13,26	15,85	11,70
Dzień	(40; +∞)	1,07	46,66	33,12	12,64	6,51	(6; +∞)	1,46	45,62	30,88	13,44	8,60
Noc 17-23	(40; +∞)	1,40	17,05	31,03	24,54	25,98	(6; +∞)	1,97	18,65	27,90	23,59	27,89
Noc po 23	(40; +∞)	23,62	37,26	13,92	15,25	9,95	(6; +∞)	18,20	35,49	17,32	16,03	12,96

- Tendencja do spadku wartości W_Z wraz ze wzrostem dotychczas analizowanych gęstości elementów infrastruktury w nocy po godz. 23:00 jest szczególnie wyraźna dla zmiennej G_{ppz} i odzwierciedla częstsze występowania wypadków z pieszymi poza zabudową (tabl. Z5.38). W nocy w godz. 17:00-23:00 wysokie wartości wskaźnika zagrożenia W_Z występują w przypadku braku zwykłych przejść dla pieszych oraz dla najwyższych gęstości takich przejść ($G_{ppz} > 3,0$ szt./km), wyrażając wzrost zagrożenia m.in. wypadkami z pieszymi na odcinkach poza zabudową, jak i w obszarze intensywnej zabudowy. W okresie „dnia” wartości W_Z na odcinkach bez zwykłych przejść dla pieszych są rozproszone we wszystkich wyodrębnionych przedziałach, a wraz ze wzrostem G_{ppz} wartości W_Z skupiają się w przedziale (1; 3>, wskazując na spadek zagrożenia wypadkowego. Ponowny wzrost zagrożenia (skupienie wartości W_Z w przedziale (3; 5>) następuje na odcinkach, na których $G_{ppz} > 3,0$ szt./km;
- Wskaźnik zagrożenia W_Z większy od 5,0 aż w 53% dotyczy okresu „nocy” przed godz. 23:00, a jedynie w 23% okresu „dnia” i w 32% okresu „nocy” po godz. 23:00;
- W „dzień” zaobserwowano tendencję do częstszego występowania wartości wskaźnika wypadkowego W_Z z przedziałów (1; 3> i (5; 7> w obszarze zabudowanym, a skrajnych wartości W_Z poza zabudową. W nocy przed godziną 23:00, wraz ze wzrostem wartości W_Z rośnie prawdopodobieństwo, że przedmiotowy odcinek znajduje się na obszarze zabudowanym. Po godz. 23:00 w nocy skrajne wartości W_Z notuje się najczęściej na odcinkach w obszarze zabudowanym, a wartości pośrednie poza zabudową;
- Wzrost gęstości zwykłych przejść dla pieszych, punktów dostępności i skrzyżowań wpływa na zwiększenie udziału wypadków z pieszymi w „dzień” i w „nocy” w godz. 17:00-23:00 oraz spadek w nocy po godz. 23:00. W przypadku przejść dla pieszych oznacza to większą w okresie dnia i wczesnych godzin nocnych koncentrację ruchu pieszego i związanego z nim zagrożenia wypadkowego w obrębie przejść i możliwe przenoszenie się tego ruchu poza przejścia w okresie „głębokiej” nocy, co wraz z utrzymującym się wysokim prawdopodobieństwem wystąpienia wypadków typu „najechanie na pieszego” i spadkiem natężeń ruchu pieszego wskazuje na istotną rolę ograniczeń widoczności w powstawaniu tego typu wypadków;
- W nocy po godz. 23:00 wzrost wartości G_{ppz} z 0,0 do ponad 3,0 szt./km lub G_{pd} z 0,0 do ponad 40,0 szt./km jest skorelowany z większym o 4-5% udziałem zderzeń czołowych. Niezależnie od gęstości elementów infrastruktury, na podobnym poziomie utrzymuje się udział wypadków pojedynczych pojazdów;
- Wzrost G_{przp} z 0,0 do ponad 6,0 szt./km jest związany z nieznacznymi 1-3% zmianami udziału poszczególnych typów wypadków. Prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku śmiertelnego nie zależy od liczby przeszkód bocznych, co może wynikać z małej korelacji gęstości przeszkód z występowaniem zabudowy;
- Zaskakujący jest brak wzrostu udziału wypadków w wyniku zderzenia bocznego w „dzień” i w „nocy” w godz. 17:00-23:00, spodziewany wraz ze zwiększeniem się gęstości skrzyżowań (rys. 5.26). Taki wzrost nastąpił jedynie po godz. 23:00 (wyniósł 3%), co może w pośredni sposób świadczyć o problemie braku widoczności, związanym zarówno z ograniczeniami oświetlenia, jak i z występowaniem przeszkód bocznych w obrębie skrzyżowań;



Rys. 5.26. Ilustracja wyników wnioskowania bayesowskiego zmiennej „Typ wypadku” w przypadku wiedzy na temat zmiennych „Pora doby” oraz G_{sk} na drogach wojewódzkich.

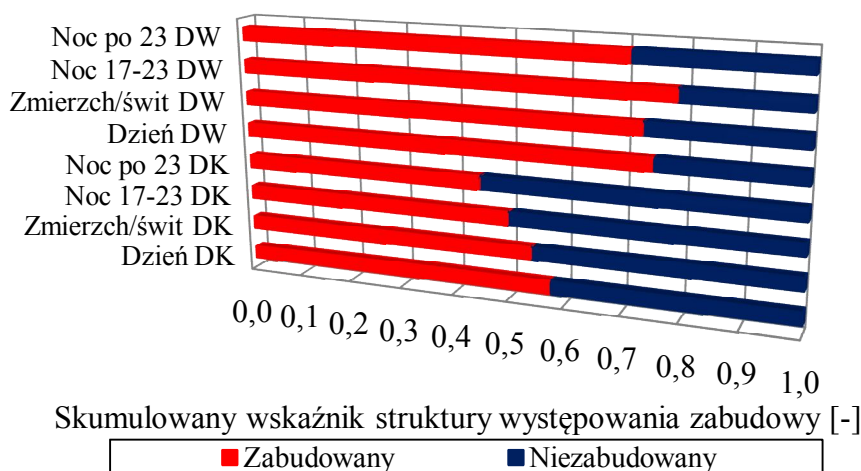
- Wzrost zagrożenia wraz ze wzrostem wartości G_{ppz} , G_{pd} lub G_{sk} jest rekompensowany przez spadek ciężkości wypadków, największy w nocy przed godz. 23:00;
- Do wypadków z pieszymi przy świetle dziennym w 61% dochodzi na odcinkach z chodnikami. W nocy przed godz. 23:00 prawdopodobieństwo wypadku na odcinku z chodnikami wzrasta do 67%, a po godz. 23:00 spada do 54%. W okresie głębokiej nocy wzrost udziału wypadków z pieszymi na odcinkach o przekrojach z pobocznymi jest skorelowany ze wzrostem na odcinkach niezabudowanych (tabl. 5.21);
- Nie zaobserwowano wyraźnej korelacji pozostałych (poza wypadkami z pieszymi) typów wypadków z typami przekroju poprzecznego w różnych porach doby;
- Jeśli sprawca był pod wpływem alkoholu, to wypadek z prawdopodobieństwem 43% miał miejsce w nocy i z podobnym prawdopodobieństwem 31-33% był to wypadek z pieszym lub wypadek pojedynczego pojazdu.

5.3.10. Porównania zależności pomiędzy cechami wypadków na drogach krajowych i wojewódzkich

Podobnie, jak w przypadku analiz przy pomocy metod regresyjnych, uwzględnienie oddzielnie wypadków z dróg krajowych i wojewódzkich pozwoliło rozpoznać charakterystyczne dla poszczególnych klas dróg zależności pomiędzy cechami wypadków i infrastruktury drogowej oraz miarami zagrożenia wypadkowego. Porównania tych zależności w różnych okresach doby doprowadziły do następujących wniosków:

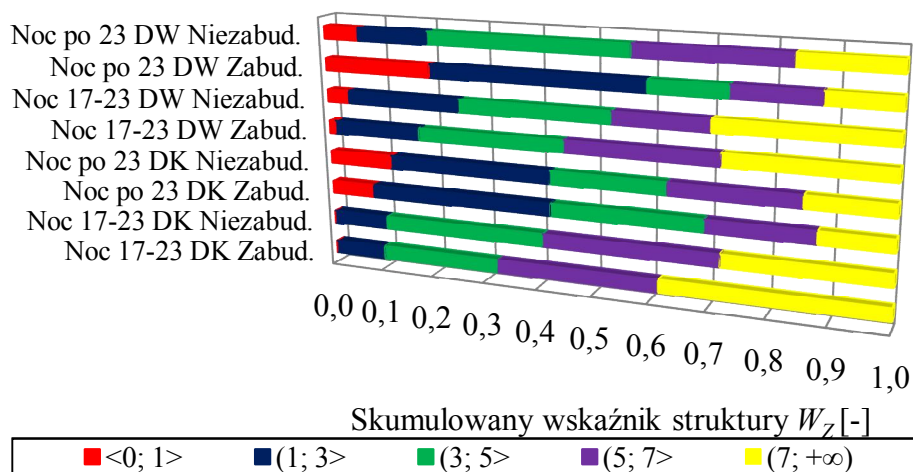
- Na drogach wojewódzkich w przeciwieństwie do dróg krajowych nie zaobserwowano wyraźnego „przesunięcia się” części wypadków poza obszar zabudowy w nocy (rys. 5.27);
- Na drogach krajowych wraz z pogarszającymi się warunkami oświetlenia następuje wzrost udziału wypadków na odcinkach o mniejszych gęstościach elementów infrastruktury, co jest związane z przedstawionym na rys. 5.27 „przesunięciem się”

części wypadków poza zabudowę. Na drogach wojewódzkich przedmiotowy wzrost dotyczy jedynie okresu po godz. 23:00. W nocy w godz. 17:00-23:00 zaobserwowano wzrost udziału wypadków na odcinkach o większych gęstościach elementów infrastruktury drogowej (oraz w obrębie zabudowy);



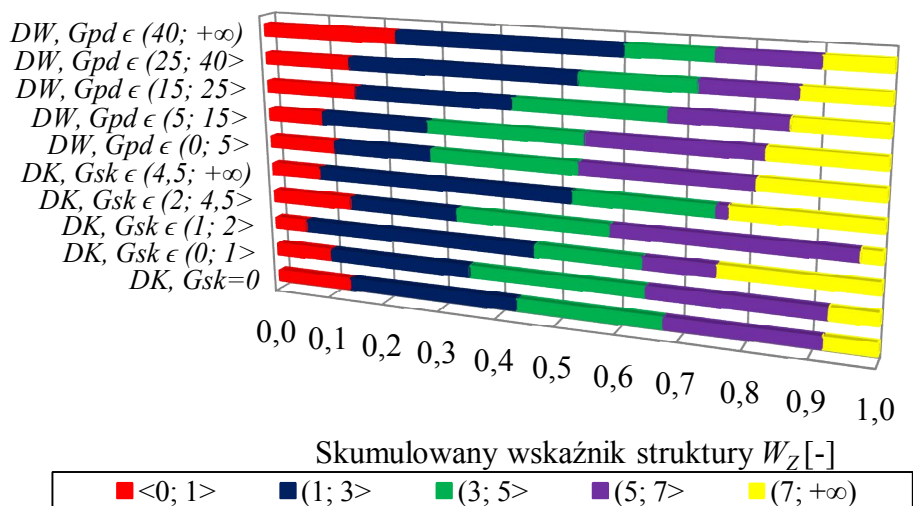
Rys. 5.27. Porównanie wyników wnioskowania bayesowskiego zmiennej „Zabudowa” w przypadku wiedzy na temat pory doby na drogach krajowych i wojewódzkich.

- Niezależnie od klasy dróg zaobserwowano większe wartości wskaźnika zagrożenia W_Z na odcinkach zabudowanych niż poza zabudową w nocy przed godz. 23:00 oraz mniejsze po godz. 23:00. Na drogach niższych klas wpływ występowania zabudowy na wartość W_Z po godz. 23:00 w nocy jest jednak znacznie większy (rys. 5.28);



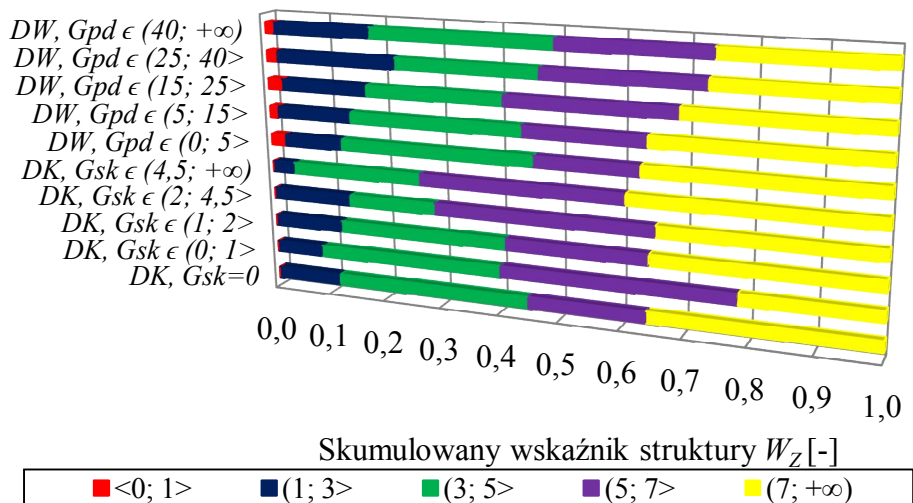
Rys. 5.28. Porównanie wyników wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat pory doby i występowania zabudowy na drogach krajowych i wojewódzkich.

- Struktura typów wypadków na odcinkach w obszarze niezabudowanym i zabudowanym jest w kolejnych porach doby podobna niezależnie od klasy dróg;
- Na drogach wojewódzkich w nocy po godz. 23:00 wzrost gęstości każdego z analizowanych elementów infrastruktury jest związany ze znacznym spadkiem wartości wskaźnika zagrożenia W_Z , tzn. wypadki częściej występują na odcinkach o mniejszej gęstości elementów infrastruktury. Na drogach krajowych po godz. 23:00 wzrost gęstości takich elementów nie powoduje istotnych zmian zagrożenia wypadkowego za wyjątkiem gęstości skrzyżowań (rys. 5.29);



Rys. 5.29. Porównanie wyników wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat zmiennej G_{sk} na drogach krajowych lub G_{pd} na drogach wojewódzkich w nocy po godz. 23:00.

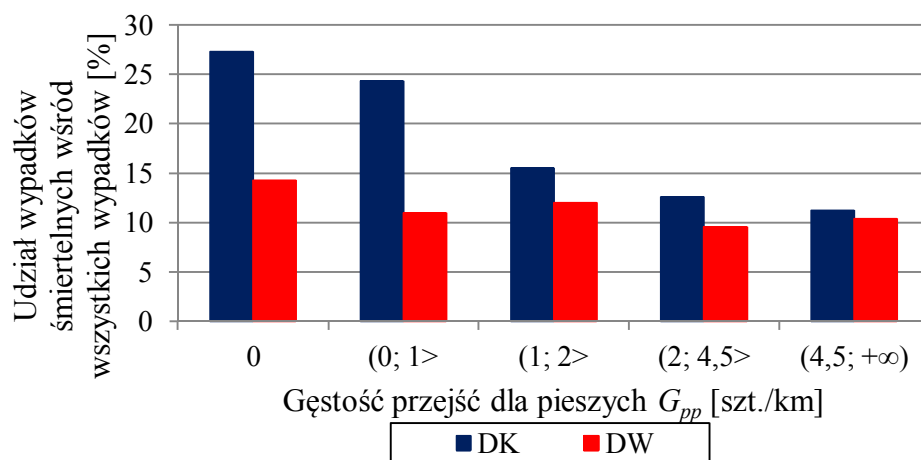
- W nocy przed godz. 23:00 na drogach wojewódzkich wraz ze wzrostem gęstości analizowanych elementów infrastruktury następuje nieznaczna poprawa brd lub koncentracja zagrożenia wokół średnich wartości W_Z . Przykład takiej zależności dla zmiennej G_{pd} pokazano na rys. 5.30. Na drogach krajowych w przedmiotowym okresie doby większe wartości ww. gęstości (a szczególnie gęstości skrzyżowań) są związane ze wzrostem zagrożenia wypadkowego, co pokazano na przykładzie zmiennej G_{sk} na rys. 5.30;



Rys. 5.30. Porównanie wyników wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat zmiennej G_{sk} na drogach krajowych lub G_{pd} na drogach wojewódzkich w nocy w godz. 17:00-23:00.

- Niezależnie od klasy dróg najwyższe wartości wskaźnika zagrożenia W_Z występują w nocy w godz. 17:00-23:00, co jest również widoczne na rys. 5.29 i rys. 5.30. Na drogach wojewódzkich porą doby o najniższych wartościach przedmiotowego wskaźnika jest „dzień”, a na drogach krajowych „noc” po godz. 23:00;
- Wraz ze wzrostem gęstości elementów infrastruktury niezależnie od klasy drogi maleje ciężkość wypadku, wyrażona spadkiem udziału wypadków śmiertelnych we

wszystkich porach doby. Przedmiotowy spadek ciężkości wypadków jest bardziej widoczny na drogach krajowych niż wojewódzkich i jest największy w nocy w godz. 17:00-23:00 (rys. 5.31);



Rys. 5.31. Porównanie udziału wypadków śmiertelnych wśród wszystkich wypadków w zależności od gęstości przejść dla pieszych na drogach krajowych i wojewódzkich w nocy w godz. 17:00-23:00.

- Wzrost gęstości przejść dla pieszych, punktów dostępności, przystanków autobusowych i skrzyżowań bez względu na klasę dróg wpływa na zwiększenie udziału wypadków z pieszymi przy świetle dziennym i w nocy w godz. 17:00-23:00. Przedmiotowy wzrost udziału wypadków typu „najechanie na pieszego” jest dla większości zmiennych większy na drogach krajowych niż na wojewódzkich. W nocy po godz. 23:00 wzrost gęstości przedmiotowych elementów infrastruktury jest skorelowany ze zwiększeniem udziału wypadków z pieszymi jedynie na drogach krajowych. Na drogach wojewódzkich uwidoczniło się „przesunięcie” części wypadków z pieszymi poza odcinki o dużej gęstości elementów infrastruktury, w tym na obszar niezabudowany;
- Na drogach krajowych elementem infrastruktury, który najsilniej wpływa na wzrost udziału wypadków z pieszymi są skrzyżowania. Na drogach wojewódzkich największym wpływem na wzrost udziału wypadków z pieszymi charakteryzuje się gęstość punktów dostępności;
- Wraz ze wzrostem gęstości przejść dla pieszych, punktów dostępności i przystanków autobusowych zwiększa się również udział wypadków w wyniku zderzenia tylnego przy świetle dziennym niezależnie od klasy dróg. Wzrost ten jest jednak dużo większy (4-6%) na drogach krajowych niż wojewódzkich (1-2%). Korelacja gęstości przedmiotowych elementów infrastruktury z udziałem wypadków w wyniku zderzenia tylnego na drogach niższych klas (wojewódzkich) utrzymuje się również w nocy w godz. 17:00-23:00. Taki wzrost może wynikać z generowania sytuacji konfliktowych przez przejścia dla pieszych i punkty dostępności;
- Wzrost gęstości skrzyżowań jest związany ze znacznym (6-16% w zależności od pory doby) wzrostem udziału wypadków w wyniku zderzenia bocznego na drogach krajowych. Na drogach wojewódzkich przedmiotowy wpływ występuje w niewielkim stopniu (wzrost udziału wypadków w wyniku zderzenia bocznego o 3%) jedynie

w nocy po godz. 23:00. Brak wpływu skrzyżowań na udział wypadków w wyniku zderzenia bocznego może być wynikiem mniejszych natężeń ruchu pojazdów na drogach wojewódzkich, w tym z wlotów bocznych na skrzyżowaniach. Większa dostępność do dróg może być również przyczyną „przeniesienia się” części zagrożenia przedmiotowymi wypadkami na liczne punkty dostępności;

- Niezależnie od klasy drogi wypadki z pieszymi przy świetle dziennym występują 1,5-2 razy częściej na odcinkach z chodnikiem niż na odcinkach z poboczem gruntowym lub bitumicznym. W „nocy” w godz. 17:00-23:00 na drogach krajowych wzrasta (w stosunku do okresu „dnia”) udział wypadków z pieszymi na przekrojach z poboczami, a na drogach wojewódzkich wzrasta udział takich wypadków na odcinkach z chodnikami. W nocy po godz. 23:00 bez względu na klasę drogi, obserwuje się wyraźne „przesunięcie” części wypadków na odcinki z poboczami.

5.3.11. Zastosowanie wnioskowania bayesowskiego przy planowaniu budowy nowego odcinka drogi lub przebudowy odcinka istniejącego

Jedną z podstawowych zalet sieci Bayesa, opisanych w rozdz. 2.2.2 jest możliwość kierowania do niej dowolnych zapytań i uzyskania prawdopodobieństw warunkowych każdej konfiguracji zmiennych. Taka zaleta ma szczególne zastosowanie z uwagi na fakt, że sieć jest ważna dla każdego poligonu, który jest w niej uwzględniony, wraz z konkretnymi wartościami zmiennych opisujących cechy jego infrastruktury drogowej. Zatem, obok będącego przedmiotem dotychczasowej części rozdz. 5.3 wnioskowania bayesowskiego w identyfikacji wpływu czynników drogowo-ruchowych na zagrożenie wypadkowe na istniejących odcinkach drogowych, metoda ta może również służyć do prognoz brd przy planowaniu budowy nowego odcinka drogi lub przebudowy odcinka istniejącego.

Wprowadzenie warunków w postaci ww. konkretnych, charakterystycznych dla danego poligonu, wartości zmiennych w węzłach sieci bayesowskiej pozwala ocenić potencjalne zagrożenie wypadkowe na tym poligonie. Ocena zagrożenia polega na znajomości prawdopodobieństw przyporządkowania wskaźnika zagrożenia W_Z do określonych przedziałów wartości. W przypadku ewentualnej zmiany parametrów odcinka, tj. przyjęcia innej wartości jednej lub kilku zmiennych, przy pomocy zmienionych wartości ww. prawdopodobieństw możliwa jest ocena, w jaki sposób przedmiotowa zmiana wpływa na brd. Przy planowaniu budowy nowego odcinka drogi lub przebudowy odcinka istniejącego, wybór jego parametrów geometrycznych należy oprzeć na minimalizacji, tj. na wzroście prawdopodobieństw wystąpienia niskich wartości przedmiotowego wskaźnika.

Zastosowanie sieci Bayesa przy planowaniu przebudowy istniejącego odcinka drogi zaprezentowano na przykładzie odcinka niebezpiecznego nr 12 w miejscowości Posądzka na drodze wojewódzkiej nr 776 (Kraków Proszowice – Ostrów). Przedmiotowy odcinek ma długość 1,7 km (początek w km 28,1; koniec w km 29,8) i znajduje się na obszarze zabudowanym. Wzdłuż odcinka po obu stronach drogi zlokalizowanych jest 59 punktów dostępności, na które składa się 46 zjazdów indywidualnych, 8 polnych oraz 5 komercyjnych. Na całej długości odcinka znajduje się 7 skrzyżowań (w tym sześć 3-wlotowych i jedno 4-wlotowe) z drogami niższych klas oraz 2 zwykle przejścia dla pieszych. W otoczeniu/koronie drogi występuje 6 przeszkód punktowych w postaci lamp, stanowiących sztuczne oświetlenie odcinka. Znaczna część odcinka wyposażona jest w chodnik, znajdujący się po jednej lub obu

stronach jezdni. Opisane powyżej wartości zmiennych opisujących infrastrukturę drogową przedmiotowego odcinka zestawiono w tabl. 5.26. Oprócz ww. cech infrastruktury w tabl. 5.26 wyszczególniono również wartości średnich godzinowych natężeń ruchu oraz wskaźnika zagrożenia W_Z w ciągu całej doby i jej poszczególnych okresów. Obok znanych wartości W_Z zestawiono również prawdopodobieństwa, z jakimi wartości te znajdują się w określonych przedziałach na odcinkach o podobnych parametrach geometryczno-ruchowych.

Na przedmiotowym odcinku niebezpiecznym możliwe są zmiany, które zaproponowano w oparciu o minimalizację wartości wskaźnika zagrożenia W_Z , tj. dążenie do wzrostu prawdopodobieństwa wystąpienia małych wartości W_Z w poszczególnych porach doby. Zmiany, które mogą być wprowadzone podczas ewentualnej przebudowy przedstawiają się następująco:

- Ze względu na znaczną szerokość pasa drogowego zauważono potencjał redukcji liczby punktów dostępności poprzez wykonanie dróg równoległych do jezdni drogi wojewódzkiej, które pełniłyby funkcję tzw. „zbierania” ruchu ze zjazdów indywidualnych. Oceniono, że możliwa jest ok. 3-krotna redukcja liczby zjazdów;
- Jedno z istniejących przejść dla pieszych znajduje się ok. 80 m za skrzyżowaniem 4-włotowym (o numerze referencyjnym 090), na którym przy pomocy oznakowania poziomego wydzielono pasy do skrętu w lewo z drogi wojewódzkiej na wloty podporządkowane. Przebudowa przedmiotowego przejścia dla pieszych na przejście z wyspą azylu, obok zakładanej przy takim rozwiązaniu poprawy brd pieszych, stworzyłaby możliwość wcześniejszego poszerzenia przekroju drogi przed skrzyżowaniem i płynnego przejścia do wydzielonego pasa do skrętu w lewo z jednoczesnym oznakowaniem pionowym. Taka przebudowa zredukowałaby do jednego liczbę zwykłych przejść dla pieszych na rozważanym odcinku niebezpiecznym;
- W przypadku co najmniej 3 spośród 6 lamp oświetleniowych zauważono możliwość znacznego ich odsunięcia od jezdni. W ten sposób zmniejszyłoby się ryzyko wystąpienia wypadku typu „najechanie na przeszkodę”.

Zaproponowane zmiany spowodowały redukcję prognozowanego zagrożenia wypadkowego, wyrażonego przy pomocy wskaźnika W_Z . Prawdopodobieństwa uzyskania konkretnych wartości W_Z po ewentualnej przebudowie zestawiono w tabl. 5.26. Największa poprawa brd (w stosunku do stanu „przed” przebudową) nastąpiła w nocy, zarówno w godz. 17:00-23:00, jak i po 23:00. Zmiana gęstości zwykłych przejść dla pieszych była główną przyczyną spadku zagrożenia wypadkowego przy świetle dziennym i w nocy w godz. 17:00-23:00. Redukcja liczby przeszkód punktowych przyczyniła się w głównej mierze do wzrostu brd w nocy po godz. 23:00. Istotnym elementem prognozowanego spadku wartości W_Z w nocy w godz. 17:00-23:00 było ograniczenie dostępności do drogi.

Tabl. 5.26. Zestawienie prawdopodobieństw uzyskania wartości wskaźnika zagrożenia W_Z w przyjętych przedziałach w różnych porach doby na odcinku niebezpiecznym numer 12 w miejscowości Posąda na drodze wojewódzkiej nr 776 „przed” i „po” zaproponowanych zmianach infrastruktury drogowej.

„przed”												
Pora doby	N [P/h]	G_{pd}	G_{ppz}	G_{przp}	G_{sk}	Typ przekroju	W_Z	$W_Z(\text{model})$				
								<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞>
Doba	138	34,7	1,2	3,5	4,1	CH	3,11	3,15	51,28	21,48	13,30	10,78
Dzień	207						2,94	0,62	51,64	40,99	4,07	2,69
Noc 17-23	104						5,25	0,00	31,67	14,37	28,73	25,23
Noc po 23	51						2,75	7,99	39,64	33,95	7,99	10,44
„po”												
Pora doby	N [P/h]	G_{pd}	G_{ppz}	G_{przp}	G_{sk}	Typ przekroju	W_Z	$W_Z(\text{model})$				
								<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞>
Doba	138	11,8	0,6	1,8	4,1	CH	?	7,70	63,47	22,29	6,54	0,00
Dzień	207							2,06	60,14	36,41	1,39	0,00
Noc 17-23	104							0,00	57,79	22,14	20,07	0,00
Noc po 23	51							34,39	38,81	20,10	6,70	0,00

Przedstawiona powyżej metoda oceny zagrożenia wypadkowego w badaniach „przed-po” wprowadzonych zmianach może być traktowana jako alternatywa do opisanej w rozdz. 2.2.2 empirycznej metody Bayesa (EB). Poprawność oszacowania wartości wskaźnika wypadkowego przy pomocy metody EB jest jednak w dużym stopniu uzależniona od doboru odcinka porównawczego o podobnych do rozważanego odcinka cechach geometryczno-ruchowych lub od zastosowania funkcji SPF (Safety Performance Function) [23], opisanej w rozdz. 2.2.2. Przewaga sieci Bayesa polega na uwzględnieniu większej liczby takich „podobnych” odcinków, co niweluje błąd, jaki można popełnić przy doborze jednego odcinka. Zastosowanie sieci Bayesa likwiduje również konieczność budowy funkcji SPF.

Przedstawiona metoda redukcji zagrożenia wypadkowego w różnych porach doby może być wykorzystana dla każdego odcinka niebezpiecznego, uwzględnionego w modelu graficznym. Choć formalnie model jest ważny jedynie dla odcinków w nim uwzględnionych, prognoza wartości wskaźnika W_Z może być również przydatna przy budowie nowego odcinka.

5.4. Porównanie wyników analiz przy pomocy modeli regresyjnych i graficznych

Zarówno przy pomocy modeli regresyjnych, jak i graficznych wykazano wpływ elementów infrastruktury drogowej na brd w różnych warunkach oświetlenia. W tabl. 5.27 zestawiono różnice charakterystyk modeli zbudowanych przy pomocy obu metod badawczych. Różnice te obejmują: liczbę modeli, liczbę zmiennych w jednym modelu, estymowane wskaźniki wypadkowe, przedmiot predykcji, weryfikację modelu oraz jego dodatkowe wykorzystanie.

W związku z odmienną specyfiką obu metod niemożliwe jest porównanie ilościowe wyników analiz przy pomocy modeli regresyjnych i graficznych. Wspólnymi elementami modeli zbudowanych przy pomocy rozważanych metod są niektóre zmienne opisujące infrastrukturę drogową. Do modeli graficznych wyselekcjonowano najistotniejsze zmienne,

tj. takie, które w modelach regresyjnych z największą siłą wpływały na wartość zmiennej zależnej. Należy jednak zauważyć, że pomimo występowania w modelach zbudowanych przy pomocy obu metod podobnego zbioru zmiennych drogowo-ruchowych, porównanie wyników jest utrudnione ze względu na różne estymowane wskaźniki wypadkowe.

Głównym założeniem analiz przy pomocy sieci Bayesa było uzyskanie szerszej wiedzy na temat wpływu poszczególnych zmiennych na brd. W modelach regresyjnych wiedza ta ograniczała się bowiem do wartości współczynnika kierunkowego przy danej zmiennej. Porównanie wyników badań przy pomocy obu rozważanych metod zastało zatem oparte na ogólnej charakterystyce wpływu najistotniejszych zmiennych na brd (zarówno na liczbę wypadków, jak i na wskaźnik zagrożenia W_z) oraz opisanie dodatkowej wiedzy uzyskanej przy pomocy metod graficznych. Takie porównanie zaprezentowano w tabl. 5.28, tabl. 5.29 i tabl. 5.30. Różnice w wynikach analiz wpływu gęstości przeszkód punktowych i typu przekroju poprzecznego na brd na drogach wojewódzkich mogą być wynikiem różnych w przedmiotowych metodach estymowanych wskaźników wypadkowych.

Tabl. 5.27. Zestawienie charakterystyk modeli zbudowanych przy pomocy metody uogólnionej regresji liniowej i modeli graficznych opartych na sieciach Bayesa.

charakterystyka	modele	
	uogólnionej regresji liniowej	graficzne oparte na sieciach Bayesa
liczba modeli	Zbudowano wiele modeli . Część zmiennych niezależnych nie mogła jednocześnie wystąpić modelu ze względu na wzajemną korelację. W każdej porze doby i dla każdej zmiennej zależnej wyodrębniono tzw. "model reprezentatywny", tj. o najwyższej wartości zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 zgodnie z opisem w rozdz. 5.2.3.	Zbudowano jeden model dla całej sieci dróg. W celu budowy takiego modelu wyodrębniono zestaw cech infrastruktury drogowej, które najsilniej wpływały na wartości zmiennych zależnych w modelach regresyjnych. Model posiadał ograniczenia (m.in. liczby zmiennych), opisane w rozdz. 5.3.2.
liczba zmiennych w modelu	W każdym modelu obok zmiennej zależnej obligatoryjnie występowały zmienne opisujące wystawienie na ryzyko wypadku, tj. natężenie ruchu N i długość odcinka L . Obok nich w modelach występowało od 0 do 6 dodatkowych zmiennych ilościowych (gęstości poszczególnych elementów infrastruktury) lub jakościowych (np. "typ przekroju poprzecznego")	Podstawową zmienną w modelu jest "pora doby". Dla całej sieci dróg wyodrębniono ponadto 4 zmienne opisujące gęstości elementów infrastruktury drogowej, 2 zmienne jakościowe ("typ przekroju poprzecznego" i "występowanie zabudowy"), natężenie ruchu N , wskaźnik zagrożenia W_z oraz 3-4 zmienne opisujące cechy wypadków (m.in. typ wypadku)
estymowane wskaźniki wypadkowe	Liczba wypadków, liczba wypadków poszczególnych typów . Estymowane wskaźniki wypadkowe występują w modelach jako zmienne zależne	Wskaźnik zagrożenia W_z . Przedmiotowy wskaźnik występuje w modelu jako jedna z równorzędnych zmiennych
przedmiot predykcji	Modele służą do predykcji oczekiwanej wartości zmiennej zależnej	Przedmiotem predykcji są prawdopodobieństwa przyporządkowania zmiennych do określonych przedziałów wartości (zmienne ilościowe) lub określonych przypadków (zmienne jakościowe)
weryfikacja modelu	3-etapowa: ocena istotności parametrów modelu przy pomocy prawdopodobieństwa testowego p , oszacowanie dopasowania modelu do obserwowanych danych przy pomocy zmodyfikowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_p^2 , analiza reszt z użyciem statystyki Cooka.	porównanie wartości $P(MPE)$ dla wszystkich zmiennych z prawdopodobieństwem $P_{dane}(MPE)$, tzn. udziałem przypadków konfiguracji MPE w bazie danych
dodatkowe wykorzystanie modelu	jako funkcja SPF w badaniach „przed-po” przebudowie odcinka, zgodnie z metodologią przedstawioną w rozdz. 2.2.2.	Szacowanie zagrożenia brd, tj. prawdopodobieństw przyporządkowania wskaźnika zagrożenia W_z do określonych przedziałów wartości, służące do prognoz brd przy planowaniu budowy nowego odcinka drogi lub przebudowy odcinka istniejącego

Tabl. 5.28. Porównanie wyników analiz wpływu najważniejszych zmiennych na brd przy pomocy modeli uogólnionej regresji liniowej i modeli graficznych.

zmienna	grupa dróg	modele		dodatkowe wnioski uzyskane przy pomocy metod graficznych
		uogólnionej regresji liniowej	graficzne oparte na sieciach Bayesa	
G_{sk} (gęstość skrzyżowań)	DK	Występuje w modelach predykcji liczby wypadków (LW) w nocy w godz. 17:00-23:00 i przy świetle dziennym (*). 1 skrzyżowanie na 1 km drogi jest związane ze wzrostem LW o 10% w "dzień" i 4% w „nocy” w godz. 17:00-23:00	Wraz ze wzrostem G_{sk} : przy świetle dziennym wartości W_Z koncentrują się (wzrost prawdopodobieństwa o 26%) w przedziale (3; 7>; w nocy w godz. 17:00-23:00 aż 18% odcinków "przesuwa się" w kierunku dużych (większych od 5,0) wartości W_Z ; w nocy po godz. 23:00 zaobserwowano duże, lecz nieregularne zmiany wpływu skrzyżowań na W_Z . Po zmianie wartości G_{sk} z 0 do ponad 4,5 największa koncentracja wartości W_Z wystąpiła w przedziałach (1; 3> i (7; +∞), w których nastąpił wzrost prawdopodobieństwa odpowiednio 14 i 15%	W "dzień" wraz ze wzrostem wartości G_{sk} wyraźnie zaznacza się nieliniowy wzrost zagrożenia wypadkowego. Tendencja wzrostu zagrożenia wraz ze wzrostem G_{sk} w nocy w godz. 17:00-23:00 jest zbliżona do zależności liniowej. Niewłączenie zmiennej do modeli regresyjnych z okresu nocy po godz. 23:00 jest spowodowane nieregularnym wpływem skrzyżowań na brd w tym okresie
G_{sk} (gęstość skrzyżowań)	DW	Występuje w modelach predykcji liczby wypadków (LW) w nocy poza obszarem zabudowanym (***) . 1 skrzyżowanie na 1 km drogi jest związane ze wzrostem LW o 20-24%	Wraz ze wzrostem G_{sk} : przy świetle dziennym wartości W_Z koncentrują się (wzrost prawdopodobieństwa o 13%) w przedziale (1; 5>; w nocy w godz. 17:00-23:00 wartości W_Z koncentrują się (wzrost prawdopodobieństwa o 14%) w przedziale (1; 7>; w nocy po godz. 23:00 aż 32% odcinków "przesuwa się" w kierunku małych (mniejszych od 3,0) wartości W_Z	Niewłączenie zmiennej do modeli regresyjnych z okresu "dnia" jest spowodowane koncentracją, wraz ze wzrostem wartości G_{sk} , wskaźnika zagrożenia wokół średnich wartości. Wzrost zagrożenia wypadkowego w nocy poza obszarem zabudowanym wraz ze wzrostem wartości G_{sk} ma charakter nieliniowy i jest związany z okresem 17:00-23:00. Po godz. 23:00 wzrost wartości przedmiotowej zmiennej powoduje znaczny spadek zagrożenia
G_{kpd} (gęstość komercyjnych punktów dostępności)	DK	Występuje w modelach predykcji liczby wypadków (LW) w nocy (**) i przy świetle dziennym (***) . 2 zjazdy komercyjne na 1 km drogi są związane ze wzrostem LW o 7% w "dzień" i 5-6% w „nocy”	Wraz ze wzrostem G_{kpd} : przy świetle dziennym wartości W_Z koncentrują się (wzrost prawdopodobieństwa o 15%) w przedziale (3; 7>; w nocy w godz. 17:00-23:00 5% odcinków "przesuwa się" w kierunku dużych (większych od 5,0) wartości W_Z ; w nocy po godz. 23:00 W_Z koncentruje się (wzrost prawdopodobieństwa o 5%) w przedziale (1; 5>	Pomimo, że w "dzień" i w „nocy” po godz. 23:00 wraz ze wzrostem wartości G_{kpd} wyraźnie zaznacza się odpowiednio wzrost i spadek zagrożenia wypadkowego, to wpływ tej zmiennej na brd nie jest liniowy tak, jak zakłada się w analizach regresyjnych. Tendencja wzrostu zagrożenia wraz ze wzrostem G_{kpd} w nocy w godz. 17:00-23:00 jest zbliżona do zależności liniowej
G_{pd} (gęstość punktów dostępności)	DW	Występuje w modelach predykcji liczby wypadków (LW) w nocy (***) . 20 punktów dostępności na 1 km drogi jest związanych ze wzrostem LW o 17-20%	Wraz ze wzrostem G_{pd} : przy świetle dziennym wartości W_Z koncentrują się (wzrost prawdopodobieństwa o 14%) w przedziale (1; 5>; w nocy w godz. 17:00-23:00 7% odcinków koncentruje się w przedziale (1; 3>, w 8% w przedziale (5; 7> wartości W_Z ; w nocy po godz. 23:00, aż 33% odcinków "przesuwa się" w kierunku małych (mniejszych od 3,0) wartości W_Z	Niewłączenie zmiennej do modeli regresyjnych z okresu "dnia" jest spowodowane koncentracją, wraz ze wzrostem wartości G_{pd} , wskaźnika zagrożenia wokół średnich wartości. Wzrost zagrożenia wypadkowego w nocy wraz ze wzrostem wartości G_{pd} ma charakter nieliniowy i jest związany z okresem 17:00-23:00. Po godz. 23:00 wzrost wartości przedmiotowej zmiennej powoduje znaczny spadek zagrożenia

Tabl. 5.29. Porównanie wyników analiz wpływu najważniejszych zmiennych na brd przy pomocy modeli uogólnionej regresji liniowej i modeli graficznych cd.

zmienna	grupa dróg	modele		dodatkowe wnioski uzyskane przy pomocy metod graficznych
		uogólnionej regresji liniowej	graficzne oparte na sieciach Bayesa	
G_{pp} (gęstość przejść dla pieszych)	DK	Występuje w modelach predykcji liczby wypadków (LW) przy świetle dziennym (*). 2 przejścia dla pieszych na 1 km drogi są związane ze wzrostem LW w "dzień" o 24%	Wraz ze wzrostem G_{pp} : przy świetle dziennym wartości W_Z koncentrują się (wzrost prawdopodobieństwa o 26%) w przedziale (3; 7>; w nocy w godz. 17:00-23:00 10% odcinków "przesuwa się" w kierunku dużych (większych od 5,0) wartości W_Z ; w nocy po godz. 23:00 nie zaobserwowano wpływu przejść dla pieszych na W_Z	W "dzień" wraz ze wzrostem wartości G_{pp} wyraźnie zaznacza się nieliniowy wzrost zagrożenia wypadkowego. Tendencja wzrostu zagrożenia wraz ze wzrostem G_{pp} w nocy w godz. 17:00-23:00 jest zbliżona do zależności liniowej. Niewłączenie zmiennej do modeli regresyjnych z okresu nocy jest spowodowane okresem po godz. 23:00, kiedy część wypadków z pieszymi przenosi się poza przejścia
G_{ppz} (gęstość zwykłych przejść dla pieszych)	DW	Występuje w modelach predykcji liczby wypadków (LW) w nocy na obszarze zabudowanym (***) . 2 zwykle przejścia dla pieszych na 1 km drogi są związane ze wzrostem LW o 34%	Wraz ze wzrostem G_{ppz} : przy świetle dziennym wartości W_Z koncentrują się (wzrost prawdopodobieństwa o 26%) w przedziale (1; 3> aż do wartości $G_{ppz}=3,0$ szt./km, a dla wartości $G_{ppz}>3,0$ szt./km koncentracja wartości W_Z (wzrost prawdopodobieństwa o 28%) następuje w przedziale (3; 5>; w nocy w godz. 17:00-23:00 wysokie wartości wskaźnika zagrożenia W_Z występują w przypadku braku zwykłych przejść dla pieszych oraz dla najwyższych gęstości takich przejść ($G_{ppz}>3,0$ szt./km); w nocy po godz. 23:00, aż 44% odcinków "przesuwa się" w kierunku małych (mniejszych od 3,0) wartości W_Z	Niewłączenie zmiennej do modeli regresyjnych z okresu "dnia" jest spowodowane koncentracją, wraz ze wzrostem wartości G_{ppz} , wskaźnika zagrożenia najpierw wokół małych, a następnie ponownie wokół większych wartości. Wzrost zagrożenia wypadkowego w nocy na obszarze zabudowanym wraz ze wzrostem wartości G_{ppz} jest związany z okresem 17:00-23:00. Po godz. 23:00 wzrost wartości przedmiotowej zmiennej powoduje znaczny spadek zagrożenia
G_{pa} (gęstość przystanków autobusowych)	DK	Występuje w modelach predykcji liczby wypadków (LW) w nocy (**) i przy świetle dziennym . 2 przystanki autobusowe na 1 km drogi są związane ze wzrostem LW o 26% w "dzień" i 19-20% w „nocy”	Wraz ze wzrostem G_{pa} : przy świetle dziennym wartości W_Z koncentrują (wzrost prawdopodobieństwa o 13%) się w przedziale (3; 7>; w nocy w godz. 17:00-23:00 5% odcinków "przesuwa się" w kierunku dużych (większych od 5,0) wartości W_Z ; w nocy po godz. 23:00 W_Z aż do wartości $G_{pa}=3,0$ szt./km koncentruje się (wzrost prawdopodobieństwa o 6%) w przedziale (1; 5>, a dla $G_{pa}>3,0$ szt./km ponownie wzrasta (o 3%) prawdopodobieństwo wystąpienia skrajnych wartości W_Z	W "dzień" i w „nocy” po godz. 23:00 wraz ze wzrostem wartości G_{pa} wyraźnie zaznacza się odpowiednio wzrost i spadek zagrożenia wypadkowego, jednak wpływ tej zmiennej na brd nie jest liniowy. Tendencja wzrostu zagrożenia wraz ze wzrostem G_{pa} w nocy w godz. 17:00-23:00 jest zbliżona do zależności liniowej

Tabl. 5.30. Porównanie wyników analiz wpływu najważniejszych zmiennych na brd przy pomocy modeli uogólnionej regresji liniowej i modeli graficznych cd2.

zmienna	grupa dróg	modele		dodatkové wnioski uzyskane przy pomocy metod graficznych
		uogólnionej regresji liniowej	graficzne oparte na sieciach Bayesa	
G_{przp} (gęstość przeszkód punktowych)	DW	Występuje w modelach predykcji liczby wypadków (LW) w nocy (***) . 5 przeszkód punktowych na 1 km drogi jest związanych ze wzrostem LW o 30%	Wraz ze wzrostem G_{przp} : przy świetle dziennym i w nocy w godz. 17:00-23:00 nie zaobserwowano wyraźnych zmian wartości W_Z ; w nocy po godz. 23:00 11% odcinków "przesuwa się" w kierunku małych (mniejszych od 5,0) wartości W_Z	Wzrost zagrożenia wypadkowego w nocy wraz ze wzrostem wartości G_{przp} zidentyfikowano jedynie w modelach regresyjnych. W modelach graficznych wpływ G_{przp} na brd określono jedynie w okresie nocy po godz. 23:00 i jest on odwrotny do wcześniej zidentyfikowanego wpływu, tzn. wzrost wartości przedmiotowej zmiennej powoduje spadek zagrożenia
Typ przekroju poprzecznego (CH - chodnik, K - krawężnik, PG - pobocze gruntowe, PB - pobocze bitumiczne)	DK	Występuje w modelach predykcji liczby wypadków (LW) w nocy w godz. 17:00-23:00 (**) i przy świetle dziennym (***) . W "dzień" największe zagrożenie wypadkowe jest związane z przekrojami CH lub K i jest większe o 40-49% od zagrożenia na odcinkach PG lub PB . W „nocy” w godz. 17:00-23:00 najmniej bezpieczne są przekroje CH , na których zagrożenie wypadkowe jest większe o 9-11% niż na odcinkach PB lub K i większe o 23% niż na odcinkach PG	Wraz ze zmianą przekroju z CH lub K na PG lub PB : przy świetle dziennym 9-12% odcinków "przesuwa się" w kierunku małych (mniejszych lub równych 3,0) wartości W_Z , a 7-8% w kierunku dużych (większych od 7,0) wartości W_Z ; w nocy w godz. 17:00-23:00 5-7% odcinków "przesuwa się" z większych od 5,0 wartości W_Z do przedziału (3; 5>; w nocy po godz. 23:00 następuje koncentracja (wzrost prawdopodobieństwa odpowiednio o 3 i 3-7%) wartości W_Z w przedziałach <0; 1> i (5; 7>	ogólny spadek zagrożenia wypadkowego przy zmianie przekroju z CH lub K na PG lub PB przy świetle dziennym nie jest jednoznaczny, ponieważ składa się na niego zarówno duży wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia małej wartości wskaźnika zagrożenia, jak i mniejszy wzrost wystąpienia dużej wartości tego wskaźnika. Analogiczny spadek zagrożenia w nocy w godz. 17:00-23:00 został w modelach regresyjnych oszacowany jako mniejszy, lecz jest jednoznaczny. Po godz. 23:00 brak zmiennej "typ przekroju poprzecznego" w modelach regresyjnych jest spowodowany podobnym co do wartości przesunięciem prawdopodobieństwa w kierunku małych i dużych wartości W_Z
Typ przekroju poprzecznego ($CH+K$ - chodnik lub krawężnik, $PG+PB$ - pobocze gruntowe lub bitumiczne)	DW	Występuje w modelach predykcji liczby wypadków (LW) w nocy . Występowanie przekroju CH lub K wiąże się z 30% większą liczbą wypadków w stosunku do przekrojów PG lub PB	Wraz ze zmianą przekroju z CH lub K na PG lub PB : przy świetle dziennym i w nocy w godz. 17:00-23:00 nie zaobserwowano wyraźnych zmian wartości W_Z ; w nocy po godz. 23:00 14% odcinków "przesuwa się" w kierunku dużych (większych od 3,0) wartości W_Z	Spadek zagrożenia wypadkowego w nocy przy zmianie przekroju z CH lub K na PG lub PB zidentyfikowano jedynie w modelach regresyjnych. W modelach graficznych wpływ zmiennej "typ przekroju poprzecznego" na brd określono jedynie w okresie nocy po godz. 23:00 i jest on odwrotny do wcześniej zidentyfikowanego wpływu, tzn. przy zmianie przekroju z CH lub K na PG lub PB zaobserwowano wzrost zagrożenia

6. WPŁYW PORY DOBY NA POŚREDNIE MIARY BEZPIECZEŃSTWA RUCHU DROGOWEGO

Budowa opisanych w rozdz. 5 modeli predykcji wypadków doprowadziła do rozpoznania szeregu determinant zagrożenia brd w warunkach nocnych ograniczeń widoczności. Takie determinanty obejmują jednak w dużej mierze elementy infrastruktury drogowej i tylko niektóre parametry ruchu drogowego. W niniejszym rozdziale, jako uzupełnienie dotychczasowych analiz, podjęta zostanie próba identyfikacji wpływu nocnych ograniczeń widoczności na tzw. pośrednie miary zagrożenia wypadkowego, tj. prędkość i odstęp między pojazdami w potoku ruchu i w ruchu kolumnowym. Badania prędkości i odstępów między pojazdami były już podejmowane przez innych autorów [3,4,24,25,30,31,88,96,100], ale głównym przedmiotem tych badań nie było określenie wpływu nocnych ograniczeń widoczności na miary pośrednie, bądź badania te nie były wystarczająco szczegółowe. Zastosowanie takich miar oparte jest na założeniu, że parametry ruchu drogowego mogą w pośredni sposób wyrażać zmiany zagrożenia brd w różnych warunkach oświetlenia.

Rozpoznanie wpływu nocnych ograniczeń widoczności na pośrednie miary zagrożenia brd nie opiera się jedynie na identyfikacji wartości (np. średnich) tych miar, lecz obejmuje również szereg parametrów statystycznych, m.in. rozkładów wraz z ich parametrami, dystrybuant, kwantyli oraz wskaźników rozproszenia. Częścią analiz miar pośrednich w różnych warunkach widoczności przy uwzględnieniu zróżnicowania cech geometrii i otoczenia dróg, np. typu przekroju poprzecznego, będzie próba pośredniej oceny wpływu infrastruktury drogowej na brd w zmiennych warunkach oświetlenia.

W analizach prędkości i odstępów między pojazdami przyjmuje się m.in. opisane w rozdz. 2.2.4 następujące założenia:

- Wzrost prędkości średniej oraz występowanie większej liczby małych odstępów między pojazdami powodują zwiększenie zagrożenia wypadkowego. Wyniki wybranych badań [3,30,31,88], opisanych w rozdz. 2.3.3, wskazują na wzrost prędkości średniej (V_{sr}) w „nocy” o ok. 2-6 km/h w stosunku do okresu „dnia”. Ocena wpływu wzrostu V_{sr} , na wzrost zagrożenia brd w nocy jest zawarta w rozdz. 6.2;
- Duże wartości miar rozproszenia oraz wskaźników zmienności prędkości świadczą o zróżnicowaniu potoku ruchu i są przyczyną wzrostu zagrożenia brd z uwagi m.in. na częstsze manewry wyprzedzania. Podczas przeglądu literatury nie spotkano się z pracami, poświęconymi wpływowi nocnych ograniczeń widoczności na odstęp między pojazdami. Przypuszcza się jednak, że w nocy może występować tendencja do jazdy z odstępami mniejszymi od bezpiecznych, co powoduje wzrost zagrożenia brd. Takie przypuszczenie zostanie zweryfikowane w rozdz. 6.2.4;
- Większy udział pojazdów jadących w kolumnach może wynikać ze zróżnicowania prędkości w potoku ruchu, ograniczonej możliwości wyprzedzania oraz braku widoczności, co pośrednio wpływa na spadek brd. Wobec spodziewanego wzrostu prędkości oraz wysokiego udziału pojazdów ciężkich w ruchu w nocy, można wysnuć

hipotezę o wzroście zapotrzebowania na wyprzedzanie, co w połączeniu z brakiem widoczności na wyprzedzanie bądź z jej ograniczeniami, powoduje wzrost udziału pojazdów jadących w kolumnach. Weryfikacja takiej hipotezy będzie m.in. przedmiotem rozdz. 6.4.

6.1. Empiryczne badania prędkości i odstępów między pojazdami

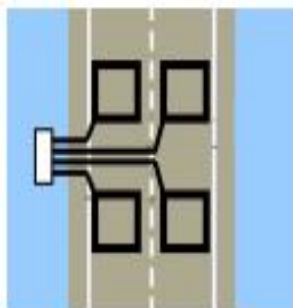
W celu realizacji badań wpływu nocnych ograniczeń widoczności na miary pośrednie, skorzystano z wieloletniej bazy danych zawierającej wyniki empirycznych badań prędkości i odstępów między pojazdami, udostępnionej przez Katedrę Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu Politechniki Krakowskiej i poszerzonej o badania uzupełniające, w których uczestniczył autor niniejszej rozprawy.

6.1.1. Przyjęte metody badań i techniki pomiarowe

Empiryczne badania prędkości i odstępów między pojazdami wykonano przy pomocy automatycznych metod pomiarowych. Jedną z metod polegała na identyfikacji pojazdów przy pomocy detektorów magnetycznych w stałych punktach pomiarowych. Drugą metodą obejmowała automatyczną rejestrację pojazdów przy pomocy detektorów pneumatycznych w punktach pomiarowych o zmiennej lokalizacji.

Metoda pomiarowa wykorzystująca detektory magnetyczne

Stacja pomiarowa z automatyczną rejestracją danych składa się z dwóch części tj. detektora oraz mierników rejestrujących zgłaszające się pojazdy. W tej technice pomiaru stałe detektory pętlowe (pętle indukcyjne) wbudowane w jezdnię współpracują z urządzeniem pomiarowym, które ma dwa niezależne kanały pomiarowe, dlatego może mierzyć i rejestrować dane jednocześnie z dwóch pasów ruchu. Każdy kanał pomiarowy zasilany jest sygnałem analogowym pochodzącym z dwóch pętli indukcyjnych o wymiarach 2x1,5 metra, przesuniętych względem siebie o 2 metry. Pętle są na stałe umieszczone w nawierzchni na głębokości do 10 cm, a w ich pobliżu zlokalizowano skrzynki pomiarowe wyposażone w modem GPRS do przesyłu danych i przystosowane do podłączania urządzeń rejestrujących. Schemat budowy stanowiska w opisywanej metodzie pomiarowej zamieszczono na rys. 6.1.



Rys. 6.1. Schemat budowy stanowiska pomiarowego wykorzystującego detektory magnetyczne.

Magnetyczna technika pomiaru z wykorzystaniem urządzenia rejestrującego pozwala na pomiar i rejestrację parametrów ruchu, które są następnie przenoszone do komputera w formie pliku tekstowego, którego fragment pokazano na rys. 6.2. W kolejnych kolumnach takiego pliku rejestrowane były: nr poligonu, nr pasa ruchu, data pomiaru, czas zgłoszenia

pojazdu, prędkość pojazdu [km/h] i „elektryczna” długość pojazdu [m], która stanowiła podstawę rodzajowej klasyfikacji pojazdów.

Pomiary z użyciem metody magnetycznej przeprowadzono łącznie na 32 poligonach w 27 seriach. 16 spośród ww. poligonów znajduje się odcinkach dróg krajowych poza terenem zabudowanym.

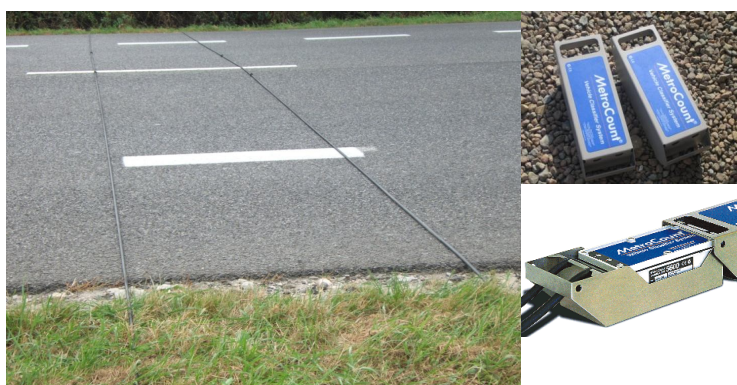
17	2	27.08.02	18:56:59:4	62	4.2
17	1	27.08.02	18:56:59:6	54	5.0
17	2	27.08.02	18:57:02:3	60	3.8
17	2	27.08.02	18:57:29:2	50	4.1
17	1	27.08.02	18:57:29:8	85	6.5
17	2	27.08.02	18:57:32:6	108	4.3
17	1	27.08.02	18:57:32:7	102	4.7
17	2	27.08.02	18:57:34:8	90	5.1

Rys. 6.2. Fragment przykładowego pliku tekstowego z rejestratora magnetycznego.

Przyjęto maksymalną „elektryczną” długość pojazdu osobowego 6,1 m. Wszystkie pojazdy o długości „elektrycznej” większej od 6,1 m klasyfikowano jako ciężarowe.

Metoda pomiarowa z wykorzystaniem detektorów pneumatycznych

W metodzie pomiaru z wykorzystaniem detektorów pneumatycznych stosuje się urządzenie pomiarowe reagujące na zmianę ciśnienia powodowaną naciskiem kół pojazdów, przejeżdżających przez dwa gumowe węże rozłożone w ustalonym rozstawie, prostopadłe do osi jezdni (rys. 6.3). W celu weryfikacji poprawności danych dostarczanych przez rejestratory ustalono odległość między węzami równą 1,0 m. Prędkości i rozstaw osi pojazdów obliczane są na podstawie różnicy czasu między momentami najazdu kół na węże. Niewielki przekrój takich gumowych przewodów, przy znacznej prędkości pojazdu pozwala na dużą precyzję pomiaru. Dla zapewnienia stabilnych warunków pomiaru, detektory pneumatyczne montuje się do nawierzchni za pomocą specjalnych uchwytów oraz stalowych gwoździ. Podczas badań wykorzystano urządzenia pomiarowe marki „MetroCount” (rys. 6.3).



Rys. 6.3. Przykład automatycznej stacji do pneumatycznych pomiarów ruchu MetroCount.

Dane pomiarowe odczytywane z rejestratorów MetroCount i dostarczane do komputera w formie pliku tekstowego zawierają podobny zestaw danych, jak w przypadku pomiarów przy użyciu rejestratorów magnetycznych (rys. 6.2). W miejsce długości elektrycznej rejestrowano rozstaw osi pojazdu (przyjęto maksymalny rozstaw osi pojazdu osobowego 3,1 m). Dodatkową informację stanowi odstęp między pojazdami (a dokładniej pomiędzy tylną osią pojazdu poprzedzającego i przednią osią pojazdu następującego), który w przypadku pliku z pomiaru „magnetycznego” musi być dodatkowo obliczony z różnicy czasów zgłoszenia pojazdów.

6.1.2. Agregacja danych w przedziałach czasowych

Przygotowanie szczegółowej bazy danych do przedmiotowych analiz, wymagające przetworzenia istniejących plików tekstowych, składało się z następujących etapów:

- 1) Konwersja plików tekstowych na bazodanowe (format programu Microsoft Access);
- 2) Wyodrębnienie w bazie danych 4 odrębnych plików („dzień” na pasie nr 1, „dzień” na pasie nr 2, „noc” na pasie nr 1, „noc” na pasie nr 2), które zapisywano zarówno w formacie tekstowym, jak i tabelarycznym;
- 3) Wykonanie (dla każdego z 4 wyodrębnionych w poprzednim punkcie plików) szeregu obliczeń przy pomocy makr w programie Microsoft Excel w celu uzyskania zagregowanego zbioru danych o parametrach ruchu na danym poligonie.

Agregacja w przedziałach czasowych dotyczyła następującego zbioru danych:

- Natężenie ruchu Q [P/h/pas],
- Prędkość średnia V_{sr} [km/h];
- Udział odstępów niebezpiecznych [-], tj. o wartości mniejszej od odstępów krytycznych, obliczonych dla każdej pary pojazdów wg wzoru (2.26), wyznaczony dla 5 różnych czasów reakcji ($t_r=0,8$ s; 1,0 s; 1,2 s; 1,5 s; 2,0 s) kierowcy pojazdu jadącego z tyłu;
- Udział par „osobowyciązarowy” i „ciężarowyciązarowy” wśród tych par pojazdów, między którymi odstęp zakwalifikowano jako niebezpieczny [-]. Wskazane pary są traktowane ze szczególnym zainteresowaniem z uwagi na niskie wartości opóźnienia przy hamowaniu pojazdu ciężkiego, jadącego z tyłu w danej parze pojazdów, co stwarza większe zagrożenie powstania wypadku w wyniku zderzenia tylnego;
- Udział pojazdów ciężkich U_c [-];
- Udział pojazdów jadących w kolumnach [-];
- Liczba kolumn [-];
- Średnia, minimalna i maksymalna liczebność kolumny [-];
- Udział par pojazdów: „osobowyosobowy”, „ciężarowy ciężarowy”, „ciężarowy-osobowy” i „osobowyciązarowy” wśród odstępów niebezpiecznych w kolumnach [-];
- Udział odstępów niebezpiecznych w kolumnach [-].

Przykład przedmiotowego zbioru danych pokazano w tabl. Z6.1 w załączniku nr 3. Wszystkie dane dotyczące kolumn pojazdów obejmowały oddzielnie kolumny o minimalnej liczebności 2 i 3 pojazdów.

Uwzględniając uwarunkowania techniczne oraz zmienność natężenia ruchu w czasie założono, że agregacja danych o parametrach ruchu zostanie przeprowadzona w przedziałach 30-minutowych. Kolejne założenia dotyczyły interpretacji początku i końca okresu „dnia” i „nocy”. Trudność takiej interpretacji polega na różnej, w zależności od pory roku i warunków atmosferycznych, długości trwania okresów przejściowych pomiędzy „dniem” i „nocą”. Czas trwania całkowitego oświetlenia słonecznego według [45] jest dłuższy od okresu „dnia” (od wschodu do zachodu słońca). W czerwcu i lipcu różnica pomiędzy tymi dwiema wartościami była minimalna i wyniosła 42-51 minut, a w listopadzie i grudniu była największa i wyniosła 79-88 minut. Różnica ta obejmuje część świtu i zmierzchu. Zakładając, że we wskazanej różnicy znajduje się połowa długości świtu i połowa zmierzchu, można

przyjąć, że okres „nocy” rozpoczyna się najpóźniej 45 minut po zachodzie słońca i kończy się najwcześniej 45 minut przed wschodem słońca. Przyjęto również, że okres „dnia” rozpoczyna się nie wcześniej niż 30 minut po wschodzie słońca, a kończy najpóźniej 30 minut przed zachodem słońca. W takim okresie, jak wskazują badania własne autora przy pomocy luksomierza, natężenie oświetlenia jest maksymalne lub zbliżone do maksymalnego, wynoszącego 1000 lx. W celu uproszczenia i automatyzacji obliczeń, jako granice przedziałów czasowych, w których dokonywana jest agregacja danych, przyjęto „pełne” godziny, tj. zaokrąglone do 30 minut. Przykłady takich przedziałów czasowych znajdują się również w tabl. Z6.1.

Poza danymi zagregowanymi zapisywano również w tych samych przedziałach czasowych wszystkie wartości prędkości i odstępów między pojazdami w potoku ruchu. Taki zapis umożliwił dalszą analizę statystyczną przedmiotowych parametrów ruchu.

6.1.3. Charakterystyka baz danych

Łącznie pozyskano dane z 404 odcinków dwupasowych dwukierunkowych zamiejskich dróg krajowych i przejść drogowych przez małe miejscowości. 24-godzinne pomiary wykonywano w 27 sesjach pomiarowych co kilka miesięcy w latach 2002-2008 na suchej nawierzchni przy dobrych warunkach atmosferycznych. Przekroje pomiarowe zlokalizowane były na odcinkach prostych o niewielkim pochyleniu niwelety, poza wpływem dużych generatorów ruchu, skrzyżowań, przejść dla pieszych i przystanków autobusowych oraz bez dodatkowego nadzoru prędkości. Na 372 odcinkach pomiar przeprowadzano przy pomocy rejestratorów pneumatycznych o zmiennej lokalizacji. Większość z tych poligonów podlegała pomiarom przynajmniej w dwóch sesjach pomiarowych. Na pozostałych 32 poligonach wykonywano pomiary w każdej sesji pomiarowej przy pomocy rejestratorów magnetycznych. Łącznie zgromadzono rejestr danych ruchowych dotyczących ok. 12 milionów pojazdów. Wśród poligonów wyodrębnionych do badań empirycznych znalazły się punkty pomiarowe zróżnicowane ze względu na:

- limit prędkości,
- występowanie zabudowy,
- typ przekroju poprzecznego.

W analizach danych ruchowych z przedmiotowych punktów pomiarowych wyróżniono następujące typy przekroju poprzecznego:

- Z1 – 1-jezdniowy 2-pasowy o szerokości jezdni ok. 7m z poboczami bitumicznymi,
- Z2 – 1-jezdniowy 2-pasowy o szerokości jezdni ok. 7m z poboczami gruntowymi,
- Z3 – 1-jezdniowy 2-pasowy o szerokości jezdni ok. 6m z poboczami gruntowymi,
- M3 – 1-jezdniowy 2-pasowy o szerokości jezdni ok. 8-9 m z chodnikami po obu stronach jezdni,
- Z2D2 – 1-jezdniowy 2-pasowy o szerokości ok. 7m z poboczami gruntowymi i drzewami w koronie drogi.

Pozyskana z ww. poligonów baza danych posłużyła m.in. do:

- oceny statystycznej zmian prędkości, odstępów między pojazdami i parametrów ruchu kolumnowego w różnych warunkach oświetlenia (rozdziały 6.2.1, 6.2.2, 6.3.1, 6.3.2, 6.4.1 i 6.4.2),
- rozwoju modeli estymacji prędkości w różnych warunkach oświetlenia z uwzględnieniem zmiennych skalarnych i zmiennych jakościowych opisu drogi i jej otoczenia (rozd. 6.2.3),
- rozwoju modeli opisujących odstęp między pojazdami przy zmiennych warunkach oświetlenia, w tym identyfikacji wpływu natężenia ruchu, struktury rodzajowej, prędkości i typu przekroju poprzecznego na udział niebezpiecznych odstępów między pojazdami, udział pojazdów poruszających się w kolumnach i parametry ruchu kolumnowego (rozd. 6.3.3, 6.4.2 i 6.4.3);
- próby i możliwości oceny wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd przy pomocy miar pośrednich, jakimi są: prędkość pojazdów i odstęp niebezpieczny między pojazdami (rozd. 6.2.4 i 6.3.4).

6.2. Wpływ warunków oświetlenia na prędkość pojazdów

Część z wyników poniżej opisywanych badań wpływu nocnych ograniczeń widoczności na prędkość została zaczerpnięta z niepublikowanych prac dyplomowych wykonanych w Katedrze Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu Politechniki Krakowskiej [69,81].

Na podstawie przedstawionej w rozdz. 2.3.3 syntezy dotychczasowych badań [4,29,30,31,88] wpływu nocnych ograniczeń widoczności na prędkość stwierdzono, że w okresie nocy średnia prędkość wzrasta o 3-11 km/h. Największy wzrost prędkości występuje na drogach o niskich limitach prędkości, m.in. na odcinkach przebiegających przez obszar zabudowy. Dodatkowym czynnikiem potęgującym wzrost prędkości w nocy (o 2-3%) jest obecność sztucznego oświetlenia [3,24,25], którego występowanie może być skorelowane z obecnością zabudowy i opisanymi powyżej niskimi limitami prędkości. Badania przeprowadzone na polskich drogach [30,31,88] wskazały również na spadek średniej prędkości w nocy o 2,0-3,3 km/h na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h (poza obszarem zabudowanym). Jednym z pośrednich celów niniejszego rozdziału pracy będzie weryfikacja wyników analiz prędkości w odniesieniu do wcześniejszych badań.

Ocena wpływu warunków oświetlenia na prędkość pojazdów została zrealizowana przy pomocy standardowych [30,31,88] metod obejmujących:

- analizy statystyczne – porównania podstawowych statystyk prędkości (tj. prędkości średniej, kwantyli, odchyłeń standardowych, wskaźników zmienności) w różnych okresach doby tj. „dnia”, „nocy”, zmierzchu i świtu z uwzględnieniem wpływu na te parametry charakterystyk drogi oraz obecności sztucznego oświetlenia,
- porównania rozkładów (w tym kurtozy i współczynnika skośności) i dystrybuant prędkości w różnych warunkach oświetlenia,
- modele regresyjne, służące wyznaczeniu i kwantyfikacji czynników determinujących wpływ otoczenia drogi i jej cech geometrycznych na prędkość pojazdów.

Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono w programie STATISTICA PL 7.1 [49,82].

Ze względu na możliwy wpływ natężenia ruchu na prędkość pojazdów, wszystkie analizy były wykonywane w odniesieniu do ruchu swobodnego. Za pojazdy jadące w ruchu swobodnym przyjęto takie, które poruszały się w odstępie większym niż 6s za pojazdem poprzedzającym.

6.2.1. Porównania podstawowych statystyk i rozkładów prędkości w różnych porach doby

W celu przeprowadzenia analiz podstawowych statystyk prędkości w różnych porach doby, ze stworzonej bazy wyselekcjonowano pomiary obejmujące 176 poligonów badawczych, w tym 106 zlokalizowanych na przejściach drogowych przez miejscowości (limit prędkości 50/60 km/h) i 70 zamiejskich odcinków dróg (limit prędkości 90 km/h dla pojazdów lekkich i 70 km/h dla pojazdów ciężkich). Uwzględniono jedynie odcinki o ogólnym limicie prędkości, ponieważ stanowią one jednorodną próbę, pozwalającą na odseparowanie dodatkowych wpływów związanych z rozwiązaniem geometrycznym drogi. Na wszystkich wyodrębnionych poligonach pomiary były wykonywane przy pomocy rejestratorów pneumatycznych. Jako „lekki” przyjmowano pojazd, którego rozstaw osi nie przekraczał 3,1 m. W przeciwnym wypadku pojazd traktowano jako „ciężki”. Wśród przedmiotowych poligonów znalazły się odcinki o 5 różnych typach przekroju poprzecznego (M3, Z1, Z2, Z3 i Z2D2), opisanych w rozdz. 6.1.3.

Jako miarę do porównań prędkości w różnych okresach doby przyjęto relatywny wskaźnik Z_V^i zmienności parametru prędkości (np. prędkości średniej, kwantyla prędkości, odchylenia standardowego, współczynnika zmienności prędkości) względem tego samego parametru odpowiadającemu okresowi „dnia”, obliczany ze wzoru:

$$Z_V^i = (V_j^i - V_j^d) / V_j^d \quad (6.1)$$

gdzie:

- V_j^i – średnia wartość parametru prędkości j w i -tym okresie doby [km/h], $i = s$ (świt), d (dzień), z (zmerch), n (noc);
- V_j^d – średnia wartość parametru prędkości j w okresie „dnia” [km/h].

Uproszczoną ocenę cech i zgodności empirycznych rozkładów prędkości z teoretycznym rozkładem normalnym zrealizowano obliczając wartości kurtozy K w programie STATISTICA PL 7.1 [82], zgodnie ze wzorem [49]:

$$K = \frac{M_4}{\sigma^4} - 3 \quad (6.2)$$

gdzie:

- M_i – i -ty moment centralny;
- σ – odchylenie standardowe.

Wartość kurtozy równa 0 odpowiada przypadkowi zgodności rozkładu empirycznego z teoretycznym rozkładem normalnym. Wartości kurtozy większe od 0 świadczą o większej wysmukłości empirycznego rozkładu względem teoretycznego rozkładu normalnego

(mniejsza dyspersja prędkości), a mniejsze o spłaszczeniu rozkładu empirycznego, co odpowiada wzrostowi dyspersji prędkości.

Do oceny asymetrii rozkładu prędkości pojazdów w ruchu swobodnym zastosowano współczynnik skośności A [49]:

$$A = \frac{M_3}{\sigma^3} \quad (6.3)$$

Występujące we wzorze (6.3) oznaczenia są takie same, jak we wzorze (6.2).

Współczynnik A jest miarą charakteryzującą stopień asymetrii rozkładu wokół jego średniej. Współczynnik skośności przyjmuje wartość 0 dla rozkładu symetrycznego, wartość dodatnią dla prawostronnej asymetrii (wydłużone „prawe ramię” rozkładu), a ujemną dla asymetrii lewostronnej (wydłużone „lewe ramię” rozkładu).

Odcinki jednorodne przechodzące przez małe miejscowości z limitem prędkości 50/60 km/h

W tabl. 6.1 zestawiono wartości podstawowych statystyk prędkości w różnych porach doby na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości, wyróżniając trzy typy przekroju poprzecznego (M3, Z1 i Z2). Ze względu na taki sam limit prędkości pojazdów ciężkich i lekkich (50/60 km/h), w analizach nie wydzielono osobnych grup pojazdów. Wartości podstawowych statystyk prędkości, zestawione w tabl. 6.1, są średnimi ze wszystkich poligonów pomiarowych uwzględnionych w badaniach. W tabl. 6.2 przedstawiono wartości relatywnej zmiany parametrów prędkości przy różnych warunkach oświetlenia względem wartości średniej z okresu „dnia”.

Tabl. 6.1. Zestawienie podstawowych statystyk prędkości pojazdów w ruchu swobodnym w różnych okresach doby na odcinkach o limicie prędkości 50/60 km/h.

Okres doby	V_{sr}	V_{15}	V_{50}	V_{85}	σ	WZV	K	A
Przekrój M3								
świt	71,79	55,5	71,1	88,3	17,21	0,240	1,203	0,297
dzień	67,22	51,1	66,1	83,9	17,58	0,262	1,379	0,434
zmierzch	68,13	52,5	66,3	84,6	17,27	0,254	1,850	0,652
noc	71,05	55,5	69,7	86,7	16,57	0,233	1,697	0,608
Przekrój Z1								
świt	82,90	65,9	81,1	99,7	18,25	0,220	1,405	0,382
dzień	79,10	62,7	77,8	96,3	18,08	0,229	1,582	0,400
zmierzch	80,35	64,4	78,9	97,3	17,38	0,216	1,460	0,521
noc	81,78	66,2	80,0	97,9	16,99	0,208	1,886	0,670
Przekrój Z2								
świt	72,45	56,4	72,2	88,5	17,06	0,235	0,939	0,102
dzień	70,72	55,4	70,1	86,6	16,73	0,237	1,251	0,170
zmierzch	69,37	53,8	68,3	85,5	16,37	0,236	1,358	0,309
noc	71,75	57,0	70,9	86,3	15,74	0,219	1,516	0,397

Tabl. 6.2. Zestawienie wartości relatywnego wskaźnika Z_V^i zmienności podstawowych statystyk prędkości w różnych okresach doby względem okresu „dnia” na odcinkach o limicie prędkości 50/60 km/h.

Okres doby	V_{sr}	V_{15}	V_{50}	V_{85}	σ	WZV
Przekrój M3						
świt	0,0680	0,0861	0,0756	0,0524	-0,0210	-0,0840
zmierzch	0,0135	0,0274	0,0030	0,0088	-0,0176	-0,0305
noc	0,0570	0,0861	0,0545	0,0334	-0,0575	-0,1107
Przekrój Z1						
świt	0,0480	0,0510	0,0424	0,0353	0,0094	-0,0393
zmierzch	0,0158	0,0271	0,0141	0,0105	-0,0387	-0,0568
noc	0,0339	0,0558	0,0283	0,0166	-0,0603	-0,0917
Przekrój Z2						
świt	0,0245	0,0181	0,0300	0,0219	0,0197	-0,0084
zmierzch	-0,0191	-0,0289	-0,0257	-0,0127	-0,0215	-0,0042
noc	0,0146	0,0289	0,0114	-0,0035	-0,0592	-0,0759

Występujące w tabl. 6.1 i tabl. 6.2 symbole oznaczają:

- V_{sr} – prędkość średnia [km/h],
 V_{15}, V_{50}, V_{85} – kwantyle prędkości [km/h],
 σ – odchylenie standardowe [km/h],
 WZV – współczynnik zmienności prędkości [-], $WZV = \sigma/V_{sr}$,
 K – współczynnik kurtozy [-],
 A – współczynnik skośności (asymetrii) [-].

Statystyczną istotność różnic prędkości średnich w poszczególnych porach doby oceniono przy pomocy testu parametrycznego dla dwóch średnich w programie STATISTICA PL 7.1 [49,82]. W celu przeprowadzenia testu założono, że rozkład prędkości w badanych populacjach jest rozkładem normalnym. Test polega na wyznaczeniu wartości p , oznaczających prawdopodobieństwo, że wynik badania pochodzący z próby jest przypadkowy. W rzeczywistości p jest graniczną wartością poziomu istotności α_{gran} , dla której $u_{kryt} = |u|$. Wobec tego, zakładając maksymalny akceptowany poziom istotności $\alpha = 0,05$ możemy stwierdzić, że dla każdego $p \leq 0,05$ różnica porównywanych wartości średnich jest statystycznie istotna [49].

Ocena istotności statystycznej różnic średniej prędkości w różnych porach doby przy pomocy wartości p doprowadziła do wniosku, że dla wszystkich analizowanych przekrojów poprzecznych przedmiotowe różnice prędkości są statystycznie istotne.

Porównania podstawowych charakterystyk prędkości na odcinkach przejść drogowych przez małe miejscowości doprowadziły do następujących wniosków:

- Prędkości średnie w okresach świtu, zmierzchu i nocy są większe niż przy świetle dziennym, z wyjątkiem przekroju Z2 w porze zmierzchu. Wzrost prędkości średniej w warunkach ograniczonego oświetlenia w stosunku do okresu światła dziennego jest zgodny z wynikami badań [4,29,30,31,88], których syntezę przedstawiono w rozdz. 2.3.3;
- Rejestrowane prędkości są we wszystkich porach doby znacznie większe od obowiązującego ogólnego limitu prędkości;

- Wzrost średnich prędkości w warunkach ograniczonej widoczności w „nocy”, wynoszący nawet 6,8% względem „dnia”, może być spowodowany skłonnością kierujących pojazdami do podejmowania większego ryzyka w okresie mniejszego nasilenia ruchu (w tym lokalnego) oraz mniejszą obawą o nadzór prędkości;
- Największe rejestrowane wartości prędkości w próbie wszystkich typów przekroju poprzecznego występują o świcie, co może mieć związek z poprawiającymi się warunkami widoczności po okresie nocy;
- Niezależnie od typu przekroju poprzecznego na wszystkich odcinkach zaobserwowano spadek wartości wskaźnika zmienności prędkości WZV wraz z pogorszeniem się warunków oświetlenia. Świadczy to o bardziej jednorodnym ruchu i mniejszym zapotrzebowaniu na wyprzedzanie w okresach ograniczonego oświetlenia;
- Analiza zmienności prędkości w poszczególnych porach doby pokazuje, że pomimo takiego samego ograniczenia prędkości w analizowanym zbiorze poligonów, średnia prędkość wszystkich pojazdów na poligonach typu Z1 (z poboczami bitumicznymi) jest we wszystkich badanych okresach doby większa niż wartości obliczone w zbiorach danych z przekrojów M3 (z chodnikami) i Z2 (z poboczami gruntowymi);
- Rozkłady prędkości w przypadku każdego z analizowanych typów przekroju poprzecznego i w każdej porze doby, wykazują większą wysmukłość (dodatnia wartość kurtozy K) niż teoretyczny rozkład normalny. Ponadto analizowane rozkłady prędkości wykazują skośność dodatnią. Wartości mediany prędkości V_{50} są mniejsze od prędkości średniej V_{sr} , co jest potwierdzeniem asymetrii prawostronnej.

Odcinki jednorodne na drogach zamiejskich z limitem prędkości 90 km/h

Podstawowe statystyki prędkości na zamiejskich odcinkach dróg, z wyróżnieniem 4 typów przekroju poprzecznego, przedstawiono w tabl. 6.3. Tablica 6.4 zawiera natomiast wartości relatywnej zmiany parametrów prędkości przy różnych warunkach oświetlenia względem wartości średniej z okresu „dnia”. W obydwu tablicach uwzględniono razem wszystkie grupy rodzajowe pojazdów. Ze względu na różny limit prędkości w grupie pojazdów ciężkich (70 km/h) i lekkich (90 km/h), prędkości średnie oraz odchylenia standardowe tych grup rozróżniono w tabl. 6.5.

W tabl. Z6.2 w załączniku nr 3 przedstawiono ocenę statystycznej istotności różnic średniej prędkości pojazdów z podziałem na pojazdy lekkie i ciężkie w różnych porach doby przy pomocy wartości p [49,82]. Odcinki o limicie prędkości 90 km/h charakteryzują się mniejszą liczbą statystycznie istotnych różnic prędkości średnich niż odcinki o limicie prędkości 50/60 km/h, co może świadczyć o mniejszym wpływie warunków oświetlenia na dobową zmienność prędkości średnich na drogach zamiejskich.

Istotną statystycznie różnicę prędkości pomiędzy okresami „dnia” i „nocy” stwierdzono:

- Dla wszystkich pojazdów na odcinkach o przekroju Z1 i Z2,
- Dla pojazdów ciężkich na odcinkach o przekroju Z1 i Z3,
- Dla pojazdów lekkich na odcinkach o przekroju Z2 i Z2D2.

Tabl. 6.3. Zestawienie podstawowych statystyk prędkości pojazdów w ruchu swobodnym w różnych okresach doby na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h (bez podziału na grupy rodzajowe).

Okres doby	V_{sr}	V_{15}	V_{50}	V_{85}	σ	WZV	K	A
Przekroje Z1								
świt	94,05	75,6	90,5	115,3	21,42	0,228	2,409	0,876
dzień	93,32	74,4	89,9	115,3	22,74	0,244	4,321	0,849
zmierzch	92,78	74,4	89,8	114,6	21,48	0,232	1,296	0,461
noc	90,67	73,8	87,5	110,0	20,06	0,221	2,232	0,833
Przekroje Z2								
świt	86,10	69,5	83,7	104,4	17,10	0,199	1,266	0,439
dzień	86,34	68,9	84,5	105,5	19,27	0,223	1,409	0,330
zmierzch	86,43	69,4	84,2	104,8	18,55	0,215	1,376	0,569
noc	84,31	68,6	81,9	101,3	17,30	0,205	1,835	0,763
Przekroje Z3								
świt	84,91	67,2	82,5	102,8	17,39	0,205	0,917	0,674
dzień	84,73	66,6	82,8	104,8	20,01	0,236	1,278	0,258
zmierzch	88,65	69,3	86,7	110,7	20,46	0,231	0,879	0,329
noc	85,49	68,3	83,4	103,4	18,74	0,219	1,523	0,510
Przekroje Z2D2								
świt	85,99	67,8	85,4	103,7	19,28	0,224	1,284	0,275
dzień	84,83	67,5	83,4	103,2	18,86	0,222	1,256	0,211
zmierzch	85,84	68,8	84,2	104,1	18,41	0,214	1,483	0,318
noc	84,48	67,7	82,4	101,9	18,10	0,214	1,372	0,537

Tabl. 6.4. Zestawienie wartości względnego wskaźnika Z_V^i zmienności podstawowych statystyk prędkości w różnych okresach doby względem okresu „dnia” na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h.

Okres doby	V_{sr}	V_{15}	V_{50}	V_{85}	σ	WZV
Przekroje Z1						
świt	0,0078	0,0161	0,0067	-0,0003	-0,0580	-0,0656
zmierzch	-0,0058	0,0000	-0,0011	-0,0061	-0,0554	-0,0492
noc	-0,0284	-0,0081	-0,0267	-0,0460	-0,1179	-0,0943
Przekroje Z2						
świt	-0,0028	0,0087	-0,0095	-0,0108	-0,1126	-0,1076
zmierzch	0,0010	0,0073	-0,0036	-0,0066	-0,0374	-0,0359
noc	-0,0235	-0,0044	-0,0308	-0,0398	-0,1022	-0,0807
Przekroje Z3						
świt	0,0021	0,0090	-0,0036	-0,0195	-0,1309	-0,1314
zmierzch	0,0463	0,0405	0,0471	0,0563	0,0225	-0,0212
noc	0,0090	0,0255	0,0072	-0,0130	-0,0635	-0,0720
Przekroje Z2D2						
świt	0,0137	0,0044	0,0240	0,0047	0,0223	0,0090
zmierzch	0,0119	0,0191	0,0096	0,0087	-0,0239	-0,0360
noc	-0,0041	0,0030	-0,0120	-0,0126	-0,0403	-0,0360

Tabl. 6.5. Zestawienie prędkości średnich oraz odchyłeń standardowych prędkości w ruchu swobodnym w różnych okresach doby na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h.

Typ przekroju	Okres doby	dzień			zmerch			noc			świt		
		pojazdy											
	parametr	wszystkie	ciężkie	lekkie	wszystkie	ciężkie	lekkie	wszystkie	ciężkie	lekkie	wszystkie	ciężkie	lekkie
Z1	V_{sr}	93,3	88,1	97,2	92,8	85,9	97,0	90,7	85,6	96,7	94,0	89,1	99,0
	σ	22,74	22,08	22,94	21,48	17,21	22,81	20,06	17,78	21,27	21,42	19,88	22,23
Z2	V_{sr}	86,3	78,6	89,6	86,4	79,0	89,6	84,3	78,7	89,0	86,1	80,5	89,9
	σ	17,27	16,11	19,68	18,55	14,87	19,10	17,30	13,72	18,67	17,99	14,94	18,96
Z3	V_{sr}	84,7	75,2	88,6	88,7	80,0	91,4	85,5	78,1	89,4	84,9	78,7	88,4
	σ	20,01	17,35	19,79	20,46	16,18	21,01	18,74	14,27	19,62	17,39	12,32	18,73
Z2D2	V_{sr}	84,8	76,5	87,2	85,8	77,6	88,6	84,5	77,9	89,2	86,0	78,8	90,0
	σ	18,56	16,76	18,58	18,41	15,25	18,60	18,10	15,32	18,84	19,28	18,81	18,99

Oznaczenia występujące w tabl. 6.3, tabl. 6.4 i tabl. 6.5 są takie same, jak w tabl. 6.1 i tabl. 6.2.

Na podstawie porównań podstawowych statystyk prędkości na zamiejskich odcinkach dróg sformułowano następujące wnioski:

- Prędkości średnie wszystkich pojazdów w okresie nocy są mniejsze niż przy świetle dziennym na odcinkach o przekroju Z1 i Z2;
- Prędkości średnie pojazdów ciężkich w okresie nocy są mniejsze niż przy świetle dziennym na odcinkach o przekroju Z1, a większe na odcinkach o przekroju Z3;
- Prędkości średnie pojazdów lekkich w okresie nocy są mniejsze niż przy świetle dziennym na odcinkach o przekroju Z2, a większe na odcinkach o przekroju Z2D2;
- Wykazany na większości analizowanych odcinków spadek prędkości średniej w warunkach ograniczonego oświetlenia w stosunku do okresu światła dziennego jest zgodny z wynikami badań [29,30,31,88], których syntezę przedstawiono w rozdz. 2.3.3. Spadek prędkości na drogach zamiejskich w nocy można wyjaśnić reakcją kierujących na pogorszone warunki widoczności oraz dobowym rytmem sprawności psychofizycznej kierujących i ich zmęczeniem;
- Rejestrowane prędkości średnie są zbliżone do obowiązującego limitu prędkości 90 km/h we wszystkich porach doby;
- Niezależnie od typu przekroju poprzecznego, w „dzień” zaobserwowano największe spośród rozpatrywanych okresów doby wartości wskaźnika zmienności prędkości WZV , co wskazuje, że ruch przy ograniczonej widoczności jest bardziej jednorodny;
- Wszystkie analizowane rozkłady prędkości wykazują większą wysmukłość (wartość kurtozy większa od 0) niż teoretyczny rozkład normalny oraz skośność dodatnią. Wartości mediany prędkości V_{50} są mniejsze od prędkości średniej V_{sr} , co jest potwierdzeniem asymetrii prawostronnej;
- Wartości kwantyli prędkości V_{85} ruchu swobodnego wszystkich pojazdów są potwierdzeniem spadku prędkości w nocy względem pozostałych okresów doby. Taki spadek może być związany zarówno z ograniczeniem widoczności, jak i z mniejszą zmiennością prędkości, spowodowaną przez spadek zapotrzebowania na wyprzedzanie. Jedną z przyczyn mniejszej prędkości może być również zmęczenie kierowców. Spadek wartości kwantyla V_{85} w ruchu swobodnym w „nocy” względem okresu „dnia” wynosi od 1,3% do 4,6% w zależności od typu przekroju poprzecznego;

- Podobnie jak w przypadku przejść drogowych przez miejscowości, również na odcinkach z limitem 90 km/h, wartości prędkości średniej na odcinkach o przekrojach Z1 są większe niż na pozostałych odcinkach. Przyczyną tych różnic jest występowanie na odcinkach o przekroju Z1 utwardzonego pobocza, które poprawia komfort jazdy i zwiększa poczucie bezpieczeństwa kierowców.

Na odcinkach o limicie prędkości 50/60 km/h zaobserwowano większy wpływ warunków oświetlenia na prędkość średnią niż na odcinkach o limicie 90 km/h. Przyczyną takiego zjawiska może być zagospodarowanie otoczenia drogi i ruch lokalny występujący na odcinkach przejść przez miejscowości, wzrost limitu prędkości w godzinach 23:00-5:00, mniejsza obawa o nadzór prędkości, skłonność kierujących pojazdami do podejmowania większego ryzyka i częstsze występowanie sztucznego oświetlenia w obszarze zabudowanym.

6.2.2. Wpływ sztucznego oświetlenia drogowego na zmienność prędkości

Jednym z czynników, który w istotny sposób wpływa na prędkość pojazdów w warunkach nocnych ograniczeń widoczności jest sztuczne oświetlenie drogowe (rozd. 2.3.3). Badania Assuma, Elvika i Vaa [3,24,25] wskazały, że występowanie sztucznego oświetlenia wpływa na 2-3% wzrost średniej prędkości pojazdów w „nocy”. Przedmiotem niniejszego rozdziału pracy będzie identyfikacja wpływu sztucznego oświetlenia na prędkość na polskich drogach i odniesienie wyników analiz do ww. badań.

Ze względu na konieczność przeprowadzenia dodatkowej inwentaryzacji badania ograniczono do 79 odcinków dróg krajowych. Na przedmiotowych odcinkach wykonano pomiar ruchu przy pomocy rejestratorów pneumatycznych oraz pomiar natężenia oświetlenia przy pomocy luksomierza. Standardowy pomiar trwał ok. 6 godzin od godzin popołudniowych (ok. 16:30-17:00) do późnych godzin wieczornych (ok. 22:30-23:00). W badaniach uwzględniono odcinki o ogólnych limitach prędkości 50 km/h w obszarze zabudowanym i 90 km/h poza zabudową. Podział odcinków ze względu na występowanie sztucznego oświetlenia uwzględniał przypadki: braku oświetlenia, oświetlenia częściowego i oświetlenia pełnego. Jako częściowe interpretowano oświetlenie o natężeniu od 8 do 12 Lux, które uzyskuje się przy pomocy opraw oświetleniowych umieszczonych na słupach zasilania elektrycznego po jednej stronie drogi. Pełne oświetlenie uliczne, instalowane na masztach oświetleniowych, zapewnia natomiast światło o natężeniu od 15 do 30 Lux.

Odcinki jednorodne przechodzące przez małe miejscowości z limitem prędkości 50 km/h

W tabl. 6.6 zestawiono wartości podstawowych statystyk prędkości na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości, wyróżniając ruch swobodny pojazdów lekkich i ciężkich. Wartości podstawowych statystyk prędkości, zestawione w tabl. 6.6, są średnimi ze wszystkich poligonów pomiarowych uwzględnionych w badaniach. W tabl. 6.7 przedstawiono wartości relatywnej zmiany parametrów prędkości przy różnych warunkach oświetlenia względem wartości średniej z okresu „dnia”.

W tabl. Z6.3 w załączniku nr 3 przedstawiono ocenę statystycznej istotności różnic V_{sr} bez podziału na pojazdy lekkie i ciężkie w różnych porach doby przy pomocy wartości p [49,82]. Zmiany prędkości średniej pomiędzy okresami „dnia” i „nocy” są statystycznie istotne na wszystkich odcinkach bez względu na obecność i rodzaj sztucznego oświetlenia.

Tabl. 6.6. Zestawienie podstawowych statystyk prędkości pojazdów w ruchu swobodnym w różnych okresach doby na odcinkach o limicie prędkości 50 km/h z rozróżnieniem ze względu na występowanie sztucznego oświetlenia drogowego.

Okres doby	Szt. oświetlenie	V_{sr}	V_{15}	V_{50}	V_{85}	V_{95}	σ	WZV
Pojazdy lekkie								
dzień	brak	61,8	51,5	61,4	72,5	79,7	12,0	0,196
zmiernoch		62,5	52,3	61,4	73,2	81,9	11,6	0,185
noc		64,8	55,2	64,4	75,6	81,4	10,2	0,156
dzień	częściowe	59,0	48,3	58,9	70,4	78,9	12,4	0,211
zmiernoch		59,4	47,7	60,0	70,8	78,1	12,2	0,206
noc		62,1	53,9	61,5	72,5	80,5	11,3	0,182
dzień	pełne	63,9	46,4	65,2	80,0	90,7	18,6	0,292
zmiernoch		68,2	55,5	68,5	82,7	93,4	16,9	0,248
noc		69,1	57,2	69,0	81,5	90,5	13,4	0,194
Pojazdy ciężkie								
dzień	brak	63,7	52,4	64,6	73,5	77,9	10,9	0,173
zmiernoch		62,9	52,6	62,0	74,8	77,8	10,4	0,166
noc		65,7	57,8	66,5	73,9	77,9	8,3	0,127
dzień	częściowe	59,2	49,8	60,6	68,2	73,4	9,8	0,165
zmiernoch		61,3	56,7	61,5	71,9	77,1	10,8	0,176
noc		63,8	52,4	63,5	73,1	77,3	8,7	0,137
dzień	pełne	69,3	56,7	70,3	82,4	93,8	17,4	0,251
zmiernoch		71,0	59,3	69,9	80,5	87,8	12,6	0,178
noc		71,2	61,9	71,2	82,1	88,9	12,2	0,172

Tabl. 6.7. Zestawienie wartości relatywnego wskaźnika Z_V^i zmienności podstawowych statystyk prędkości w różnych okresach doby względem okresu „dnia” na odcinkach o limicie prędkości 50 km/h z rozróżnieniem ze względu na występowanie sztucznego oświetlenia drogowego.

Okres doby	Szt. oświetlenie	V_{sr}	V_{15}	V_{50}	V_{85}	V_{95}	σ	WZV
Pojazdy lekkie								
zmiernoch	brak	0,0113	0,0155	0,0000	0,0097	0,0276	-0,0333	-0,0561
noc		0,0485	0,0718	0,0489	0,0428	0,0213	-0,1500	-0,2041
zmiernoch	częściowe	0,0068	-0,0124	0,0187	0,0057	-0,0101	-0,0161	-0,0237
noc		0,0525	0,1159	0,0441	0,0298	0,0203	-0,0887	-0,1374
zmiernoch	pełne	0,0673	0,1961	0,0506	0,0338	0,0298	-0,0914	-0,1507
noc		0,0814	0,2328	0,0583	0,0188	-0,0022	-0,2796	-0,3356
Pojazdy ciężkie								
zmiernoch	brak	-0,0126	0,0038	-0,0402	0,0177	-0,0013	-0,0459	-0,0405
noc		0,0314	0,1031	0,0294	0,0054	0,0000	-0,2385	-0,2659
zmiernoch	częściowe	0,0355	0,1386	0,0149	0,0543	0,0504	0,1020	0,0667
noc		0,0777	0,0522	0,0479	0,0718	0,0531	-0,1122	-0,1697
zmiernoch	pełne	0,0245	0,0459	-0,0057	-0,0231	-0,0640	-0,2759	-0,2908
noc		0,0274	0,0917	0,0128	-0,0036	-0,0522	-0,2989	-0,3147

Oznaczenia występujące w tabl. 6.6 i tabl. 6.7 są takie same, jak w tabl. 6.1 i tabl. 6.2.

Analiza wpływu występowania sztucznego oświetlenia na prędkość na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości doprowadziła do następujących wniosków:

- Największy wzrost prędkości pojazdów lekkich w nocy w stosunku do okresu światła dziennego następuje przy pełnym sztucznym oświetleniu. Taki wpływ sztucznego oświetlenia na wzrost prędkości może być wynikiem opisanej przez Assuma [3] tzw. kompensacji ryzyka związanego z ruchem w nocy przy sztucznym oświetleniu –

oświetlenie daje poczucie mniejszego zagrożenia dzięki poprawie percepcji drogi, co jest kompensowane zwiększeniem prędkości. Obecność częściowego oświetlenia nie wpływa na dodatkowy wzrost prędkości pojazdów lekkich w stosunku do „dnia”;

- Obecność częściowego sztucznego oświetlenia wpływa na największy wzrost prędkości pojazdów ciężkich w nocy w stosunku do okresu światła dziennego. Nie stwierdzono wpływu występowania pełnego sztucznego oświetlenia na dodatkowy wzrost prędkości pojazdów ciężkich w stosunku do okresu „dnia”;
- Oświetlenie pełne wpływa na dodatkowy (w stosunku do zidentyfikowanego dotychczas spadku wynikającego z braku naturalnego oświetlenia) spadek zmienności prędkości pojazdów, wyrażony mniejszymi wartościami współczynnika zmienności prędkości WZV .

Odcinki jednorodne na drogach zamiejskich z limitem prędkości 90 km/h

Podstawowe statystyki prędkości pojazdów lekkich i ciężkich oraz wartości relatywnej zmiany tych statystyk w różnych okresach doby względem wartości średniej z okresu „dnia” z podziałem ze względu na występowanie i rodzaj sztucznego oświetlenia na zamiejskich odcinkach dróg przedstawiono w tabl. 6.8 i tabl. 6.9.

Tablica Z6.4 w załączniku nr 3 przedstawia ocenę statystycznej istotności różnic średniej prędkości wszystkich pojazdów w różnych porach doby przy pomocy wartości p [49,82]. Zmiany średniej wartości prędkości pomiędzy okresami „dnia” i „nocy” są statystycznie istotne jedynie na odcinkach wyposażonych w sztuczne oświetlenie.

Tabl. 6.8. Zestawienie podstawowych statystyk prędkości pojazdów w ruchu swobodnym w różnych okresach doby na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h w zależności od występowania sztucznego oświetlenia drogowego.

Okres doby	Szt. oświetlenie	V_{sr}	V_{15}	V_{50}	V_{85}	V_{95}	σ	WZV
Pojazdy lekkie								
dzień	brak	94,8	78,5	98,0	122,4	137,6	21,6	0,221
zmierzch		93,5	78,1	97,6	120,7	136,1	21,2	0,207
noc		91,5	78,1	95,8	117,2	132,4	21,9	0,216
dzień	częściowe	92,2	74,9	91,3	110,4	122,5	19,3	0,208
zmierzch		96,4	80,0	94,7	112,9	126,8	18,3	0,190
noc		94,0	75,6	92,7	113,9	127,5	19,3	0,204
dzień	pełne	92,5	76,5	90,9	109,4	122,3	17,8	0,197
zmierzch		94,0	75,7	92,8	112,6	127,8	18,3	0,195
noc		93,0	76,9	91,5	109,3	122,9	16,9	0,181
Pojazdy ciężkie								
dzień	brak	81,0	69,9	81,2	94,7	107,2	15,6	0,189
zmierzch		81,5	72,4	82,2	94,2	109,1	13,6	0,160
noc		80,3	71,6	81,7	93,5	106,4	14,0	0,164
dzień	częściowe	77,2	65,6	77,1	89,5	98,9	14,4	0,187
zmierzch		81,2	70,9	80,1	91,1	104,8	12,2	0,150
noc		79,6	68,8	78,0	91,1	103,6	12,5	0,156
dzień	pełne	82,3	71,1	80,8	93,2	105,4	14,6	0,178
zmierzch		83,5	71,0	81,9	93,9	105,9	13,1	0,155
noc		82,7	71,9	82,0	93,1	104,3	12,6	0,150

Tabl. 6.9. Zestawienie wartości relatywnego wskaźnika Z_V^j zmienności podstawowych statystyk prędkości w różnych okresach doby względem okresu „dnia” na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h w zależności od występowania sztucznego oświetlenia drogowego.

Okres doby	Szt. oświetlenie	V_{sr}	V_{15}	V_{50}	V_{85}	V_{95}	σ	WZV
Pojazdy lekkie								
zmierzch	brak	-0,0137	-0,0051	-0,0041	-0,0139	-0,0109	-0,0185	-0,0633
noc		-0,0348	-0,0051	-0,0224	-0,0425	-0,0378	0,0139	-0,0226
zmierzch	częściowe	0,0456	0,0681	0,0372	0,0226	0,0351	-0,0518	-0,0865
noc		0,0195	0,0093	0,0153	0,0317	0,0408	0,0000	-0,0192
zmierzch	pełne	0,0162	-0,0105	0,0209	0,0293	0,0450	0,0281	-0,0102
noc		0,0054	0,0052	0,0066	-0,0009	0,0049	-0,0506	-0,0812
Pojazdy ciężkie								
zmierzch	brak	0,0062	0,0358	0,0123	-0,0053	0,0177	-0,1282	-0,1534
noc		-0,0086	0,0243	0,0062	-0,0127	-0,0075	-0,1026	-0,1323
zmierzch	częściowe	0,0518	0,0808	0,0389	0,0179	0,0597	-0,1528	-0,1979
noc		0,0311	0,0488	0,0117	0,0179	0,0475	-0,1319	-0,1658
zmierzch	pełne	0,0146	-0,0014	0,0136	0,0075	0,0047	-0,1027	-0,1292
noc		0,0049	0,0113	0,0149	-0,0011	-0,0104	-0,1370	-0,1573

Oznaczenia występujące w tabl. 6.8 i tabl. 6.9 są takie same, jak w tabl. 6.1 i tabl. 6.2.

Na podstawie analiz wpływu występowania sztucznego oświetlenia na prędkość na zamiejskich odcinkach dróg krajowych sformułowano następujące wnioski:

- Kompensacja ryzyka związanego z ruchem w nocy przez sztuczne oświetlenie opisana przez Assuma [3] jest szczególnie zauważalna poza zabudową. Zidentyfikowany w dotychczasowych analizach spadek prędkości w nocy dotyczy jedynie odcinków bez sztucznego oświetlenia. Obecność częściowego sztucznego oświetlenia wpływa na odwrócenie ww. tendencji, tj. powoduje wzrost prędkości pojazdów w „nocy” w stosunku do okresu „dnia”. Niewielki, ale istotny statystycznie wzrost prędkości w nocy w stosunku do dnia występuje również przy pełnym sztucznym oświetleniu;
- Podobnie, jak na odcinkach o limicie prędkości 50 km/h, w przypadku występowania pełnego sztucznego oświetlenia zaobserwowano największy spadek zmienności prędkości pojazdów lekkich w nocy, wyrażony małymi wartościami WZV. Najmniejsza zmienność prędkości pojazdów ciężkich występuje na odcinkach z częściowym sztucznym oświetleniem.

6.2.3. Modele estymacji prędkości na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości

W analizach opisanych w rozdziałach 6.2.1 i 6.2.2 rozpoznano m.in. wpływ typu przekroju poprzecznego oraz występowania zabudowy na prędkość pojazdów w różnych warunkach oświetlenia. Przedmiotem niniejszego rozdziału rozprawy będzie identyfikacja wpływu szerszego zbioru czynników drogowo-ruchowych na prędkość w różnych porach doby przy pomocy modeli regresyjnych.

Obok wiedzy na temat występowania i jakości sztucznego oświetlenia drogowego, na odcinkach wyselekcjonowanych w wyniku inwentaryzacji i opisanych w rozdz. 6.2.2, pozyskano również informacje na temat innych cech infrastruktury drogowej. Tak zbudowaną bazę cech drogowo-ruchowych przedmiotowych odcinków połączono z odcinkami przejść drogowych przez miejscowości, które objęte były oddzielnym projektem badawczym

w Katedrze Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu Politechniki Krakowskiej. Łącznie uzyskano dane na temat cech dróg i parametrów ruchu 91 odcinków, przechodzących przez teren zabudowy. Ze względu na małą wariancję zmiennych niezależnych, z dalszych analiz odrzucono zamiejskie odcinki dróg.

Modele regresyjne estymacji prędkości zostały zbudowane przy pomocy funkcji „Estymacja nieliniowa” w programie STATISTICA PL 7.1 [49,82]. Metodologia takich modeli jest analogiczna, jak w przypadku modeli predykcji wypadków i została szczegółowo opisana w rozdz. 2.2.1. Zmienną zależną w modelach regresyjnych będzie prędkość średnia w ruchu swobodnym. Przyjęto, że przedmiotowa zmienna zależna ma rozkład normalny. W odróżnieniu do modeli predykcji wypadków, modele estymacji prędkości nie wymagają zastosowania funkcji wiążącej. Postać przedmiotowego modelu, zgodna z ogólnym wzorem (2.1), jest wyrażona następującym równaniem:

$$V_{sr} = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j \quad (6.4)$$

gdzie:

- V_{sr} – prędkość średnia pojazdów w ruchu swobodnym,
- x_j – obserwowane nielosowe zmienne niezależne,
- β_j – nieznanne parametry modelu, współczynniki kierunkowe przy zmiennych szacowane metodą największej wiarygodności.

Ocenę istotności modelu regresyjnego zrealizowano przy pomocy statystyki Walda (W) zgodnie ze wzorem (5.3) oraz prawdopodobieństwa testowego p z akceptowanym poziomem istotności $\alpha = 0,05$ [49,82]. Dopasowanie modelu do obserwowanych danych oceniono przy pomocy wartości skorygowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_{sk}^2 [49], uzyskanego na podstawie współczynnika R^2 , zgodnie z następującą formułą:

$$R_{sk}^2 = 1 - (1 - R^2) \cdot \frac{(n-1)}{(n-p-1)} \quad (6.5)$$

gdzie:

- R_{sk}^2 – skorygowany współczynnik korelacji wielowymiarowej,
- R^2 – współczynnik korelacji wielowymiarowej,
- n – liczba obserwacji (punktów danych empirycznych),
- p – liczba zmiennych objaśniających w modelu.

Zastosowanie współczynnika R_{sk}^2 umożliwi porównanie dopasowania kilku modeli, w których liczba zmiennych objaśniających jest różna.

Ostatnim etapem weryfikacji modelu będzie analiza reszt, obejmująca reszty surowe, reszty Pearsona, statystykę Cooka oraz poszukiwanie i próby eliminacji z modeli wartości obserwowanych mających nadmierny wpływ na estymatory parametrów (wartości odstające).

W bazie danych drogowo-ruchowych uwzględniono następujące zmienne jakościowe i ilościowe, które w modelach estymacji prędkości będą zmiennymi niezależnymi:

- długość L odcinka drogi przechodzącego przez miejscowość [km];
- natężenie ruchu pieszego QPS [liczba pieszych/h];

- udział ruchu tranzytowego T [%];
- gęstość punktów dostępności (G_{pd}), indywidualnych punktów dostępności (G_{ipd}), komercyjnych punktów dostępności (G_{kpd}), dróg gruntowych (G_{dg}) [szt./km];
- gęstość przystanków autobusowych (G_{pa}) [szt./km];
- gęstość przejść dla pieszych (G_{pp}) [szt./km];
- gęstość skrzyżowań (G_{sk}) [szt./km];
- typ przekroju porzecznego z podziałem na 3 grupy: CH – chodnik (zlokalizowany bezpośrednio przy jezdni), G – pobocze gruntowe, B – pobocze bitumiczne;
- brak sztucznego oświetlenia $SZTOŚWBR$, występowanie częściowego sztucznego oświetlenia (w formie opraw oświetleniowych na słupach zasilania elektrycznego) $SZTOŚWCZ$, występowanie pełnego sztucznego oświetlenia (oświetlenie uliczne na masztach oświetleniowych) $SZTOŚWP$.

Wszystkie spośród wymienionych powyżej zmiennych ilościowych charakteryzują się wystarczającą zmiennością, wyrażoną przez większą od 0,1 wartość współczynnika v_j , zgodnie ze wzorem (5.9).

Krokowa metoda budowy modeli estymacji prędkości dla okresów światła dziennego i nocy obejmowała:

- 1) Próbę włączenia do modelu wyrazu wolnego β_0 oraz każdej pojedynczej zmiennej ilościowej i jakościowej z bazy danych. Kryterium włączenia zmiennej do modelu był wzrost wartości skorygowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R^2 modelu o min. 0,02.
- 2) Budowę jednego modelu, w którym wykorzystano wszystkie zmienne wybrane w punkcie 1). Ze względu na wzajemną korelację części zmiennych niezależnych, niektóre z nich nie wykazały istotności statystycznej. Zmienne usuwano pojedynczo z modelu, w każdym kroku pozbywając się tej, która charakteryzowała się największą wartością prawdopodobieństwa p . W ten sposób powstał model o największej wartości R^2 przy zachowaniu kryterium istotności statystycznej wszystkich zmiennych.
- 3) Analizę reszt w celu identyfikacji punktów odstających i wpływowych w modelu zbudowanym w punkcie 2). Kryterium odrzucenia obserwacji uznanej za odstającą był wzrost współczynnika R^2 modelu o min. 0,01 przy wyłączeniu danej obserwacji.
- 4) Powtórzenie toku postępowania opisanego w punktach 1)–3) dla zbioru zmiennych po odrzuceniu obserwacji odstających. Modele wykonane w tym kroku zostały uznane za ostateczne.

Dodatkowym założeniem w budowie modeli estymacji prędkości w okresach oświetlenia dziennego i nocy było uzyskanie jednakowego zestawu zmiennych niezależnych w modelach w celu umożliwienia porównania ilościowego wpływu wybranych determinant prędkości w tych okresach. Dlatego wymienione powyżej kroki budowy modeli były podejmowane równoległe dla przedmiotowych okresów doby.

Uzyskane na podstawie dostępnego zbioru danych empirycznych modele estymacji prędkości średniej w ruchu swobodnym na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości w okresie „nocy” (V_{sr}^{noc}) i „dnia” ($V_{sr}^{dzień}$) mają następującą postać:

$$V_{sr}^{noc} = 72,07 - 1,23 \cdot L + 0,16 \cdot T + 0,70 \cdot G_{dg} - 1,53 \cdot G_{sk} - 3,76 \cdot CH - 0,04 \cdot G + 3,80 \cdot B, \quad R_{sk}^2 = 0,45 \quad (6.1.1)$$

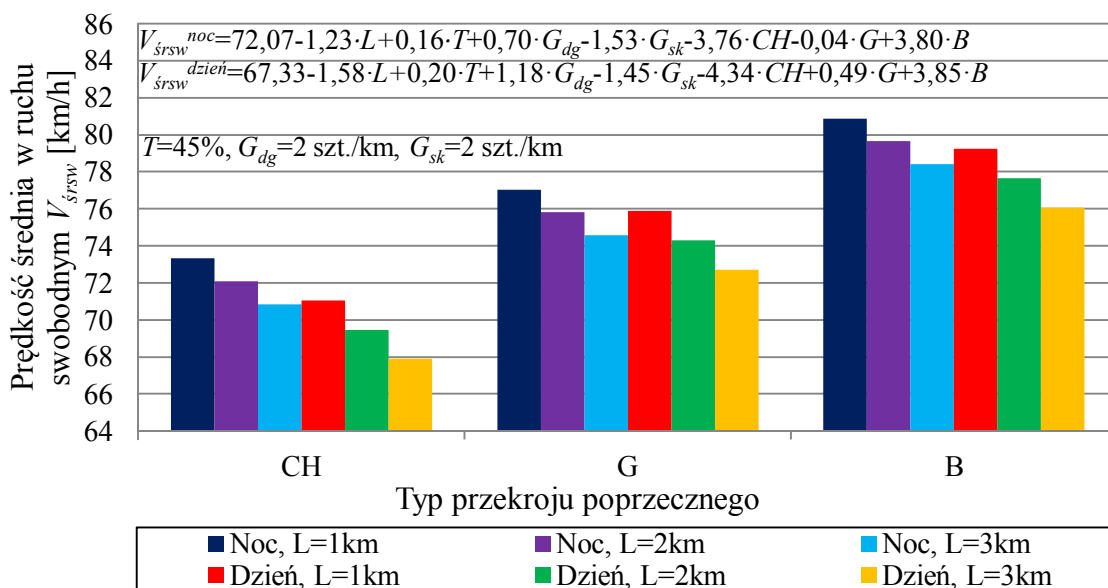
$$V_{sr}^{dzien} = 67,33 - 1,58 \cdot L + 0,20 \cdot T + 1,18 \cdot G_{dg} - 1,45 \cdot G_{sk} - 4,34 \cdot CH + 0,49 \cdot G + 3,85 \cdot B, \quad R_{sk}^2 = 0,49 \quad (6.1.2)$$

Występujące w powyższych wzorach symbole oznaczają:

- V_{sr}^{dzien} – prędkość średnia w ruchu swobodnym przy świetle dziennym [km/h];
- V_{sr}^{noc} – prędkość średnia w ruchu swobodnym w nocy [km/h];
- L – długość odcinka drogi przechodzącego przez miejscowość [km];
- T – udział ruchu tranzytowego [%];
- G_{dg} – gęstość dróg gruntowych [szt./km];
- G_{sk} – gęstość skrzyżowań [szt./km];
- CH – chodnik (wartość 1, gdy chodnik jest zlokalizowany wyłącznie przy jezdni; w przeciwnym wypadku wartość 0);
- B – pobocze bitumiczne (wartość 1 lub 0 w zależności od obecności takiego pobocza);
- G – pobocze gruntowe (wartość 1 lub 0 w zależności od obecności takiego pobocza).

Budowa modeli estymacji prędkości w nocy i przy świetle dziennym na przejściach drogowych przez miejscowości pozwoliła na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Wzrost długości odcinka drogi przechodzącego przez miejscowość (L) ma większy wpływ na spadek średniej prędkości pojazdów przy świetle dziennym niż w „nocy”. Taki wpływ może być związany z aktywnością otoczenia i większą liczbą konfliktów ruchowych w „dzień” w miejscowościach;
- Wzrost udziału ruchu tranzytowego o 20% powoduje zwiększenie prędkości pojazdów o 4 km/h w „dzień” i o 3 km/h w „nocy”;
- Gęstość skrzyżowań ma duży wpływ na prędkość pojazdów. Jedno dodatkowe skrzyżowanie na odcinku o długości 1 km jest związane ze spadkiem średniej prędkości w ruchu swobodnym o 1,5 km/h, jednak wpływ ten nie jest zależny od okresu doby;
- Gęstość dróg gruntowych wpływa w większym stopniu na wzrost prędkości pojazdów w okresie światła dziennego niż w nocy. Obecność 3 dróg gruntowych na odcinku o długości 1 km jest związana ze wzrostem estymowanej średniej prędkości w ruchu swobodnym o 3,5 km/h w „nocy” oraz o 2,1 km/h w „dzień”. Analiza bazy danych pokazuje, że wzrost gęstości dróg gruntowych jest skorelowany z brakiem chodnika na analizowanym odcinku, co sugeruje mniejszą aktywność otoczenia i stąd większą prędkość przejazdu przez miejscowość. Wpływ dróg gruntowych na wzrost prędkości wykazano również w pracy [54];
- Typ przekroju poprzecznego wykazuje podobny wpływ na prędkość pojazdów niezależnie od warunków oświetlenia. Największe prędkości są obserwowane na odcinkach z poboczem bitumicznym, a najmniejsze na odcinkach z chodnikiem (rys. 6.4). Występowanie chodnika powoduje większy o ok. 0,7 km/h spadek prędkości przy świetle dziennym niż w nocy, czego przyczyną mogą być większe natężenia ruchu pieszego;



Rys. 6.4. Wpływ typu przekroju poprzecznego na estymowaną prędkość średnią w ruchu swobodnym w różnych porach doby na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości.

6.2.4. Próba oceny wpływu prędkości na zagrożenie wypadkowe w nocy

Głównym założeniem niniejszego rozdziału pracy jest próba oceny zagrożenia wypadkowego w ograniczonych warunkach widoczności przy pomocy miary pośredniej, jaką jest prędkość pojazdów. W celu oszacowania, w jaki sposób zidentyfikowane w rozdziałach 6.2.1 i 6.2.2 zmiany prędkości pojazdów w „nocy” w stosunku do „dnia” wpływają na liczbę wypadków śmiertelnych ($LW\dot{S}$) oraz liczbę wszystkich wypadków (LW) skorzystano z modeli wykładniczych Nilssona [12], opisanych następującymi wzorami:

$$WZ_{V_smier} = \frac{LW\dot{S}_{noc}}{LW\dot{S}_{dzień}} = \left(\frac{V_{sr}^{noc}}{V_{sr}^{dzień}} \right)^4 \quad (6.6)$$

$$WZ_V = \frac{LW_{noc}}{LW_{dzień}} = \left(\frac{V_{sr}^{noc}}{V_{sr}^{dzień}} \right)^2 \quad (6.7)$$

Występujące we wzorach (6.6) i (6.7) symbole oznaczają:

- WZ_{V_smier} – wskaźnik zagrożenia wypadkiem śmiertelnym związanego z prędkością [-],
- WZ_V – wskaźnik zagrożenia związanego z prędkością [-],
- $LW\dot{S}_{dzień}$ – liczba wypadków śmiertelnych przy świetle dziennym [-],
- $LW\dot{S}_{noc}$ – liczba wypadków śmiertelnych w nocy [-],
- $LW_{dzień}$ – liczba wypadków przy świetle dziennym [-],
- LW_{noc} – liczba wypadków w nocy [-],
- $V_{sr}^{dzień}$ – prędkość średnia w ruchu swobodnym przy świetle dziennym [km/h],
- V_{sr}^{noc} – prędkość średnia w ruchu swobodnym w nocy [km/h].

Ocena wpływu prędkości na wypadkowość przy pomocy modeli Nilssona zaprezentowana w tabl. 6.10 ma charakter ogólnego oszacowania, gdyż nie uwzględnia znacznych różnic specyfiki ruchu w okresach „nocy” i „dnia”, obejmującej m.in. warunki oświetlenia oraz natężenia ruchu. Wartości wskaźników zagrożenia związanego z prędkością

zestawiono z wartościami relatywnych wskaźników WZ w nocy, oszacowanych w rozdz. 4.8 zgodnie ze wzorem (4.9) i nie uwzględniających wystawienia na ryzyko wypadku w postaci natężenia ruchu. Wzrost prędkości w nocy na odcinkach zabudowanych wg modelu Nilssona przyczynia się do wzrostu liczby wypadków o 12%, a liczby wypadków śmiertelnych o 25%. Taki wzrost pokrywa jedynie nieznaczną część oszacowanych w rozdz. 4.8 wartości WZ i wskazuje, że główną przyczyną spadku brd w nocy nie jest prędkość, lecz specyfika tego okresu i ograniczenia widoczności wpływające na proces decyzyjny kierujących pojazdami.

Spadek prędkości w nocy na większości zamiejskich odcinków dróg powinien spowodować wzrost brd. Wysokie wartości WZ (tabl. 6.10) wskazują jednak, że pomimo niższych prędkości zagrożenie wypadkowe w „nocy” jest znacznie wyższe niż w „dzień”.

Tabl. 6.10. Porównanie wartości wskaźników zagrożenia związanego z prędkością wg [12] i relatywnego zagrożenia wypadkowego w nocy na drogach krajowych.

Limit prędkości [km/h]	Typ przekroju	Okres doby	V_{sr}	wskaźnik zagrożenia związanego z prędkością (WZ_V)		Relatywny wskaźnik zagrożenia w nocy (WZ), oszacowany w ze wzoru (4.9)	
				Wypadki śmiertelne	Wszystkie wypadki	Wypadki śmiertelne	Wszystkie wypadki
50/60	M3	noc	71,05	1,25	1,12	3,07	1,40
		dzień	67,22				
	Z1	noc	81,78	1,14	1,07		
		dzień	79,10				
	Z2	noc	71,75	1,06	1,03		
		dzień	70,72				
90	Z1	noc	90,67	0,89	0,94	3,19	1,69
		dzień	93,32				
	Z2	noc	84,31	0,91	0,95		
		dzień	86,34				
	Z3	noc	85,49	1,04	1,02		
		dzień	84,73				
	Z2D2	noc	84,48	0,98	0,99		
		dzień	84,83				

Niezależnie od występowania zabudowy i typu przekroju poprzecznego, zmiany prędkości w warunkach nocnych ograniczeń widoczności nie są dominującą determinantą zmian zagrożenia wypadkami w nocy. Zagrożenie to wynika głównie ze specyfiki ruchu w nocy, która została szerzej opisana w rozdz. 2.1.

6.3. Wpływ pory doby na odstęp między pojazdami

Problem odstępów między pojazdami i ich wpływu na brd był dotychczas poruszany w licznych badaniach [22,27,28,54,79,96,100], których syntezę przedstawiono w rozdz. 2.3.3. Znaczenie warunków widoczności i specyfiki okresu nocy w kształtowaniu się odstępów między pojazdami nie było jednak głównym przedmiotem żadnego z ww. opracowań. W pracach [22,79] wykazano statystyczną zależność częstotliwości kolizji w wyniku zderzenia tylnego od występowania niebezpiecznych odległości między pojazdami. Taka zależność pozwala traktować odstęp między pojazdami jako pośrednią miarę zagrożenia brd. W pośredni sposób występowanie niebezpiecznych odstępów może być związane również z innymi typami wypadków. Na przykład sytuacja konfliktowa w „niebezpiecznej” parze pojazdów, tj. gwałtowne hamowanie pojazdu jadącego z przodu, może doprowadzić do

zjechania pojazdu jadącego z tyłu na przeciwny pas ruchu lub poza jezdnię, co może skutkować odpowiednio wypadkiem w wyniku zderzenia czołowego lub wypadkiem pojedynczego pojazdu. W pracy [27] stwierdzono, że ryzyko zderzenia tylnego w nocy jest ponad 2-krotnie większe niż przy świetle dziennym. Jako potencjalne przyczyny takiego wzrostu ryzyka podano większy udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami w ruchu nocnym i zmniejszenie sprawności motorycznej kierowców w nocy. Przedmiotem niniejszego rozdziału pracy będzie identyfikacja wpływu warunków oświetlenia na występowanie niebezpiecznych odstępów między pojazdami w różnych porach doby. Jako uzupełnienie analiz zaprezentowano możliwość wykorzystania udziału tzw. „krótkich” odstępów między pojazdami w ocenie wpływu warunków oświetlenia na zagrożenie wypadkowe.

Realizacja badań wpływu nocnych ograniczeń widoczności na odstępy między pojazdami w potoku ruchu obejmować będzie następujące analizy:

- identyfikacja postaci rozkładów odstępów między pojazdami w potoku ruchu i porównanie tych rozkładów w różnych warunkach oświetlenia,
- oceny udziału odstępów niebezpiecznych (U_{onb}) między pojazdami na podstawie analiz modelu kinematycznego ruchu,
- oceny wpływu czynników drogowo-ruchowych na udział odstępów niebezpiecznych w potoku pojazdów przy pomocy modeli regresyjnych.

6.3.1. Identyfikacja parametrów rozkładów odstępów między pojazdami

Do modelowania rozkładów odstępów między pojazdami wybrano rozkład gamma, który wg [37,38] jest najbardziej efektywny spośród rozkładów jedno-, dwu- lub trójparametrycznych (rozdz. 2.2.4). Porównanie rozkładów odstępów w różnych warunkach oświetlenia polegać będzie na ocenach parametrów kształtu i skali.

Wartości odstępów między pojazdami są zależne od natężenia ruchu. Aby porównania były miarodajne, konieczne jest ich wykonywanie przy podobnych natężeniach ruchu w „nocy” i w „dzień”. Poligony do badań dobierano w ten sposób, aby można było znaleźć przynajmniej 2-godzinny przedział czasu dla okresów „dnia” i „nocy” o podobnym natężeniu ruchu. Maksymalna założona różnica natężeń pomiędzy okresem dnia i nocy wyniosła 25%. Wybór podobnych natężeń ruchu wpłynął na znaczne ograniczenie liczby poligonów, które mogą być uwzględnione w badaniach oraz na niewystarczającą zmienność w zbiorze poligonów pod względem występowania zabudowy i typu przekroju poprzecznego. Dlatego porównanie rozkładów odstępów między pojazdami w różnych porach doby ograniczono do 64 zamiejskich odcinków dróg krajowych o przekroju Z1 (z poboczem bitumicznym).

Dobór parametrów kształtu k i skali θ rozkładu gamma odstępów między pojazdami wykonano z użyciem funkcji „Dopasowanie rozkładu” programu STATISTICA PL 7.1 [82]. Program domyślnie wykonuje test chi-kwadrat (χ^2) na podstawie licznosci obserwowanych i oczekiwanych. Następnie w celu poprawy dokładności dopasowania wielokrotnie modyfikowano wartości k i θ , za kryterium poprawności przyjmując minimalną wartość testu χ^2 przy jednoczesnej maksymalizacji wartości prawdopodobieństwa testowego p , będącego granicznym poziomem istotności. Czynności takie wykonywano metodą interpolacyjną. Test χ^2 służył weryfikacji hipotezy nieparametrycznej H_0 : „odstęp Δt między pojazdami ma rozkład gamma (k, θ)” wobec hipotezy alternatywnej H_1 : „odstęp Δt między pojazdami nie

ma rozkładu gamma (k, θ)". W przypadku prawdziwości hipotezy H_0 statystyka testowa (χ^2) ma rozkład chi-kwadrat i przyjmuje następującą postać [49]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta t_i - \Delta t(\text{gamma})_i}{\sigma_i} \right)^2 \quad (6.8)$$

gdzie:

- Δt_i – rzeczywista wartość odstępu między pojazdami [s],
- $\Delta t(\text{gamma})_i$ – wartość teoretyczna odstępu między pojazdami, wynikająca z hipotezy H_0 [s],
- σ_i – odchylenie standardowe odstępu między pojazdami [s],
- n – liczba pomiarów odstępu między pojazdami na danym poligonie.

Zakładany poziom istotności przyjęto $\alpha=0,05$, wobec czego dla każdej wartości $p>0,05$ nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 i stwierdzenia, że odstępy między pojazdami nie są opisane rozkładem gamma [49]. Wartość p większą od 0,05 uzyskano dla 77% pomiarów. Pozostałe 23% pomiarów wykluczono z analiz ze względu na brak ich zgodności z rozkładem gamma. Niepełna zgodność natury procesu kształtowania się odstępów między pojazdami z przyjętym modelem matematycznym jest efektem dużej złożoności tego procesu i wynika z ograniczonej liczby parametrów zarówno rozkładu gamma, jak i innych rozkładów jedno-, dwu- lub trójparametrycznych [38,37], co zostało szerzej opisane w rozdz. 2.2.4.

Ze względu na rzadkie występowanie dużych natężeń ruchu w nocy, wprowadzono w zaplanowanych analizach górną granicę wartości natężenia Q wynoszącą 550 P/h/pas. Jako minimalne natężenie, przyjęto $Q=120$ P/h/pas, tj. 2 pojazdy w ciągu 1 minuty. Uznano, że przy mniejszych natężeniach ruchu proces kształtowania się odstępów między pojazdami cechuje zbyt duża losowość i trudność dopasowania do modelu matematycznego. Fragment bazy danych, zawierający parametry ruchu, parametry rozkładu odstępów, wartości testu chi-kwadrat i prawdopodobieństwa testowego p dla wybranych pomiarów w okresie nocy przedstawiono w tabl. 6.11.

Tabl. 6.11. Fragment bazy danych o parametrach ruchu i rozkładu odstępów między pojazdami w nocy na zamiejskich odcinkach dróg krajowych.

Lp	V_{sr} [km/h]	Δt_{sr} [s]	Q_{sr} [P/h/pas]	$Var(\Delta t)$	$\sigma(\Delta t)$ [s]	k	θ	χ^2	$l(\chi^2)$	p
1	66,38	29,49	123	1094,86	33,09	0,94	31,3	4,91	7	0,67
2	72,31	12,14	297	356,37	18,88	0,28	40,8	13,40	7	0,06
3	73,09	9,38	384	227,29	15,08	0,3	28,5	2,62	6	0,85
4	102,88	17,52	206	600,69	24,51	0,54	28,3	13,88	7	0,05
5	87,84	24,89	145	2111,03	45,95	0,43	52,1	12,30	12	0,42
6	80,07	11,91	303	269,08	16,40	0,47	24,9	5,80	7	0,56
7	83,75	7,38	488	143,88	11,99	0,32	18,9	4,38	3	0,22
8	89,71	13,96	258	311,17	17,64	0,5	25,9	8,27	4	0,08
9	85,36	7,45	484	101,80	10,09	0,47	15,1	2,97	4	0,56
10	70,91	8,68	415	112,12	10,59	0,55	14,9	2,63	2	0,27

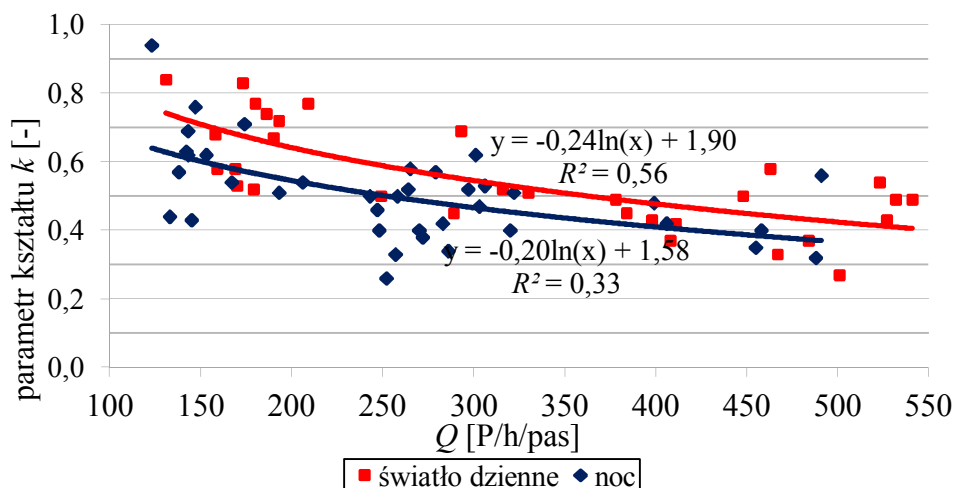
Występujące w tabl. 6.11 symbole oznaczają:

- V_{sr} – prędkość średnia [km/h],
- Δt_{sr} – średni odstęp między pojazdami [s],
- Q_{sr} – średnie natężenie ruchu [P/h/pas] z 2-godzinnego przedziału czasu,

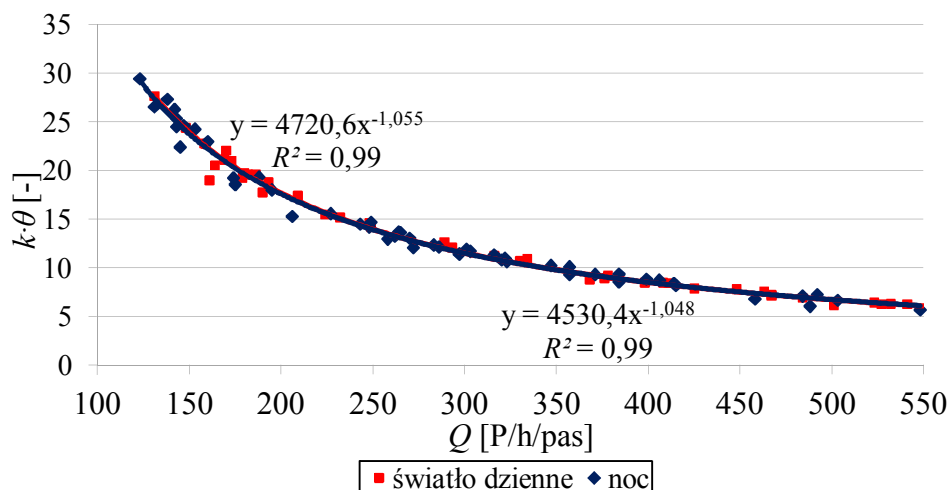
$Var(\Delta t)$	–	wariancja obserwowana odstępów między pojazdami,
$\sigma(\Delta t)$	–	odchylenie standardowe odstępów między pojazdami [s],
k	–	parametr kształtu rozkładu gamma,
θ	–	parametr skali rozkładu gamma,
χ^2	–	wartość testu chi-kwadrat wg wzoru (6.8),
$l(\chi^2)$	–	liczba stopni swobody testu chi-kwadrat,
p	–	prawdopodobieństwo testowe.

Parametr kształtu k rozkładu gamma we wszystkich rozważanych przypadkach był mniejszy od 1,0, co wskazuje na jego dążenie do postaci podobnej, jak w rozkładzie wykładniczym (z wyraźnie zaznaczonym szczytem przy lewej granicy całej próby odstępów). W badaniach [37] wykazano, że wartość k większą od 1,0, oznaczającą łagodniejszą postać wykresu (bez wyraźnego szczytu), można uzyskać przy większych natężeniach ruchu, np. 1550 P/h/pas. Taka sytuacja jest jednak niemożliwa do powtórzenia dla natężeń, jakie występują w nocy na polskich drogach. Uzyskaną we własnych badaniach zależność parametru kształtu k od natężenia ruchu Q przedstawiono na rys. 6.5. Wartość k rozkładu odstępów przy świetle dziennym jest większa niż w okresie nocy średnio o 0,07-0,13 w zależności od natężenia ruchu. Wzrost natężenia powoduje spadek wartości parametru k , a najlepszym dopasowaniem tej zależności jest krzywa logarytmiczna o wartościach współczynników determinacji R^2 równych 0,56 dla „dnia” oraz 0,33 dla „nocy”. Niemal idealna (opisana wartościami $R^2=0,99$) jest zależność pomiędzy natężeniem a iloczynem parametrów kształtu k i skali θ (rys. 6.6). Przy znanych wartościach k oraz Q , możemy zatem wprost wyznaczyć wartość parametru skali θ .

W okresie nocy mniejsza wartość parametru kształtu rozkładu gamma niż przy świetle dziennym, świadczy wprost o tendencji do jazdy bliżej siebie. Taki styl jazdy (odzwierciedlony większą różnicą wartości parametru k) jest szczególnie zauważalny przy mniejszych natężeniach ruchu z przedziału 120-250 P/h/pas.



Rys. 6.5. Zależność parametru kształtu k rozkładu gamma odstępów między pojazdami od natężenia ruchu uzyskana empirycznie.



Rys. 6.6. Zależność iloczynu parametru kształtu k i parametru skali θ rozkładu gamma odstępów między pojazdami od natężenia ruchu uzyskana empirycznie.

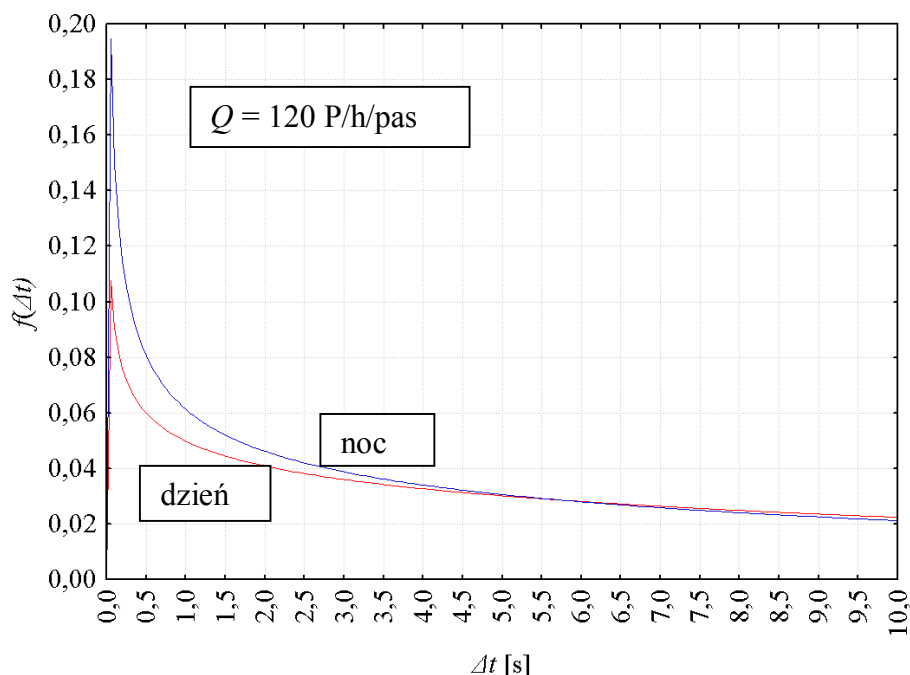
Identyfikacja zależności pomiędzy natężeniem ruchu Q , a parametrami k i θ rozkładu gamma umożliwiła stworzenie modelu matematycznego odstępów między pojazdami dla zadanego natężenia i pory doby. Na przykład, przy natężeniach ruchu 120 i 300 P/h/pas parametry rozkładu gamma przyjmują wartości, jak w tabl. 6.12. Na rys. 6.7 i rys. Z6.1 (w załączniku nr 3) przedstawiono graficzną prezentację modeli matematycznych odstępów między pojazdami w „dzień” i w „nocy” przy pomocy „Wykresu funkcji użytkownika” w programie STATISTICA PL 7.1 [82]. W przypadku małego natężenia ruchu $Q=120$ P/h/pas (rys. 6.7) uzyskano znacznie większy udział małych odstępów (do 6 sekund) w „nocy” niż w „dzień”. Wraz ze wzrostem natężenia ruchu tendencja do częstszej jazdy z mniejszymi odstępami w „nocy” niż w „dzień” zanika, co pokazano na rys. Z6.1.

Tabl. 6.12. Wartości parametru kształtu k i parametru skali θ rozkładu gamma odstępów między pojazdami przy natężeniu 120 P/h.

Q [P/h/pas]	k		θ	
	dzień	noc	dzień	noc
120	0,75	0,62	40,26	48,20
300	0,53	0,44	21,65	26,15

Analizy rozkładów odstępów między pojazdami doprowadziły do następujących wniosków:

- Dla okresu „nocy” uzyskano mniejszą wartość parametru kształtu rozkładu gamma niż dla światła dziennego, co świadczy o tendencji do jazdy bliżej siebie w tym okresie. Ryzykowna jazda z małymi odstępami w nocy może być wynikiem trudności poprawnego oszacowania odległości do pojazdu jadącego z przodu oraz nieświadomości kierowców na temat zagrożeń związanych z niezachowaniem bezpiecznego odstępu między pojazdami;
- Mniejsze wartości odstępów między pojazdami w „nocy” niż w „dzień”, są szczególnie widoczne przy małych natężeniach ruchu z przedziału 120-250 P/h/pas. Jak pokazano na przykładzie funkcji gęstości rozkładu gamma odstępów między pojazdami na rys. Z6.1, przy większych natężeniach ruchu przedmiotowe różnice stają się mniej istotne.



Rys. 6.7. Porównanie funkcji gęstości rozkładu gamma $f(\Delta t)$ odstępów między pojazdami Δt na podstawie modeli matematycznych w okresie światła dziennego i nocy przy natężeniu ruchu $Q=120$ P/h/pas.

6.3.2. Porównanie udziału odstępów niebezpiecznych między pojazdami w różnych porach doby

Na podstawie analiz rozkładów odstępów między pojazdami rozpoznano tendencję do występowania mniejszych odstępów w nocy niż przy świetle dziennym, występującą na odcinkach dróg o przekroju z pobocznymi bitumicznymi przy małych natężeniach ruchu. W celu dokładniejszego poznania tej tendencji istotne jest określenie, jaka część odstępów między pojazdami jest niebezpieczna, tj. stanowi potencjalne zagrożenie wypadkowe w przypadku nagłego hamowania pojazdu jadącego z przodu w danej parze pojazdów. Model kinematyczny, służący do wyznaczenia dla danej pary pojazdów w potoku ruchu tzw. wartości granicznej (krytycznej) Δt_{kryt} , poniżej której odstęp jest uważany za niebezpieczny przedstawiono przy pomocy wzoru (2.26) w rozdz. 2.2.4. Wzór ten ma następującą postać:

$$\Delta t_{kryt} = \frac{V_2^2}{7,2 \cdot V_1 \cdot (a_2 + g \cdot i)} - \frac{V_1}{7,2 \cdot (a_1 + g \cdot i)} + \frac{V_2}{V_1} \cdot t_r + \frac{3,6 \cdot l_p}{V_1} [s]$$

gdzie:

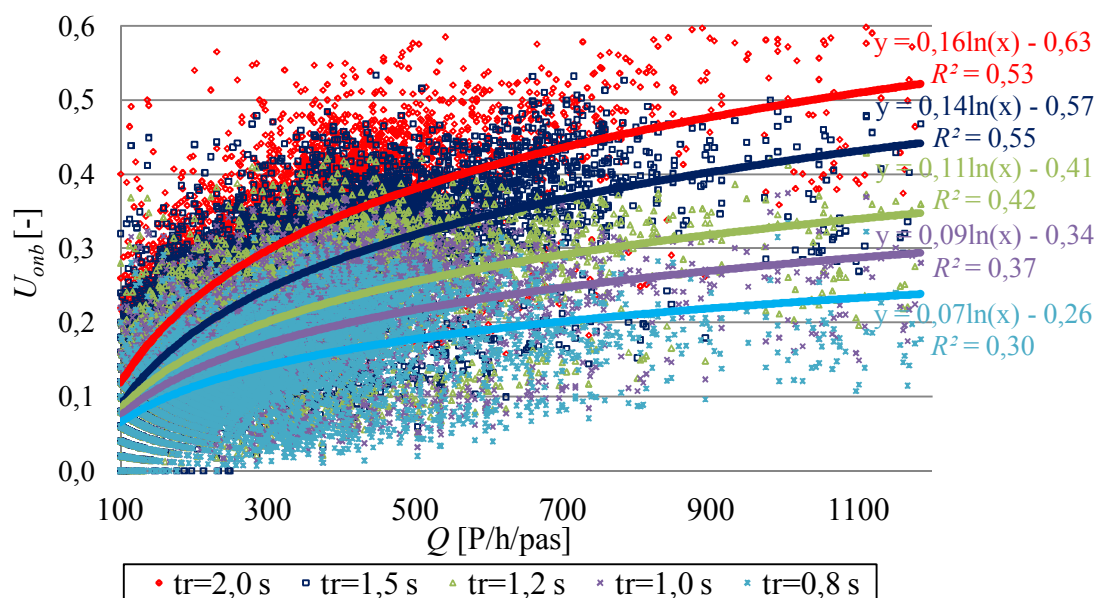
- Δt_{kryt} – odstęp krytyczny między pojazdami [s],
- V_1 – prędkość pojazdu jadącego z przodu w parze pojazdów [km/h],
- V_2 – prędkość pojazdu jadącego z tyłu w parze pojazdów [km/h],
- a_1 – opóźnienie przy hamowaniu pojazdu jadącego z przodu w parze pojazdów [m/s^2],
- a_2 – opóźnienie przy hamowaniu pojazdu jadącego z tyłu w parze pojazdów [m/s^2],
- g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2]; $g=9,81 m/s^2$,
- i – pochylenie podłużne odcinka drogi [-],
- t_r – czas reakcji kierowcy pojazdu jadącego z tyłu w parze pojazdów [s],
- l_p – długość pojazdu jadącego z przodu w parze pojazdów [m].

Równanie (2.26) pochodzi z modelu hamowania pary pojazdów i jest przekształceniem równania dróg. Model zakłada, że pojazd jadący z przodu (nr 1) z prędkością V_1 hamuje z zadaniem opóźnieniem a_1 . Po upływie czasu potrzebnego na reakcję kierowcy (t_r) następuje hamowanie pojazdu jadącego z tyłu (nr 2) z opóźnieniem a_2 , którego pierwotna prędkość to V_2 . Przy wartościach opóźnień występuje człon „ $g \cdot i$ ”, zawierający pochylenie podłużne odcinka, które może sprzyjać hamowaniu (ze znakiem „+”), bądź je utrudniać (znak „-”). Odstęp jest ponadto skorygowany o długość pojazdu jadącego z przodu (l_p). W ten sposób jest on w rzeczywistości luką „tył-przód”.

Udział odstępów niebezpiecznych (U_{onb}) wyznacza się jako iloraz liczby odstępów, dla których $\Delta t < \Delta t_{kryt}$ i liczby wszystkich odstępów w określonym przedziale czasu. Wyznaczenie wartości Δt_{kryt} oraz określenie, czy dany odstęp jest niebezpieczny ($\Delta t < \Delta t_{kryt}$) wymaga oddzielnej analizy każdej pary pojazdów. Spośród zmiennych występujących we wzorze (2.26) z pomiarów ruchu znane są wartości prędkości (V_1, V_2), rozstawu osi pojazdów (powiększone o długość tzw. „zwisu” przedniego i tylnego dadzą długość pojazdu l_p) oraz odstępów między pojazdami (Δt).

W pracach [28,54] wykazano małą wrażliwość wzoru (2.26) na zmianę wartości a_1 i a_2 . Stwierdzono, że przy zmianie wartości opóźnienia pojazdu osobowego w zakresie od 5 m/s^2 do 8 m/s^2 i pojazdu ciężkiego od 3 m/s^2 do 5 m/s^2 wartości udziału odstępów niebezpiecznych zmieniają się nie więcej niż o 3%. Wartość Δt_{kryt} zależy w dużej mierze nie tyle od wartości opóźnień, co od różnicy tych wartości w parze pojazdów. Największa i najbardziej niekorzystna różnica opóźnień pojazdów występuje w parze „osobowy-ciężarowy”. Wzrost udziału takich par w strumieniu ruchu powinien być skorelowany ze wzrostem udziału odstępów niebezpiecznych. Ponieważ człon „ $g \cdot i$ ” ma małą wartość w stosunku do a (wszystkie pomiary były wykonywane na odcinkach o maksymalnym pochyleniu podłużnym $i \leq 0,03$) i nie powoduje dodatkowej różnicy opóźnień pojazdów, Δt_{kryt} nie wykazuje wrażliwości na zmianę wartości i w przedziale $0,005 - 0,03$.

Wzór (2.26) oraz wartość U_{onb} wykazują dużą wrażliwość na zmianę wartości czasu reakcji t_r (rys. 6.8). Badania [14,70], których syntezę przedstawiono w rozdz. 2.3.3 wskazują, że w nocy czas reakcji kierowcy jest o 0,2-0,4 s większy niż przy świetle dziennym. Różnica rozkładów czasów reakcji w obu rozpatrywanych okresach doby została pokazana na rys. 2.11. Ok. 75% czasów reakcji nie przekracza 0,8 s przy świetle dziennym i 1,0 s w nocy. Za ewentualną różnicę udziału odstępów niebezpiecznych między pojazdami w nocy w stosunku do okresu światła dziennego w dużej mierze może być odpowiedzialny większy czas reakcji. Wartości t_r wg [14] dotyczą sytuacji pełnej koncentracji kierowcy. W innych dotychczasowych badaniach [28,54] w celu uwzględnienia ewentualnego braku koncentracji kierowcy na sytuacje konfliktowe w ruchu zakładano również większy czas reakcji (1,5 s).



Rys. 6.8. Wpływ natężenia ruchu na udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami (U_{omb}) przy różnych czasach reakcji uwzględnionych we wzorze (2.26).

Z uwagi na powyższe uwarunkowania poczyniono następujące założenia dotyczące występujących we wzorze (2.26) zmiennych, których wartości nie są znane z pomiarów:

- Ze względu na wykazaną w [28] małą wrażliwość formuły (2.26) na zmianę wartości a_1 i a_2 , badania ograniczono do 2 grup rodzajowych pojazdów (osobowych i ciężkich);
- Ustalono górną granicę rozstawu osi pojazdu osobowego, przyjmując 3,1 m w przypadku rejestracji detektorami pneumatycznymi oraz 6.1 m tzw. „długości elektrycznej” przy rejestracji detektorami magnetycznymi;
- Po ustaleniu (na podstawie rozstawu osi) rodzaju pojazdu, przyjęto wartości opóźnień pojazdów: $a_{so}=7,0$ m/s² dla pojazdu osobowego oraz $a_{sc}=4,5$ m/s² dla pojazdu ciężkiego;
- Założono pochylenie podłużne odcinka drogi wynoszące $i=(-0,02)$;
- Wzorując się na wynikach badań [14] przyjęto różne w obu porównywanych okresach doby wartości czasów reakcji kierowcy: 0,8 s przy świetle dziennym i 1,0 s w nocy. Zgodnie z rys. 6.8 przyjęcie wartości $t_r=1,0$ s powoduje wzrost U_{omb} średnio o ok. 1,2% przy natężeniu ruchu $Q=100$ P/h/pas i o ok. 4,4% przy natężeniu ruchu $Q=500$ P/h/pas w stosunku do wartości $t_r=0,8$ s.

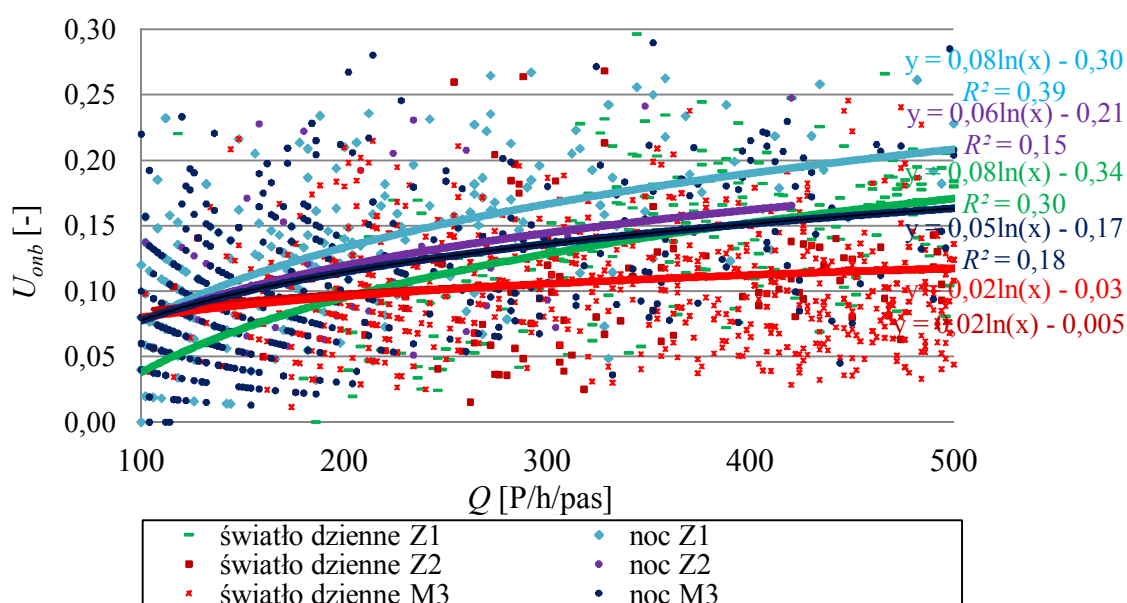
Jednym z celów opisywanych badań będzie identyfikacja dodatkowych, poza wynikającymi z przyjęcia ww. wartości czasów reakcji kierowcy, czynników determinujących zmiany wartości udziału odstępów niebezpiecznych między pojazdami w różnych warunkach oświetlenia.

Analizy porównawcze udziału odstępów między pojazdami ograniczono do przedziału natężeń ruchu 100-500 P/h/pas, wspólnego dla okresów światła dziennego i nocy. W celu przeprowadzenia przedmiotowych analiz, z bazy opisanej w rozdz. 6.1.3 wyselekcjonowano poligony, w przypadku których znaleziono przynajmniej jeden 30-minutowy przedział czasu zarówno w okresie „dnia”, jak i „nocy” o natężeniu ruchu należącym do zadanego przedziału.

Odcinki przechodzące przez małe miejscowości z limitem prędkości 50/60 km/h

Na rys. 6.9 przedstawiono porównanie wpływu natężenia ruchu na udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami (U_{onb}) w różnych porach doby na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości, wyróżniając trzy typy przekroju poprzecznego (M3, Z1 i Z2).

Na odcinkach o przekroju Z1 (z pobocznymi bitumicznymi) wartość U_{onb} jest o 3,8-4,2% większa w „nocy” niż w „dzień”. Różnica ta nie zależy od natężenia ruchu. Ponieważ wpływ przyjęcia większego czasu reakcji na wartość U_{onb} maleje wraz ze spadkiem natężenia ruchu (rys. 6.8), można stwierdzić, że przy mniejszych natężeniach (z przedziału 100-300 P/h/pas) na odcinkach o przekroju Z1 nocne ograniczenia widoczności mają wpływ na wzrost udziału odstępów niebezpiecznych i w efekcie na wzrost zagrożenia wypadkami. Podobnego wpływu nie zidentyfikowano na odcinkach o przekrojach Z2 (z pobocznymi gruntowymi) i M3 (z chodnikami po obu stronach drogi), co może oznaczać, że w tych przypadkach dominującym czynnikiem wzrostu zagrożenia wypadkami najechania na tył pojazdu w nocy jest wzrost czasu reakcji, wynikający m.in. z obniżenia koncentracji kierowców i zmęczenia.



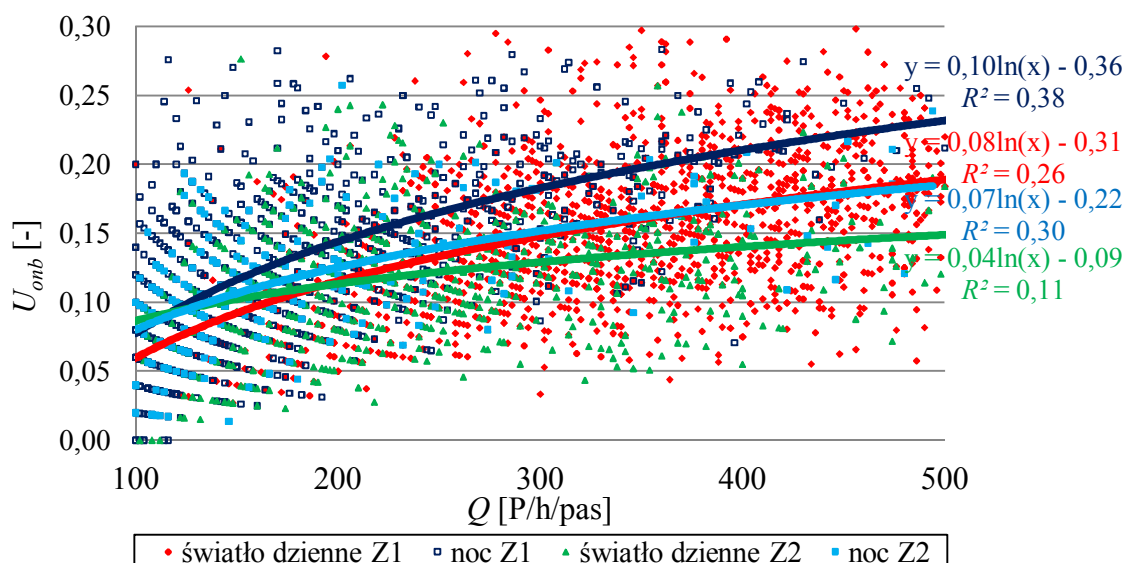
Rys. 6.9. Porównanie wpływu natężenia ruchu na udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami (U_{onb}) w różnych okresach doby na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości.

Odcinki na drogach zamiejskich z limitem prędkości 90 km/h

Porównanie wpływu natężenia ruchu na udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami (U_{onb}) w różnych okresach doby na zamiejskich odcinkach dróg krajowych o różnych typach przekroju poprzecznego (Z1 i Z2) przedstawiono na rys. 6.10.

Podobnie, jak w przypadku odcinków przejść drogowych przez miejscowości, nocne ograniczenia widoczności mają wpływ na udział odstępów niebezpiecznych jedynie na odcinkach z poboczem bitumicznym (o przekroju Z1). Wartość U_{onb} jest większa w „nocy” niż w „dzień” o 1,9% przy natężeniu 100 P/h/pas i o 4,5% przy natężeniu 500 P/h/pas. Ponieważ fizjologiczny wzrost czasu reakcji w nocy wpływa na 1,2% wzrost wartości U_{onb} przy natężeniu 100 P/h/pas (rys. 6.8), można stwierdzić, że pozostały wzrost wartości (o 0,7%) wynika z nocnych ograniczeń widoczności. Wraz ze wzrostem natężenia ruchu na odcinkach o przekroju Z1 maleje wpływ okresu nocy na występowanie niebezpiecznych

odstępów między pojazdami, a wzrasta znaczenie czynników osobowych, wyrażonych przez zwiększony czas reakcji kierowców.



Rys. 6.10. Porównanie wpływu natężenia ruchu na udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami (U_{omb}) w różnych okresach doby na zamiejskich odcinkach dróg krajowych.

Spośród uwzględnionych w dotychczasowych analizach czynników drogowo-ruchowych wpływających na udział niebezpiecznych odstępów między pojazdami w nocy największe znaczenie ma typ przekroju poprzecznego. Na odcinkach o przekroju z poboczem bitumicznym (Z1) stwierdzono wzrost udziału niebezpiecznych odstępów przy małych natężeniach ruchu. Dodatkowym czynnikiem, który wpływa na przedmiotowy wzrost wartości U_{omb} na odcinkach o przekroju Z1 jest występowanie zabudowy, powiązane z limitem prędkości 50/60 km/h. Niezachowywanie bezpiecznych odstępów między pojazdami może być związane z wyższym standardem technicznym dróg z poboczami bitumicznymi, w tym z większą szerokością przekroju drogi, co stwarza subiektywne odczucie wzrostu brd i wpływa na skłonność kierowców do częstszego podejmowania ryzyka, obejmującego m.in. ryzykowne manewry wyprzedzania pomimo niewystarczającej widoczności. Potwierdzeniem skłonności kierowców do podejmowania ryzyka na drogach o przekroju Z1 są, obok małych odstępów między pojazdami, duże wartości prędkości średnich i odchylenia standardowego prędkości (rozd. 6.2.1) oraz największy udział przekroczeń prędkości dopuszczalnej (szczególnie w terenie zabudowanym).

Zarówno wzrost prędkości, jak i tendencja do niezachowywania bezpiecznych odstępów między pojazdami w pośredni sposób wyrażają wysokie zagrożenie wypadkowe na odcinkach z poboczami bitumicznymi, co zostało wskazane w programie GAMBIT 2005 [34] jako jeden z istotnych problemów brd w Polsce. W programie tym wprowadzono zalecenie przebudowy odcinków o ww. przekroju poprzecznym na przekrój 2+1 (z pasem do wyprzedzania).

6.3.3. Identyfikacja wpływu wybranych parametrów ruchu na udział niebezpiecznych odstępów między pojazdami

Analizy modelu kinematycznego ruchu, służącego określeniu wartości odstępów krytycznego dla każdej pary pojazdów, wskazują że na wyznaczoną na podstawie tego modelu wartość udziału odstępów niebezpiecznych mogą wpływać takie parametry ruchu, jak: prędkość pojazdów oraz udział pojazdów ciężkich w potoku ruchu. Ocenę wpływu prędkości średniej (V_{sr}) i udziału pojazdów ciężkich (U_c) na udział odstępów niebezpiecznych (U_{onb}) zrealizowano przy pomocy funkcji „Estymacja nieliniowa” w programie STATISTICA PL 7.1 [82].

Po wstępnych analizach i poszukiwaniu postaci równania regresji o najlepszym dopasowaniu do danych empirycznych przyjęto ogólną postać modelu estymacji udziału odstępów niebezpiecznych między pojazdami, wyrażoną następującym równaniem:

$$U_{onb} = \beta_1 \cdot x_1^{\beta_2} + x_2^{\beta_3} + x_3^{\beta_4} \quad (6.9)$$

gdzie:

- U_{onb} – udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami [-],
- x_1, x_2, x_3 – obserwowane nielosowe zmienne niezależne,
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – nieznane parametry modelu, współczynniki kierunkowe przy zmiennych szacowane w modelu najczęściej metodą największej wiarygodności.

We wszystkich zbudowanych modelach jako zmienną x_1 przyjęto natężenie ruchu Q [P/h/pas], ponieważ jest ono najsilniej skorelowane ze zmienną zależną. Pozostałe parametry ruchu (V_{sr} i U_c), które mają potencjalny wpływ na estymowaną wartość U_{onb} występowały w równaniu (6.9) jako zmienne x_2 oraz x_3 .

Ocenę istotności modelu regresyjnego zrealizowano przy pomocy wartości prawdopodobieństwa testowego p z akceptowanym poziomem istotności α wynoszącym 0,05. Dopasowanie modelu do obserwowanych danych zostanie ocenione przy pomocy wartości skorygowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_{sk}^2 [49] według wzoru (6.5).

W tabl. 6.13 zestawiono współczynniki kierunkowe przy zmiennych w 18 regresyjnych modelach estymacji udziału odstępów niebezpiecznych między pojazdami na drogach krajowych. W tabelicy uwzględniono jedynie modele, w których wszystkie zmienne objaśniające spełniły kryterium istotności statystycznej.

Istotność statystyczną wszystkich rozpatrywanych zmiennych niezależnych uzyskano jedynie w dwóch modelach (6.2.1 i 6.4.1) estymacji udziału odstępów niebezpiecznych (U_{onb}) przy świetle dziennym. W jednym z tych modeli (6.2.1) dodatkowa zmienna (U_c) nie wpływa na wzrost wartości skorygowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_{sk}^2 , tzn. nie poprawia stopnia objaśnienia zmiennej zależnej. Najwyższą wartość R_{sk}^2 (0,45) uzyskano w modelu (6.4.1) estymacji U_{onb} na przejściach drogowych przez miejscowości z pobocznymi bitumicznymi.

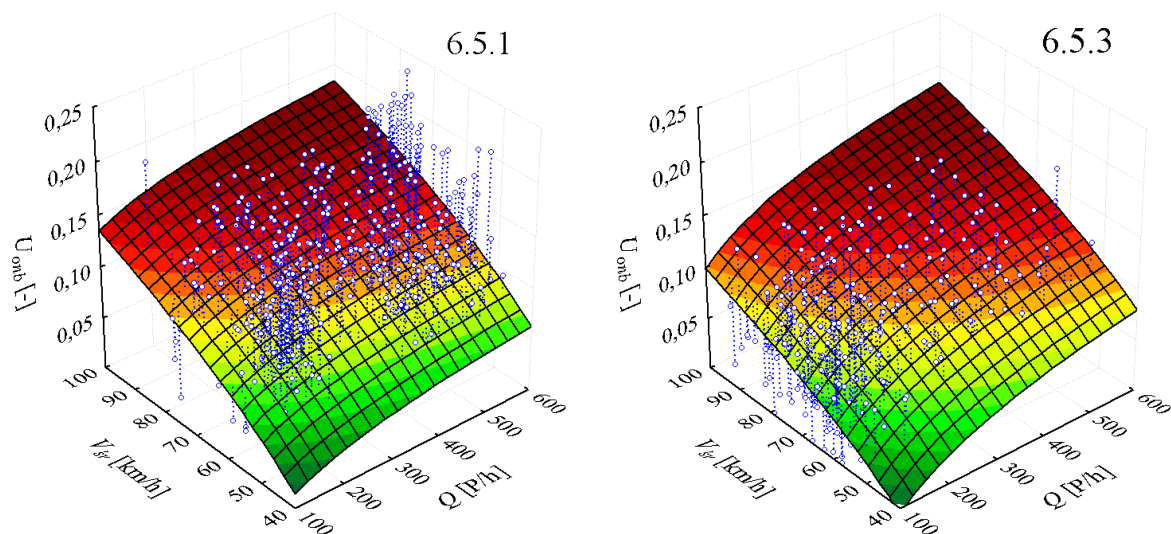
Tabl. 6.13. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach estymacji udziału odstępów niebezpiecznych między pojazdami na drogach krajowych.

Lp.	Pora doby	Typ przekroju	Limit prędkości	β_1	Q	V_{sr}	U_c	R_{sk}^2	
6.2.1	dzień	Z1	90	-1,842	-0,080	0,062	12,123	0,32	
6.2.2				-1,835	-0,079	0,062	-	0,32	
6.2.3				-1,473	-0,102	-	0,026	0,28	
6.2.4				0,006	0,554	-	-	0,26	
6.2.5				noc	0,004	0,644	-	-	0,30
6.3.1	dzień	Z2	90	-1,501	-0,043	0,062	-	0,18	
6.3.2				0,021	0,317	-	-	0,11	
6.3.3				noc	0,006	0,504	-	-	0,24
6.4.1	dzień	Z1	50/60	-2,034	-0,060	0,101	3,511	0,45	
6.4.2				-1,940	-0,053	0,103	-	0,40	
6.4.3				0,003	0,629	-	-	0,31	
6.4.4				noc	-1,348	-0,082	-	0,019	0,34
6.4.5				0,005	0,563	-	-	0,31	
6.5.1	dzień	M3	50/60	-1,518	-0,020	0,091	-	0,20	
6.5.2				-1,061	-0,039	-	0,030	0,14	
6.5.3	noc			-1,599	-0,036	0,081	-	0,19	
6.5.4				-1,198	-0,057	-	0,017	0,18	
6.5.5				0,011	0,373	-	-	0,10	

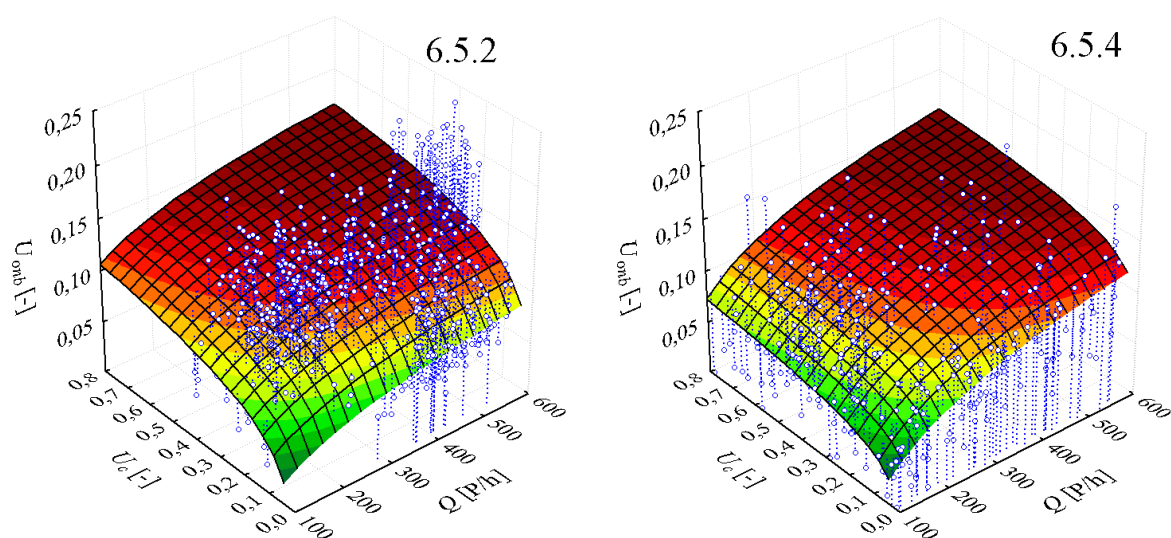
Wpływ prędkości (V_{sr}) i udziału pojazdów ciężkich (U_c) na udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami w różnych warunkach oświetlenia zidentyfikowano na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (z limitem prędkości 50/60 km/h) o przekroju M3 (z chodnikami zlokalizowanymi bezpośrednio przy jezdni po obu jej stronach). Ilustracje graficzne tych wpływów wykonane w programie STATISTICA PL 7.1 [82] przedstawiono na rys. 6.11 i rys. 6.12. Zarówno prędkość, jak i udział pojazdów ciężkich ma większy wpływ na estymowaną wartość U_{onb} przy świetle dziennym niż w nocy. 1-procentowy wzrost udziału odstępów niebezpiecznych występuje przy wzroście prędkości średniej o ok. 5 km/h w „dzień” i o ok. 6 km/h w „nocy” (rys. 6.11). Taki sam wzrost wartości U_{onb} (o ok. 1%) odnotowano przy zwiększeniu się wartości U_c o ok. 13% w „dzień” i ok. 23% w „nocy” (rys. 6.12). Ujawnienie się wpływu udziału pojazdów ciężkich na estymowaną wartość U_{onb} na odcinkach zabudowanych może być związane ze stałą, niezależnie od rodzaju pojazdu, prędkością dopuszczalną i wzrostem znaczenia występowania par „osobowy-ciężarowy”, które stwarzają szczególne zagrożenie w przy przejeździe przez miejscowość. Choć zaobserwowano różnice wpływu zmiennych niezależnych na estymowaną wartość U_{onb} w modelach obejmujących okresy „dnia” i „nocy” na odcinkach przejść przez miejscowości z chodnikami, to sam wpływ okresu doby na U_{onb} jest ograniczony ze względu na częste występowanie sztucznego oświetlenia i elementów uspokojenia ruchu, które minimalizują efekt braku naturalnego oświetlenia.

Na odcinkach poza zabudową z pobocznymi gruntowymi lub bitumicznymi wpływ V_{sr} i U_c na udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami zidentyfikowano jedynie w okresie światła dziennego. Niezależnie od typu przekroju poprzecznego i występowania zabudowy udział odstępów niebezpiecznych rośnie wraz ze wzrostem prędkości średniej pojazdów lub udziału pojazdów ciężkich. Wzrost ten wynosi 1% w przypadku wzrostu prędkości o 5-8 km/h lub udziału pojazdów ciężkich o ok. 15%. W nocy występowanie

niebezpiecznych odstępów poza obszarem zabudowy może być w większym stopniu determinowane specyficznymi dla tego okresu doby ograniczeniami widoczności oraz obniżeniem koncentracji i zmęczeniem kierujących pojazdami.



Rys. 6.11. Udziały odstępów niebezpiecznych w zależności od natężenia ruchu i prędkości średniej przy świetle dziennym (model 6.5.1) i w nocy (6.5.3) na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o przekroju M3.



Rys. 6.12. Udziały odstępów niebezpiecznych w zależności od natężenia ruchu i udziału pojazdów ciężkich przy świetle dziennym (model 6.5.2) i w nocy (6.5.4) na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o przekroju M3.

Różnice wpływu natężenia ruchu, prędkości i udziału pojazdów ciężkich na udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami przy świetle dziennym i w nocy zidentyfikowano jedynie na odcinkach, na których najczęściej występuje sztuczne oświetlenie i elementy uspokojenia ruchu. Przedmiotowe różnice mogą zatem jedynie w ograniczonym stopniu wynikać z braku naturalnego oświetlenia. Poza zabudową udział odstępów niebezpiecznych w nocy nie jest determinowany prędkością, ani udziałem pojazdów ciężkich.

6.3.4. Możliwość wykorzystania udziału tzw. „krótkich” odstępów między pojazdami w ocenie wpływu warunków oświetlenia na zagrożenie wypadkowe

Opisane w rozdziałach 6.3.1-6.3.3 analizy wpływu nocnych ograniczeń widoczności na wartości odstępów między pojazdami wykonano przy podobnych natężeniach ruchu w okresach „dnia” i „nocy”. Takie podejście było konieczne przy porównaniach zarówno rozkładów odstępów, jak i udziałów odstępów niebezpiecznych w obu rozpatrywanych okresach doby. Dzięki minimalizacji wpływu natężenia ruchu, możliwa była identyfikacja innych determinant występowania odstępów między pojazdami w różnych warunkach oświetlenia. W rzeczywistości występują duże dysproporcje natężeń ruchu pomiędzy okresami „dnia” i „nocy”. W wyniku selekcji natężeń ruchu należących do określonych przedziałów wartości, większość istotnych danych została odrzucona w dotychczasowych analizach, co może spowodować, że opis wpływu nocnych ograniczeń widoczności na odstępów między pojazdami będzie niepełny. Dlatego w niniejszym rozdziale zaproponowano metodę analiz, dzięki której możliwe jest wykorzystanie całej bazy danych o odstępach.

Przedmiotem niniejszego rozdziału jest przedstawienie możliwości wykorzystania udziału tzw. „krótkich” odstępów między pojazdami (I_{okr}), jako miary pośredniej w ocenie wpływu warunków oświetlenia na zagrożenie wypadkowe. Przedmiotowa ocena może być oparta na wynikach badań [22,79], w których wykazano statystyczną zależność częstotliwości kolizji w wyniku zderzenia tylnego od występowania niebezpiecznych odległości między pojazdami. Identyfikacja wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd przy pomocy odstępów między pojazdami może polegać na porównaniu ilorazu udziału wypadków w wyniku zderzenia tylnego w „nocy” i przy świetle dziennym (I_{zty}) z ilorazem udziału tzw. „krótkich” odstępów między pojazdami w obu porach doby (I_{okr}).

W celu identyfikacji zagrożenia związanego z jazdą ze zbyt krótkimi odstępami pomiędzy pojazdami można skorzystać z modelu [22], w którym zakłada się, że liczba zdarzeń drogowych (LW) jest iloczynem pojedynczego ryzyka zdarzenia (p) i liczby sytuacji (N), w których takie ryzyko może się pojawić (5.6). Jeżeli hipoteza o statystycznej zależności częstotliwości wypadków w wyniku zderzenia tylnego od występowania niebezpiecznych odstępów między pojazdami jest prawdziwa, to zachodzi następująca zależność:

$$I_{zty} = I_{okr} \cdot I_p \quad (6.10)$$

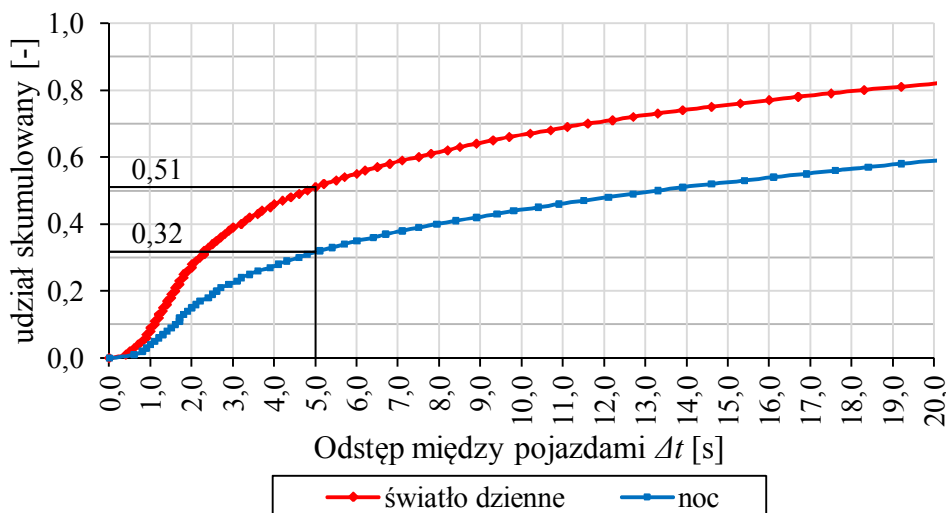
gdzie:

- I_{zty} – iloraz liczby wypadków w wyniku zderzenia tylnego w „nocy” i w „dzień” [-],
- I_{okr} – iloraz udziałów „krótkich” odstępów w „nocy” i w „dzień” [-],
- I_p – iloraz prawdopodobieństw wystąpienia konfliktu w ruchu w „nocy” i w „dzień” [-].

Na rys. 6.13 przedstawiono dystrybuanty odstępów między pojazdami przy świetle dziennym i w nocy na zamiejskich odcinkach z poboczami bitumicznymi (przekrój Z1). Dystrybuanty zostały wykonane w oparciu o dane empiryczne i dotyczą wszystkich odstępów między pojazdami bez względu na natężenia ruchu. Dystrybuanty odstępów na odcinkach o innych typach przekroju poprzecznego przedstawiono na rys. Z6.2 rys. Z6.5 w załączniku nr 3. Na rys. 6.13 zaprezentowano również sposób wyznaczenia udziałów tzw. „krótkich”

odstępów między pojazdami (U_{okr}). Przy użyciu tych udziałów możliwe jest wyznaczenie wartości I_{okr} . Wartość I_{zty} można uzyskać bezpośrednio z bazy danych o wypadkach.

Na podstawie analiz tzw. „krytycznych” odstępów między pojazdami, opisanych w rozdz. 6.3.2 i wyznaczonych ze wzoru (2.26) ustalono, że ok. 95% z nich jest mniejsza od 5 s. Dlatego na potrzeby analiz objętych niniejszym rozdziałem można założyć, że odstęp między pojazdami są „krótkie”, jeśli są mniejsze od 5 s.



Rys. 6.13. Porównanie dystrybucji odstępów między pojazdami przy świetle dziennym i w nocy i wyznaczenie udziałów tzw. „krótkich” odstępów na zamiejskich odcinkach dróg krajowych o przekroju Z1.

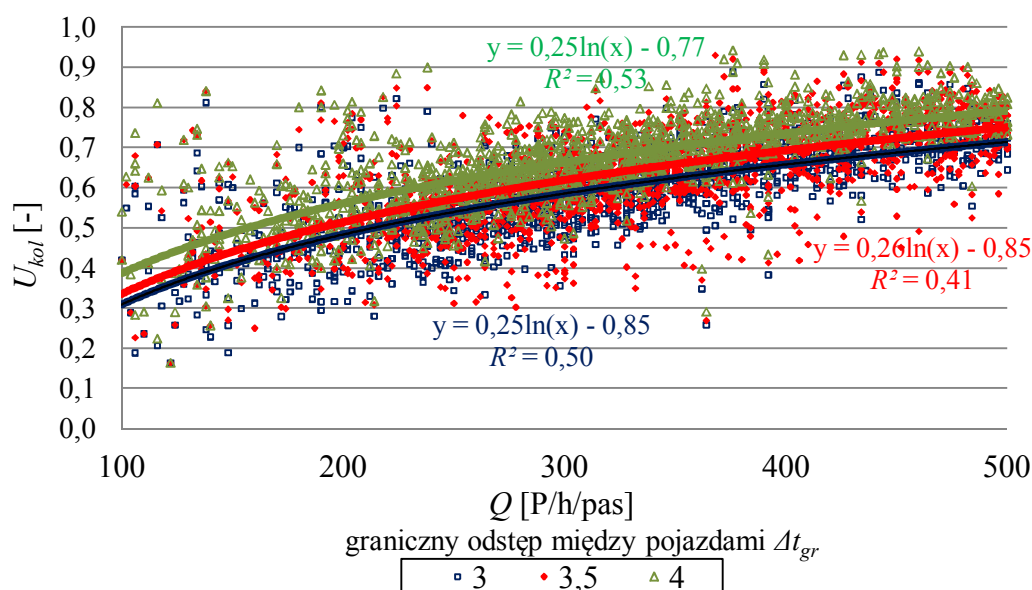
Nieznaną wartością w modelu (6.10) jest iloraz prawdopodobieństw wystąpienia konfliktu w ruchu w nocy i przy świetle dziennym (I_p). Metodę oszacowania prawdopodobieństwa wystąpienia konfliktu na skrzyżowaniach (przy przecięciu się kierunków ruchu) i na odcinkach między skrzyżowaniami (przy hamowaniu lub zatrzymaniu oraz podczas zmiany pasa ruchu lub wyprzedzania) przedstawiono w [22]. Zastosowanie przedmiotowych metod do oszacowania wartości I_p wymaga przeprowadzenia oddzielnych badań (o dużym zakresie, nie mieszczącym się w ramach niniejszej rozprawy) polegających m.in. na identyfikacji natężeń ruchu pieszego i kołowego, w tym natężeń z wlotów bocznych na skrzyżowaniach i zjazdach z drogi. Znajomość wartości I_p powinna pozwolić na określenie, w jakim stopniu różnicę zagrożenia wystąpieniem wypadku w wyniku zderzenia tylnego w nocy i przy świetle dziennym można przypisać niezachowywaniu bezpiecznych odstępów między pojazdami. Jednocześnie powinna uwidocznic się rola ograniczeń widoczności w występowaniu przedmiotowych wypadków.

Na podstawie przeprowadzonych ocen możliwe będzie określenie, czy hipoteza o statystycznej zależności częstotliwości wypadków w wyniku zderzenia tylnego od występowania niebezpiecznych odstępów między pojazdami jest prawdziwa i czy może być ona również stosowana dla różnych warunków ruchu, charakterystycznych dla rozpatrywanych okresów doby.

W ocenie wpływu warunków oświetlenia na zagrożenie wypadkowe możliwe jest również wykorzystanie, jako miary pośredniej, udziału pojazdów jadących w kolumnach (U_{kol} ; rozdz. 6.4.1 i 6.4.2).

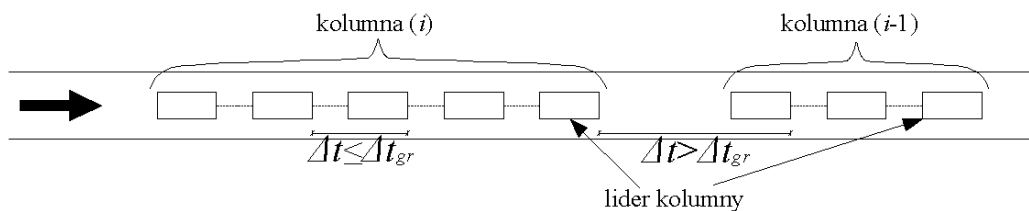
6.4. Analizy ruchu kolumnowego w różnych warunkach oświetlenia

Według [32] potok pojazdów składa się z ruchu swobodnego oraz wymuszonego. Ruch wymuszony jest związany z poruszaniem się pojazdów w kolumnie. Wg różnych źródeł literatury [71,75,89] jako graniczną wartość odstępu między pojazdami (Δt_{gr}), poniżej której możemy mówić o ruchu wymuszonym przyjmuje się 3-4 s, w zależności nie tylko od uwarunkowań ruchu, ale także od przyjmowanych hipotez o wzajemnym oddziaływaniu na siebie kierujących pojazdami. Analiza wrażliwości formuły szacowania udziału ruchu w kolumnach w zależności od przyjęcia granicznego odstępu w klasyfikacji ruchu kolumnowego przedstawiona na rys. 6.14 doprowadziła do wniosku, że wartość udziału pojazdów traktowanych jako jadących w kolumnach (U_{kol}) wzrasta o ok. 8-9%, gdy Δt_{gr} zwiększa się z 3 do 4 s. Równocześnie zauważono, że wpływ ten jest niezależny od natężenia ruchu, tzn. zmiana wartości odstępu granicznego nie powoduje zmiany charakteru zależności udziału pojazdów jadących w ruchu kolumnowym od natężenia ruchu. Podobną wrażliwość na zmianę wartości Δt_{gr} wykazywały inne charakterystyki ruchu kolumnowego. Na podstawie powyższych wniosków oraz wiedzy zaczerpniętej z innych prac, do dalszych analiz zdecydowano się przyjąć graniczną wartość odstępu w klasyfikacji ruchu kolumnowego równą 3,5 s. Ponadto założono, że minimalna liczebność kolumny wynosi 3 pojazdy. Uwzględnienie kolumn 2-pojazdowych mogłoby doprowadzić do dużego podobieństwa przedmiotowych analiz z badaniami udziału odstępu niebezpiecznych i „krótkich” odstępu między pojazdami, opisanych w rozdz. 6.3.



Rys. 6.14. Zależność udziału pojazdów jadących w kolumnach od natężenia ruchu przy różnych wartościach granicznych odstępu między pojazdami (Δt_{gr}), poniżej której ruch jest traktowany jako wymuszony na przykładzie odcinków przejść dróg krajowych przez miejscowości.

Ogólny schemat tworzenia się kolumn pojazdów, polegający na dojeździe pojazdu do poruszającej się kolumny prowadzonej przez „lidera” pokazano na rys. 6.15. Jako odstęp rzeczywisty (Δt) i graniczny (Δt_{gr}) przyjmowano odstęp „front pojazdu – front pojazdu”, tj. od tego odstępu nie odejmowano okresu czasu, jaki potrzebny jest do pokonania odległości równej długości pojazdu.



Rys. 6.15. Schemat tworzenia się kolumn pojazdów.

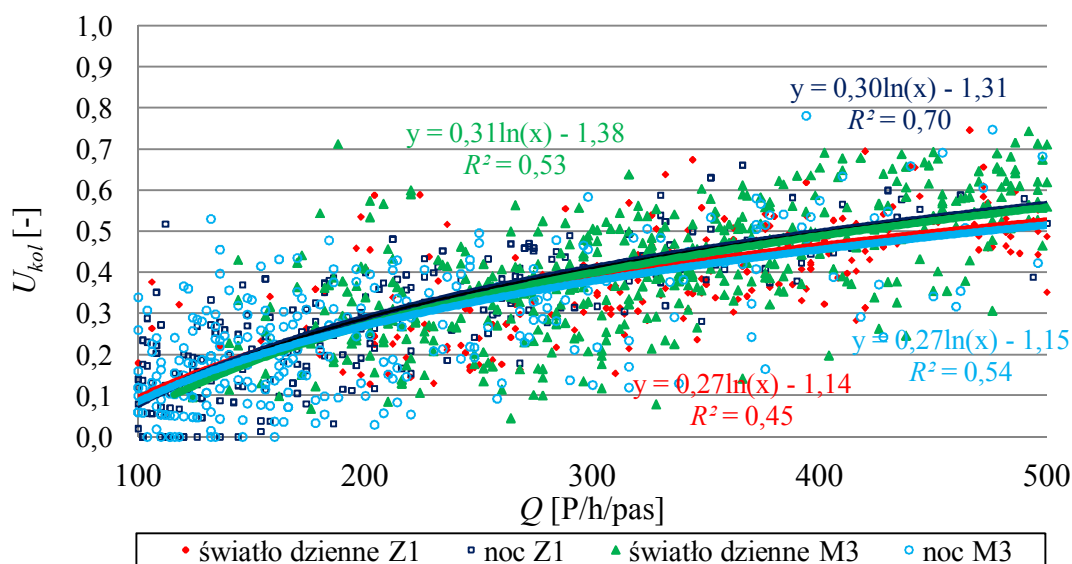
Głównym celem badań objętych niniejszym rozdziałem będzie weryfikacja hipotezy o wpływie warunków oświetlenia na tworzenie się kolumn oraz na ich charakterystykę (liczba pojazdów, odstęp między pojazdami w kolumnach).

6.4.1. Porównanie udziału pojazdów jadących w kolumnach w różnych porach doby

Odcinki przechodzące przez małe miejscowości z limitem prędkości 50/60 km/h

Na rys. 6.16 przedstawiono porównanie wpływu natężenia ruchu na udział pojazdów jadących w kolumnach (U_{kol}) w różnych okresach doby na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości, wyróżniając dwa typy przekroju poprzecznego (M3 i Z1).

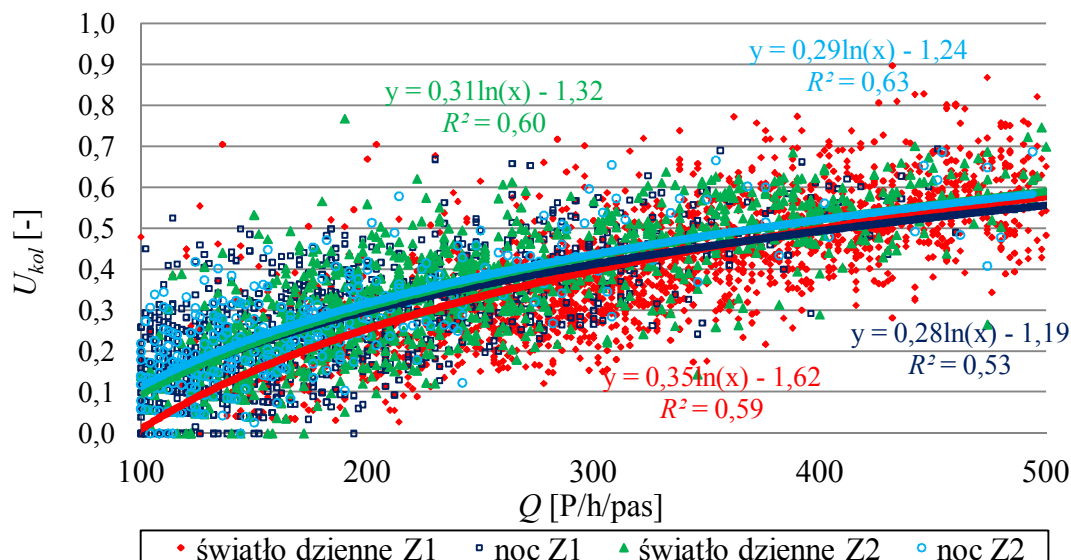
Na odcinkach o przekroju Z1 (z poboczem bitumicznym) wartość U_{kol} jest większa w „nocy” niż w „dzień”. Różnica ta wzrasta wraz ze wzrostem natężenia ruchu i przy natężeniu $Q=500$ P/h/pas wynosi średnio 4,5% (rys. 6.16). Na odcinkach o przekroju M3 (z chodnikami po obu stronach drogi) większy udział pojazdów jadących w kolumnach zanotowano przy świetle dziennym niż w nocy. Przedmiotowa różnica również rośnie wraz ze wzrostem natężenia ruchu Q i dla $Q=500$ P/h/pas wynosi średnio 4,5%.

Rys. 6.16. Porównanie wpływu natężenia ruchu na udział pojazdów jadących w kolumnach (U_{kol}) w różnych okresach doby na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości.

Ujawnienie się wpływu nocnych ograniczeń widoczności na tendencję do jazdy w kolumnach na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości o przekroju Z1 może być związane z rzadszym niż na odcinkach z chodnikiem (przekrój M3), występowaniem sztucznego oświetlenia i elementów uspokojenia ruchu.

Odcinki na drogach zamiejskich z limitem prędkości 90 km/h

W „nocy” na zamiejskich odcinkach dróg krajowych o przekroju Z1 (z pobocznymi bitumicznymi) przy mniejszych natężeniach ruchu udział pojazdów jadących w kolumnach (U_{kol}) jest większy niż w „dzień” (rys. 6.17). Przy natężeniu ruchu 100 P/h/pas różnica wartości U_{kol} w nocy i przy świetle dziennym wynosi 9,1%.



Rys. 6.17. Porównanie wpływu natężenia ruchu na udział pojazdów jadących w kolumnach (U_{kol}) w różnych okresach doby na zamiejskich odcinkach dróg krajowych.

Na przedmiotowy wzrost udziału pojazdów jadących w kolumnach na zamiejskich odcinkach z pobocznymi bitumicznymi w nocy mogą mieć wpływ następujące czynniki:

- Większy udział pojazdów ciężkich w „nocy”, który powoduje większe zróżnicowanie prędkości pojazdów oraz wzrost zapotrzebowania na wyprzedzanie. Ograniczenia możliwości wyprzedzania (ograniczenia widoczności, ruch z przeciwnego kierunku) powodują powstawanie kolumn pojazdów, których liderem z reguły jest pojazd ciężki;
- Mniejsza widoczność oraz zjawisko olśnienia i trudność w oszacowaniu odległości do pojazdu jadącego z przeciwka nawet w nocy, które mogą powodować niepewność w podjęciu manewru wyprzedzania, co sprzyja tworzeniu się kolumn.

Na zamiejskich odcinkach dróg o przekroju Z2 (z pobocznymi gruntowymi) nie rozpoznano istotnego statystycznie wpływu pory doby na występowanie kolumn pojazdów.

6.4.2. Identyfikacja wpływu wybranych parametrów ruchu na udział pojazdów jadących w kolumnach

Na powstawanie kolumn pojazdów, poza natężeniem ruchu, mogą również mieć wpływ inne parametry ruchu drogowego. W celu identyfikacji takiego wpływu, przy użyciu funkcji „Estymacja nieliniowa” w programie STATISTICA PL 7.1 [49,82] zbudowano regresyjne modele estymacji udziału pojazdów jadących w kolumnach (U_{kol}) w różnych porach doby. Jako zmienne objaśniające w przedmiotowych modelach obok natężenia ruchu Q przyjęto oddzielnie udział pojazdów ciężkich (U_c) oraz prędkość średnią (V_{sr}). Postać modelu estymacji U_{kol} jest wyrażona następującym równaniem:

$$y = \beta_1 \cdot x_1^{\beta_2} + x_2^{\beta_3} + x_3^{\beta_4} \quad (6.11)$$

gdzie:

- y – zmienna zależna,
 x_1, x_2, x_3 – obserwowane nielosowe zmienne niezależne,
 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ – nieznane parametry modelu, współczynniki kierunkowe przy zmiennych szacowane w modelu najczęściej metodą największej wiarygodności.

Zmienną zależną (y) w modelu (6.11) jest udział pojazdów jadących w kolumnach [-]. Jako zmienną x_1 przyjęto natężenie ruchu Q [P/h/pas], ponieważ jest ono najsilniej skorelowane ze zmienną zależną. Prędkość średnia (V_{sr}) oraz udział pojazdów ciężkich (U_c) występowały w równaniu (6.11) jako zmienne x_2 i x_3 . W ocenie istotności modelu regresyjnego wykorzystano prawdopodobieństwo testowe p [49] z akceptowanym poziomem istotności $\alpha = 0,05$. Dopasowanie modelu do obserwowanych danych oceniono przy pomocy wartości skorygowanego współczynnika korelacji wielowymiarowej R_{sk}^2 (6.5).

W tabl. 6.14 zestawiono współczynniki kierunkowe przy zmiennych w 16 regresyjnych modelach estymacji udziału pojazdów jadących w kolumnach na drogach krajowych. W tabelicy uwzględniono jedynie modele, w których wszystkie zmienne objaśniające spełniły kryterium istotności statystycznej.

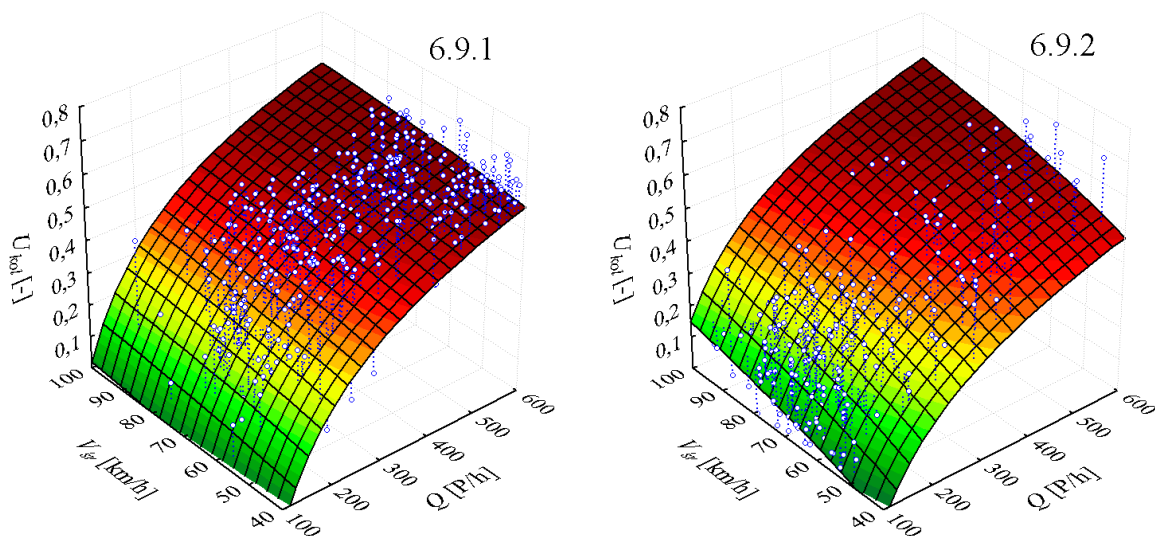
W żadnym ze zbudowanych modeli nie uzyskano istotności statystycznej wszystkich rozpatrywanych zmiennych niezależnych (Q , V_{sr} i U_c). W modelach estymacji udziału pojazdów jadących w kolumnach (U_{kol}) uzyskano znacznie większe wartości R_{sk}^2 (0,48-0,69) niż w modelach estymacji U_{omb} , opisanych w rozdz. 6.3.3. Duże wartości R_{sk}^2 świadczą o wiarygodności modeli i ich dobrym dopasowaniu do danych empirycznych.

Tabl. 6.14. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach estymacji udziału pojazdów jadących w kolumnach na drogach krajowych.

Lp.	Pora doby	Typ przekroju	Limit prędkości	β_1	Q	V_{sr}	U_c	R_{sk}^2
6.6.1	dzień	Z1	90	-9,528	-0,471	-	-0,049	0,56
6.6.2	noc			-4,969	-0,368	-	-0,014	0,52
6.7.1	dzień	Z2		-5,154	-0,306	0,066	-	0,57
6.7.2	noc			-5,106	-0,375	-	-0,024	0,62
6.8.1	dzień	Z1	50/60	0,006	0,735	-	-	0,48
6.8.2	noc			-8,547	-0,488	-	0,046	0,69
6.9.1	dzień	M3		-6,801	-0,354	0,065	-	0,52
6.9.2	noc			-4,312	-0,215	0,122	-	0,55

Wpływ prędkości (V_{sr}) na udział pojazdów jadących w kolumnach (U_{kol}) w różnych porach doby zidentyfikowano na odcinkach zabudowanych o przekroju M3 (z chodnikami po obu stronach jezdni). Graficzna ilustracja tego wpływu w programie STATISTICA PL 7.1 [49,82] została przedstawiona na rys. 6.18. Prędkość ma większy wpływ na wartość U_{kol} w „nocy” niż w „dzień”. Około 1-procentowy wzrost pojazdów jadących w kolumnach odnotowano przy zwiększeniu się wartości V_{sr} o ok. 7 km/h w „dzień” i ok. 3 km/h w „nocy”. Wzrost wartości U_{kol} wraz ze wzrostem V_{sr} w nocy na odcinkach o przekroju M3 może być związany ze spadkiem aktywności otoczenia i większą skłonnością do podejmowania ryzyka przez kierowców. Spośród odcinków o innych typach przekroju poprzecznego wpływ V_{sr} na estymowaną wartość U_{kol} zidentyfikowano jedynie w okresie dnia na zamiejskich odcinkach

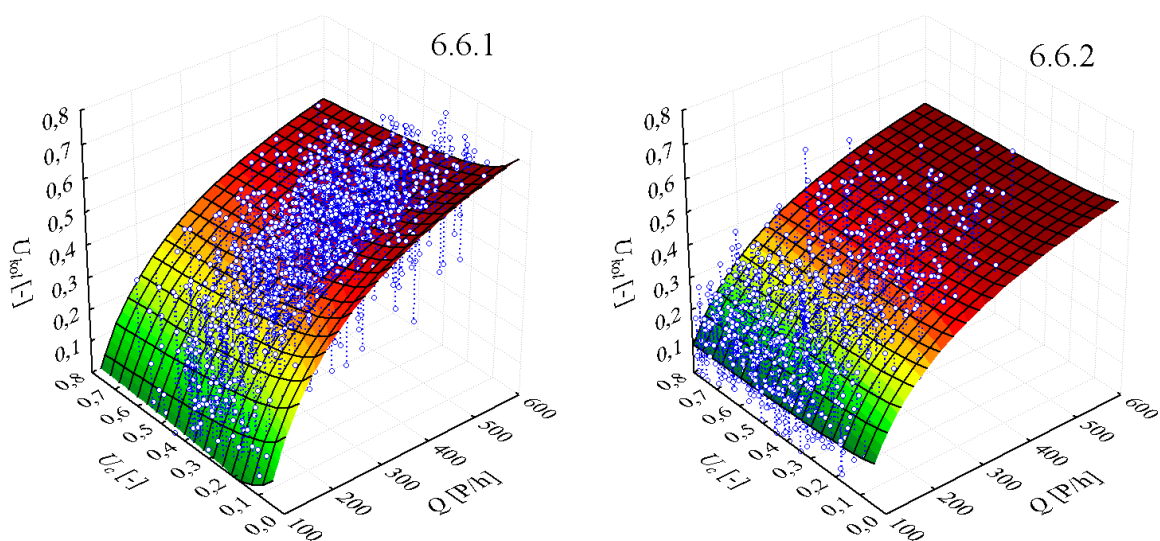
z poboczami gruntowymi (przekrój Z2). Wzrost wartości U_{kol} na tych odcinkach o 1% zanotowano przy zwiększeniu się V_{sr} o ok. 7 km/h.



Rys. 6.18. Udziały pojazdów jadących w kolumnach w zależności od natężenia ruchu i prędkości średniej przy świetle dziennym (model 6.9.1) i w nocy (6.9.2) na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o przekroju M3.

Różnice wpływu natężenia ruchu i prędkości średniej na udział pojazdów jadących w kolumnach przy świetle dziennym i w nocy, zidentyfikowane jedynie na odcinkach, na których najczęściej występuje sztuczne oświetlenie i elementy uspokojenia ruchu świadczą o niewielkim wpływie nocnych ograniczeń widoczności na wartość U_{kol} .

Wpływ udziału pojazdów ciężkich (U_c) na udział pojazdów jadących w kolumnach (U_{kol}) w różnych warunkach oświetlenia stwierdzono na zamiejskich odcinkach dróg krajowych o przekroju Z1 (z poboczami bitumicznymi). Ok. 1% spadek estymowanej wartości U_{kol} występuje wraz ze wzrostem U_c o ok. 7% w „dzień” i ok. 25% w „nocy” (rys. 6.19).



Rys. 6.19. Udziały pojazdów jadących w kolumnach w zależności od natężenia ruchu i udziału pojazdów ciężkich przy świetle dziennym (model 6.6.1) i w nocy (6.6.2) na zamiejskich odcinkach dróg krajowych o przekroju Z1.

Spadek udziału ruchu kolumnowego wraz ze wzrostem wartości U_c przy świetle dziennym na odcinkach o przekroju Z1 poza zabudową może wynikać z dużej szerokości przekroju z poboczami bitumicznymi, co przy dobrej widoczności w „dzień” sprzyja wyprzedzaniu pojazdów ciężkich i potencjalnie wpływa na rozładowanie się kolumn. Na odcinkach z poboczami gruntowymi poza zabudową i bitumicznymi w obrębie zabudowy wpływ udziału pojazdów ciężkich na udział pojazdów jadących w kolumnach zidentyfikowano jedynie w okresie „nocy”. Wartość U_{kol} rośnie o 1% wraz ze spadkiem wartości U_c o ok. 15% na zamiejskich odcinkach dróg krajowych o przekroju Z2 lub ze wzrostem U_c o ok. 9% na odcinkach o przekroju Z1 na obszarze zabudowanym.

Różny w rozpatrywanych porach doby wpływ natężenia ruchu i U_c na udział pojazdów jadących w kolumnach na zamiejskich odcinkach z poboczami bitumicznymi można w dużym stopniu przypisać warunkom nocnych ograniczeń widoczności.

6.4.3. Analizy wpływu warunków oświetlenia na wybrane parametry ruchu kolumnowego

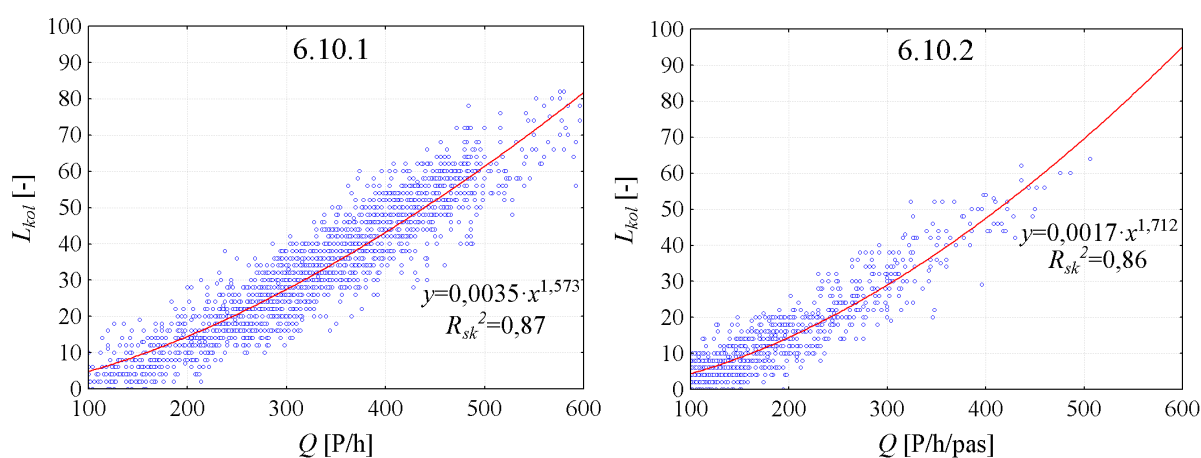
Celem analiz objętych niniejszym rozdziałem jest rozpoznanie wpływu warunków oświetlenia na następujące parametry ruchu kolumnowego: liczbę kolumn (L_{kol}), średnią ($L_{poj_kol_sr}$) i maksymalną ($L_{poj_kol_max}$) liczbę pojazdów w kolumnie, udział odstępów niebezpiecznych w kolumnach (U_{onb_kol}) oraz udział wszystkich par pojazdów „osobowy-osobowy” ($U^{o-o}_{onb_kol}$), „osobowy-ciężarowy” ($U^{o-c}_{onb_kol}$), „ciężarowy-osobowy” ($U^{c-o}_{onb_kol}$) i „ciężarowy-ciężarowy” ($U^{c-c}_{onb_kol}$) wśród odstępów niebezpiecznych w kolumnach. Jako podstawę do określenia, czy dany odstęp między pojazdami w kolumnie jest niebezpieczny przyjęto zależność (2.26), opisaną w rozdz. 6.3.2. Uwzględnienie jedynie niebezpiecznych odstępów w analizie par pojazdów miało na celu ocenę zagrożenia wystąpieniem wypadku w wyniku zderzenia tylnego w kolumnach. W ten sposób odrzucono z analiz par pojazdów kolumny, w których nie obserwuje się znacznych zakłóceń w ruchu, tj. takie, w których różnice prędkości pomiędzy pojazdami są nieznaczne lub odstęp są zbliżone do granicznej wartości 3,5 s.

Modele estymacji parametrów ruchu kolumnowego zbudowano przy użyciu funkcji „Estymacja nieliniowa” w programie STATISTICA PL 7.1 [49,82] zgodnie ze wzorem (6.11). Jako zmienną zależną (y) przyjmowano kolejno każdy analizowany parametr. Zmiennymi niezależnymi (x_1 , x_2 i x_3) w modelach były: natężenie ruchu Q [P/h/pas], prędkość średnia (V_{sr}) oraz udział pojazdów ciężkich (U_c). Jako zmienną x_1 , która z założenia jest najbardziej skorelowana ze zmienną zależną, w większości modeli przyjęto Q . W przypadku modeli estymacji parametrów, które są w dużym stopniu zależne od udziału pojazdów ciężkich, podjęto również próby uwzględnienia zmiennej U_c jako x_1 równaniu (6.11).

Analizy wpływu warunków oświetlenia na parametry ruchu kolumnowego doprowadziły do następujących wniosków:

- Zgodnie z interpretacją fizyczną formowania się kolumn pojazdów, natężenie ruchu ma silny wpływ na liczbę kolumn oraz średnią i maksymalną liczbę pojazdów w kolumnie. Udział par pojazdów „osobowy-osobowy”, ($U^{o-o}_{onb_kol}$) i „ciężarowy-ciężarowy”, ($U^{c-c}_{onb_kol}$) wśród odstępów niebezpiecznych w kolumnach jest natomiast zależny od udziału pojazdów ciężkich;

- Liczba kolumn pojazdów jest niezależna od V_{sr} i U_c , tzn. Q jest jedyną zmienną objaśniającą w regresyjnych modelach estymacji L_{kol} (tabl. Z6.5 w załączniku nr 3). Pora doby wpływa na estymowaną wartość L_{kol} jedynie na odcinkach niezabudowanych o przekroju Z1 oraz zabudowanych o przekroju M3. Na zamiejskich odcinkach z poboczami bitumicznymi wraz ze wzrostem Q (szczególnie przy $Q > 300$ P/h/pas) zaobserwowano tendencję do występowania większej liczby kolumn w nocy niż w „dzień” (rys. 6.20), co może być związane z większym udziałem pojazdów ciężkich, które często występują w roli liderów kolumn. Na odcinkach zabudowanych z chodnikami dla $Q < 400$ P/h/pas liczba kolumn jest wyraźnie mniejsza w „nocy” niż w „dzień”, co może być efektem spadku aktywności otoczenia oraz zmian zachowań kierujących pojazdami, w tym wzrostu skłonności do podejmowania ryzyka. Duże wartości współczynników R_{sk}^2 (0,86-0,90) w modelach estymacji liczby kolumn wskazują na bardzo dobre dopasowanie modeli do obserwowanych danych;



Rys. 6.20. Porównanie wpływu natężenia ruchu (Q) na liczbę kolumn (L_{kol}) w różnych okresach doby na zamiejskich odcinkach dróg krajowych z poboczami bitumicznymi.

- Tylko do trzech modeli estymacji średniej liczby pojazdów w kolumnie ($L_{poj_kol_sr}$) włączono inne, poza natężeniem ruchu, zmienne objaśniające. Prędkość średnia (V_{sr}) i udział pojazdów ciężkich (U_c) nie mają wpływu na poprawę objaśnienia modeli (nie powodują wzrostu wartości R_{sk}^2 o min. 0,02). Małe wartości R_{sk}^2 (0,18-0,36) modeli estymacji $L_{poj_kol_sr}$ świadczą o dużym rozproszeniu obserwowanych danych;
- W nocy na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości o przekroju Z1 (z poboczami bitumicznymi) średnia liczba pojazdów w kolumnie ($L_{poj_kol_sr}$) wzrasta wraz z rosnącym natężeniem ruchu dużo szybciej niż przy świetle dziennym (tabl. Z6.6 w załączniku nr 3). Na odcinkach z chodnikiem przy mniejszych natężeniach ruchu kolumny w „nocy” składają się z większej liczby pojazdów niż w „dzień”;
- Okres doby ma największy wpływ na wartość $L_{poj_kol_sr}$ na zamiejskich odcinkach o przekroju Z1 (tabl. Z6.6). Przy małym natężeniu ruchu ($Q = 100-200$ P/h/pas) wartość $L_{poj_kol_sr}$ na przedmiotowych odcinkach w „nocy” jest większa niż w „dzień”, a przy większych natężeniach - większa w „dzień” niż w „nocy”. Wpływ natężenia ruchu na wartość $L_{poj_kol_sr}$ jest podobny, jak na udział pojazdów jadących w kolumnach (rys. 6.17). Na odcinkach z poboczami gruntowymi (przekrój Z2) nie zaobserwowano wpływu pory doby na średnią liczbę pojazdów w kolumnie;

- Udział odstępów niebezpiecznych w kolumnach (U_{onb_kol}) nie zależy od pory doby, natężenia ruchu, występowania zabudowy, ani typu przekroju poprzecznego i wynosi 71-77%, co świadczy o dużych zakłóceniach ruchu w kolumnach, związanych bardziej z indywidualnymi cechami kierowców niż z charakterystykami drogi i jej otoczenia;
- Wzrost udziału pojazdów ciężkich (U_c) powoduje spodziewany spadek udziału par „osobowy-osobowy” ($U_{o-o}_{onb_kol}$; tabl. Z6.7) oraz wzrost udziału par „ciężarowy-ciężarowy” ($U_{c-c}_{onb_kol}$; tabl. Z6.9) wśród odstępów niebezpiecznych w kolumnach;
- Na odcinkach w terenie zabudowanym pora doby nie wpływa na wartość spadku $U_{o-o}_{onb_kol}$ wraz ze wzrostem wartości U_c . Na zamiejskich odcinkach o przekroju Z1 (z poboczami bitumicznymi) spadek $U_{o-o}_{onb_kol}$ jest znacznie większy w nocy niż przy świetle dziennym (tabl. Z6.7). Większy spadek $U_{o-o}_{onb_kol}$ w „dzień” niż w „nocy” występuje na odcinkach o przekroju Z2 (z poboczami gruntowymi);
- Pora doby nie ma wpływu na wzrost wartości $U_{c-c}_{onb_kol}$ na odcinkach o przekroju Z1, niezależnie od występowania zabudowy. Na odcinkach o przekroju Z2 poza zabudową i o przekroju M3 (z chodnikami) w obrębie zabudowy wzrost udziału par „ciężarowy-ciężarowy” jest większy przy świetle dziennym niż w nocy (tabl. Z6.9);
- Udział par „osobowy-ciężarowy” wśród odstępów niebezpiecznych w kolumnach ($U_{o-c}_{onb_kol}$) jest niezależny od U_c , typu przekroju poprzecznego, występowania zabudowy, ani od warunków oświetlenia i średnio wynosi 6-7%;
- Udział pojazdów ciężkich (U_c) wpływa na udział par „ciężarowy-osobowy” wśród odstępów niebezpiecznych w kolumnach ($U_{c-o}_{onb_kol}$) jedynie na odcinkach zabudowanych (tabl. Z6.8 w załączniku nr 3). Duże różnice wartości R_{sk}^2 oraz różne postaci modeli estymacji $U_{c-o}_{onb_kol}$, których zmienne spełniały kryterium istotności statystycznej nie pozwalają na jednoznaczną identyfikację wpływu pory doby na udział par „ciężarowy-osobowy” wśród odstępów niebezpiecznych w kolumnach;

Największy wpływ pory doby na parametry ruchu kolumnowego zaobserwowano na zamiejskich odcinkach dróg z poboczami bitumicznymi. Wraz ze wzrostem natężenia ruchu na tych odcinkach liczba kolumn wzrasta szybciej w „nocy” niż w „dzień”, co może być związane ze wzrostem udziału pojazdów ciężkich, będących często liderami kolumn poza obszarem zabudowy. Jednocześnie kolumny na przedmiotowych odcinkach w nocy składają się z mniejszej liczby pojazdów niż w dzień, co można wytłumaczyć większą szerokością przekroju z poboczami bitumicznymi, skłaniającą część kierowców do podejmowania ryzykownych manewrów wyprzedzania pomimo niepewności związanej ze zjawiskiem olśnienia i trudnością z oszacowaniem odległości do pojazdu jadącego z przeciwka.

6.5. Wnioski z ocen wpływu warunków oświetlenia na pośrednie miary brd

Analizy wpływu nocnych ograniczeń widoczności na tzw. pośrednie miary zagrożenia wypadkowego, tj. prędkość i odstęp między pojazdami w potoku ruchu i w ruchu kolumnowym pozwoliły w szczególności na:

- uzupełnienie wiedzy na temat specyfiki ruchu w nocy, w tym zmian wartości oraz statystyk parametrów ruchu,

- rozpoznanie zależności pomiędzy parametrami ruchu a cechami infrastruktury drogowej (występowaniem zabudowy i typem przekroju poprzecznego) w różnych warunkach oświetlenia,
- ocenę wpływu różnych okresów doby na pośrednie miary zagrożenia brd.

W tabl. 6.15 przedstawiono zbiorcze porównanie ilościowe zmian wartości wszystkich analizowanych pośrednich miar brd w warunkach nocnych ograniczeń widoczności.

Największą wrażliwość na nocne ograniczenia widoczności, wyrażoną zmianami wartości wszystkich rozpatrywanych miar pośrednich, zidentyfikowano na odcinkach z poboczami bitumicznymi (przekrój Z1). Niezależnie od występowania zabudowy, na przedmiotowych odcinkach w nocy obserwowano wzrost udziału odstępów niebezpiecznych oraz udziału pojazdów jadących w kolumnach w stosunku do okresu światła dziennego. Odcinki o przekroju Z1 poza zabudową charakteryzują się również największym spadkiem prędkości średniej w nocy.

Na odcinkach o przekroju Z2 (z poboczami gruntowymi) nie zidentyfikowano wpływu oświetlenia na kształtowanie się odstępów między pojazdami i kolumn pojazdów. Odcinki te charakteryzują się również najmniejszymi zmianami prędkości w nocy w stosunku do okresu światła dziennego.

Odcinki w terenie zabudowanym z chodnikami po obu stronach jezdni (przekrój M3) charakteryzują się największym wzrostem prędkości w nocy. Charakterystyczny dla przedmiotowych odcinków jest również spadek udziału pojazdów jadących w kolumnach wraz z pogorszeniem warunków widoczności.

Tabl. 6.15. Podsumowanie ilościowe zmian wartości pośrednich miar brd w warunkach nocnych ograniczeń widoczności.

Miara pośrednia	Limit prędkości	Typ przekroju	Wpływ okresu doby noc/dzień
V_{sr}	50/60	Z1	wzrost o 3,4%
		Z2	wzrost o 1,5%
		M3	wzrost o 5,7%
	90	Z1	spadek o 2,8%
		Z2	spadek o 2,3%
		Z3	brak wpływu
U_{onb}	50/60	Z1	wzrost o 3,8-4,2% niezależny od Q i t_r
		Z2	zmiana wynika jedynie z przyjęcia różnych wartości t_r
		M3	zmiana wynika jedynie z przyjęcia różnych wartości t_r
	90	Z1	wzrost o 1,9-4,5% (wraz ze wzrostem Q) niezależny od t_r
		Z2	zmiana wynika jedynie z przyjęcia różnych wartości t_r
U_{kol}	50/60	Z1	wzrost o 0-4,5% wraz ze wzrostem Q
		M3	spadek o 0-4,5% wraz ze wzrostem Q
	90	Z1	wzrost o 0-9,1% wraz ze spadkiem Q
		Z2	brak wpływu

- V_{sr} – prędkość średnia [km/h],
 U_{onb} – udział odstępów niebezpiecznych [-],
 U_{kol} – udział pojazdów jadących w kolumnach [-],
 Q – natężenie ruchu [P/h/pas],
 t_r – czas reakcji kierowcy pojazdu jadącego z tyłu w parze pojazdów [s].

7. WNIOSKI ORAZ KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

Zarówno wyniki badań, w tym analiz modelowych, przeprowadzonych w ramach niniejszej rozprawy, jak i studia literatury, potwierdzają dużą rolę warunków oświetlenia wśród czynników determinujących bezpieczeństwo ruchu drogowego. Wszystkie badania wskazują jednoznacznie na:

- Wzrost zagrożenia wypadkowego w warunkach nocnych ograniczeń widoczności, który oceniono średnio na 40-50% w stosunku do okresu światła dziennego;
- Wzrost ciężkości wypadków w nocy;
- Większy wpływ ciemności na wzrost zagrożeń i ryzyka w ruchu drogowym na odcinkach niezurbanizowanych niż w obrębie zabudowy;
- Bardzo duży (1,4-6,5-krotny) wzrost ryzyka wypadku z udziałem pieszych w nocy, pomimo znacznego spadku natężenia tych uczestników ruchu w stosunku do okresu światła dziennego;
- Wzrost ryzyka wypadków z udziałem młodych kierowców w nocy, co wynika z braku doświadczenia i skłonności do ryzykownych zachowań.

Zwiększone zagrożenie wypadkowe w warunkach nocnych ograniczeń widoczności jest związane ze specyficznymi dla tego okresu uwarunkowaniami ruchu, które obejmują w szczególności:

- Funkcjonowanie człowieka jako uczestnika ruchu w nocy, w tym m.in.: wzrost wartości czasu reakcji wraz ze spadkiem jasności i kontrastu obserwowanych obiektów; dyskomfort świetlny związany ze zjawiskiem olśnienia lub niedostatecznego oświetlenia; trudność prawidłowego oszacowania odległości; problem z dostrzeganiem przeszkód znajdujących się w bezpośrednim otoczeniu drogi; wzrost roli zmęczenia i osłabienia koncentracji; nieświadomość wzrostu ryzyka poruszania się w nocy, szczególnie w grupie pieszych i rowerzystów; nakładanie się ograniczeń sprawności powodowanych spożyciem alkoholu lub innych środków odurzających na ograniczenia warunków percepcji drogi;
- Warunki percepcji drogi i jej otoczenia określane przez: jakość oświetlenia i kontrast obiektów drogowych; ograniczenie pola obserwacji tylko do strefy oświetlanej reflektorami pojazdów; refleksy świetlne, odbicia i rozproszenia światła; występowanie opadów atmosferycznych lub mgły w połączeniu z ciemnością; poruszanie się pieszych w ciemnych ubraniach bez elementów odblaskowych;
- Rozwiązania drogowe niedostosowane do warunków ruchu w nocy, a w szczególności: brak urządzeń segregacji ruchu pieszego i rowerowego od ruchu pojazdów mechanicznych; ukształtowanie geometryczne zwiększające ryzyko olśnienia; niewystarczające optyczne prowadzenie przy pomocy oznakowania poziomego i pionowego; stosowanie oznakowania pionowego bez uwzględnienia zwiększonego czasu jego odczytu w ciemności; brak lub zła jakość oświetlenia miejsc krytycznych z uwagi na zagrożenia brd; występowanie przeszkód w sąsiedztwie drogi.

Głównym źródłem wzrostu zagrożeń i ryzyka w ruchu drogowym w nocy są pogarszające się warunki percepcji drogi i jej otoczenia. Dlatego dominującą rolę wśród przyczyn wypadków w nocy odgrywa czynnik ludzki. Choć w literaturze zagranicznej brak jest wskazań na bezpośredni wpływ rozwiązań infrastrukturalnych na zdarzenia drogowe związane z ciemnością, to nie można pomijać możliwego, pośredniego wpływu infrastruktury drogowej na zagrożenia wypadkami w nocy. Ten pośredni wpływ ujawnia się przez oddziaływanie na zachowania kierujących pojazdami i pieszych. Zachowania te będą inne w ciemności, a inne w przypadku występowania sztucznego oświetlenia, które stwarza więcej możliwości podejmowania poprawnych decyzji. Równocześnie jednak lepsza rozpoznawalność drogi i jej otoczenia, w przypadku występowania sztucznego oświetlenia, może prowadzić do subiektywnej oceny sytuacji na drodze jako mniej niebezpiecznej niż jest w rzeczywistości. Najważniejszym skutkiem takiej oceny może być zmiana zachowań kierujących pojazdami w stronę bardziej ryzykownej jazdy, w tym zwiększenia prędkości jazdy lub niezachowywania bezpiecznych odstępów między pojazdami. Jednak mimo tych wątpliwości większość prac badawczych potwierdza skuteczność oświetlenia dróg i skrzyżowań jako środka poprawy bezpieczeństwa ruchu, chociaż skuteczność ta jest często mniejsza od oczekiwanej.

7.1. Wnioski

W zakresie identyfikacji i określenia skali zwiększonego zagrożenia brd w nocy

Pierwszym z podstawowych celów niniejszej rozprawy była identyfikacja zjawiska zwiększonego zagrożenia brd w warunkach nocnych ograniczeń widoczności oraz określenie skali tego zagrożenia. Przeprowadzone w ramach realizacji przedmiotowego celu pracy własne analizy danych o zarejestrowanych zdarzeniach drogowych doprowadziły do następujących, najważniejszych wniosków:

- Częstość występowania wypadków w nocy odniesiona do natężenia ruchu jest 1,0-2,2 razy większa niż w okresie oświetlenia dziennego i zależy od lokalizacji oraz funkcji drogi. Okresem o największym, relatywnym zagrożeniu wypadkami w czasie nocnych ograniczeń widoczności jest przedział godzin 17:00-3:00;
- Na odcinkach w obszarze zabudowanym i na drogach niższych klas największy wzrost zagrożenia brd w nocy występuje w grupie kierujących samochodami osobowymi, a poza terenami zabudowy kierujących pojazdami ciężkimi;
- Relatywny wskaźnik wzrostu zagrożenia wypadkami z udziałem pieszych w nocy wynosi 2,34 na odcinkach w terenie zabudowanym i aż 7,94 na zamiejskich drogach krajowych;
- Wartość wskaźnika ciężkości wypadków w „nocy” w stosunku do „dnia” wzrasta ok. 1,5-2 razy w przypadku obecności sztucznego oświetlenia oraz 2-3,5 razy bez takiego oświetlenia;
- Zagrożenie śmiercią w wypadkach na drogach krajowych w nocy jest ok. 1,7-krotnie większe poza zabudową niż w miejscowościach, czego przyczynami mogą być: gorsza widoczność, wzrost prędkości, zmęczenie, spadek koncentracji i oślnienie;

- W „nocy” w stosunku do okresu „dnia” występuje bardzo duży wzrost udziału zdarzeń z pieszymi i pojedynczymi pojazdami oraz spadek udziału wypadków typu „pojazd-pojazd”. Uwagę zwraca kilkukrotny wzrost częstości zdarzeń z pieszymi na drogach zamiejskich, pomimo potencjalnie małych natężeń tych uczestników ruchu;
- Wbrew przypuszczeniom, w żadnej grupie dróg nie zaobserwowano wzrostu udziału wypadków w wyniku niedostosowania prędkości do warunków ruchu w nocy;
- Wśród przyczyn wypadków w nocy istotną rolę odgrywa nietrzeźwość (4-5-krotny wzrost zagrożenia), zmęczenie (2,5-krotny wzrost) oraz młody wiek sprawców wypadków;
- Szacowane za pomocą wskaźników relatywnych ryzyko zaistnienia wypadku wzrasta w nocy o 40-70% w stosunku do okresu światła dziennego. W przypadku wypadków śmiertelnych wzrost ten jest ponad trzykrotny. Szczególnie zwiększa się ryzyko zdarzeń z pieszymi oraz w wyniku najechania pojazdu na przeszkody;

W zakresie wpływu cech dróg i parametrów ruchu na brd w różnych warunkach oświetlenia

Głównym celem pracy był „Opis wpływu cech dróg i parametrów ruchu na jego bezpieczeństwo w różnych warunkach oświetlenia przy pomocy narzędzi regresyjnych oraz metod bayesowskich”. Kwantyfikacja wpływu warunków oświetlenia na brd została wykonana przy pomocy modeli regresyjnych zbudowanych na bazie obszernego zbioru danych empirycznych. Z przedmiotowej bazy danych wyselekcjonowano zmienne, które w największym stopniu determinują zagrożenie wypadkowe w różnych warunkach oświetlenia. Spośród tych zmiennych zbudowano modele graficzne oparte na sieciach Bayesa. Dzięki zastosowaniu modeli graficznych uzyskano wiedzę na temat charakteru zależności poszczególnych zmiennych, które w modelach regresyjnych były niezależne od siebie lub powiązane ze sobą w uproszczony sposób, tj. poprzez zależności liniowe. Zaprezentowano również przykład zastosowania wnioskowania bayesowskiego do ocen bezpieczeństwa ruchu drogowego przy planowaniu budowy nowego odcinka drogi lub przebudowy odcinka istniejącego.

Poniżej sformułowano najważniejsze wnioski z budowy i analizy modeli uogólnionej regresji liniowej oraz modeli graficznych opartych na sieciach Bayesa:

- Na drogach wojewódzkich (o niższym standardzie technicznym związanym z klasą techniczną) zagrożenie wypadkowe w nocy jest determinowane przez większą liczbę zmiennych opisujących infrastrukturę drogową niż przy świetle dziennym. Na drogach krajowych (o wyższym standardzie) tendencja ta jest odwrotna, tzn. w okresie „dnia” zaobserwowano większy wpływ cech dróg na wypadkowość, niż w „nocy”;
- Wpływ natężenia ruchu na estymowane w modelach regresyjnych wskaźniki wypadkowe jest znacznie mniejszy w „nocy”, niż w ciągu „dnia”;
- Wypadki drogowe w okresie nocy na drogach krajowych są zjawiskiem w dużym stopniu losowym, z małym wpływem czynników infrastrukturalnych. Przyczyną takiego stanu mogą być czynniki związane z człowiekiem i zawężonym polem widzenia przez niego otoczenia drogi w „nocy”, szczególnie na obszarze niezabudowanym. Jedynymi elementami infrastruktury, które wpływają na wzrost

liczby wypadków w nocy są komercyjne punkty dostępności i przystanki autobusowe (w nocy w godz. 17:00-23:00) na zamiejskich odcinkach dróg krajowych;

- Do zmiennych, które w większym stopniu w „dzień” niż w „nocy” determinują wypadkowość na drogach krajowych, można zaliczyć gęstości: przejść dla pieszych i skrzyżowań. Efekt ten jest zgodny z oczekiwaniami, ponieważ przedmiotowe elementy infrastruktury drogowej są głównymi generatorami sytuacji konfliktowych, których prawdopodobieństwo jest znacznie większe w „dzień” niż w „nocy”;
- Wzrost roli czynników infrastrukturalnych wśród przyczyn wypadków w nocy na drogach o niższym standardzie technicznym może być związany m.in. z: mniejszymi natężeniami ruchu, częstym występowaniem granicznych wartości parametrów geometrycznych, mniejszymi wymaganiami odnośnie kontroli dostępności i obecności urządzeń poprawy brd pieszych oraz częstszym występowaniem przeszkód w otoczeniu drogi. Rola tych czynników wzrasta w warunkach nocnych ograniczeń widoczności, kiedy występują utrudnienia percepcji elementów infrastruktury;
- Zmiennymi, które w największym stopniu wpływają na estymowaną liczbę wypadków na drogach wojewódzkich w nocy są gęstości: punktów dostępności, przystanków autobusowych z zatoką, przejść dla pieszych i przeszkód punktowych. Ponadto na odcinkach w terenie zabudowanym duży wpływ na wzrost liczby wypadków ma brak elementów uspokojenia ruchu. Poza zabudową elementem infrastruktury wpływającym najbardziej na brd w nocy są skrzyżowania;
- Na drogach krajowych zaobserwowano „przesunięcie się” części wypadków na odcinki o mniejszych gęstościach elementów infrastruktury drogowej oraz poza obszar zabudowy w nocy. Na drogach wojewódzkich przedmiotowe „przesunięcie” następuje dopiero po godz. 23:00, a w nocy w godz. 17:00-23:00 występuje tendencja do wzrostu udziału wypadków na odcinkach o większych gęstościach elementów infrastruktury drogowej oraz w terenie zabudowanym;
- Wraz ze wzrostem gęstości elementów infrastruktury, niezależnie od klasy drogi, maleje ciężkość wypadku, wyrażona spadkiem udziału wypadków śmiertelnych we wszystkich porach doby, a szczególnie w nocy w godz. 17:00-23:00. Spadek ciężkości wypadków może mieć związek ze spadkiem prędkości.
- Z uwagi na ograniczony wpływ zmiennych opisujących infrastrukturę drogową na liczbę wszystkich wypadków w nocy na drogach krajowych, podjęto próby identyfikacji wpływu takich zmiennych w odniesieniu do poszczególnych typów wypadków. Przedmiotowe próby doprowadziły do następujących, najważniejszych wniosków:
- Związek wypadków w wyniku najechania na pieszego z gęstością przejść dla pieszych jest znacznie mniejszy w „nocy” niż w „dzień”. Taki efekt może być związany z „przesunięciem” się części wypadków z pieszymi w nocy poza obręb przejść dla pieszych, w tym na odcinki zamiejskie. Istotną rolę w powstawaniu wypadków z pieszymi w nocy odgrywa percepcja (wczesna dostrzegalność) pieszych przez kierowców;

- Wpływ gęstości skrzyżowań na liczbę wypadków na skrzyżowaniach w nocy jest podobny, jak przy świetle dziennym. Biorąc jednak pod uwagę różnice wystawienia na ryzyko w postaci natężeń ruchu z kierunków bocznych na skrzyżowaniach w obu porach doby, jednostkowe prawdopodobieństwo wypadku na skrzyżowaniu w „nocy” może być od 4 do 18 razy większe niż w „dzień”. W badaniach ujawniło się również bardzo duże znaczenie występowania lub gęstości przeszkód bocznych, ograniczających boczne pole widzenia oraz zmniejszających widoczność na skrzyżowaniach;

W zakresie analiz wpływu nocnych ograniczeń widoczności na prędkość i odstępy między pojazdami

Ponieważ analizy przy pomocy modeli regresyjnych i bayesowskich pomijały szereg istotnych parametrów ruchu drogowego, jako uzupełnienie tych analiz przeprowadzono badania wpływu nocnych ograniczeń widoczności na tzw. pośrednie miary zagrożenia wypadkowego, tj. prędkość i odstępy między pojazdami w potoku ruchu i w ruchu kolumnowym. Głównym celem przedmiotowych badań było poznanie dominujących czynników wpływających na wybór prędkości i odstępów między pojazdami w ruchu swobodnym. Najważniejsze wnioski z przedmiotowych analiz przedstawiają się następująco:

- Zgodnie z oczekiwaniami i wynikami badań z literatury, zaobserwowano bardzo duże powiązanie prędkości ze standardem technicznym drogi, przy mniejszej roli ogólnych lub lokalnych ograniczeń prędkości. Na odcinkach z poboczami bitumicznymi rejestrowano znacznie większe wartości prędkości niż na odcinkach z chodnikami lub z poboczami gruntowymi;
- Mimo nocnych ograniczeń widoczności na odcinkach drogowych przejść przez miejscowości rejestrowano we własnych badaniach wzrost prędkości. Taki efekt jest związany ze spadkiem intensywności użytkowania otoczenia drogi w nocy i tym samym zmniejszeniem subiektywnego odczuwania zagrożenia brd przez kierujących pojazdami;
- Na drogach zamiejskich niewyposażonych w sztuczne oświetlenie zaobserwowano oczekiwane zjawisko spadku prędkości w nocy, co może być związane z reakcją kierujących na ograniczenia percepcji przestrzeni drogi i oceny sytuacji na drodze oraz z dobowym rytmem sprawności psychofizycznej kierujących i ich zmęczeniem przy równocześnie występujących dużych prędkościach jazdy;
- Występowanie sztucznego oświetlenia powoduje wzrost prędkości pojazdów w nocy w stosunku do okresu światła dziennego. Skala tego wzrostu jest zależna od rodzaju oświetlenia oraz od administracyjnych ograniczeń prędkości. Największy wzrost zarejestrowano na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości z oświetleniem pełnym (o natężeniu światła od 15 do 30 Lux, instalowanym na masztach oświetleniowych). Uzyskane wyniki badań są zgodne z oczekiwaniami i można je wiązać z poprawą widoczności oraz percepcji drogi i jej otoczenia;
- Niezależnie od warunków oświetlenia zaobserwowano wpływ gęstości skrzyżowań, gęstości dróg gruntowych, długości odcinka drogi przechodzącego przez miejscowość,

udziału ruchu tranzytowego oraz typu przekroju poprzecznego na estymowaną wartość prędkości średniej pojazdów w ruchu swobodnym;

- Na odcinkach z pobocznymi bitumicznymi występuje tendencja do jazdy z mniejszymi odstępami w „nocy” niż w „dzień”. Tendencja ta na odcinkach poza zabudową staje się silniejsza wraz ze wzrostem natężenia ruchu, a w obszarze zabudowanym dotyczy jedynie małych natężeń ruchu (z przedziału 100-300 P/h/pas). Niezachowywanie bezpiecznych odstępów między pojazdami może być związane z większą szerokością przekroju drogi z utwardzonymi pobocznymi, co stwarza subiektywne odczucie wzrostu brd i wpływa na skłonność kierowców do częstszego podejmowania ryzyka, obejmującego m.in. ryzykowne manewry wyprzedzania pomimo niewystarczającej widoczności. Podobnego wpływu nie zidentyfikowano na odcinkach z pobocznymi gruntowymi i z chodnikami, gdzie dominującym czynnikiem zagrożenia związanego ze zbyt małymi odstępami w nocy jest wzrost czasu reakcji kierowców;
- Odcinki z pobocznymi bitumicznymi charakteryzują się również wzrostem udziału pojazdów jadących w kolumnach w „nocy” w stosunku do okresu „dnia”. Na odcinkach przechodzących przez miejscowości przedmiotowy wzrost może być związany z rzadszym niż na odcinkach z chodnikiem, występowaniem elementów uspokojenia ruchu oraz opisaną powyżej charakterystyczną dla odcinków z pobocznymi bitumicznymi większą skłonnością do podejmowania ryzyka przez kierowców, w tym do przejazdu w kolumnie pojazdów przez miejscowość w celu podjęcia manewru wyprzedzania po wyjeździe z obszaru zabudowanego. Poza zabudową tendencja do jazdy w kolumnach może wynikać z większego udziału pojazdów ciężkich w nocy, co powoduje większe zróżnicowanie prędkości pojazdów oraz wzrost zapotrzebowania na wyprzedzanie, które jest utrudnione ze względu na ograniczenia widoczności;
- Wpływ prędkości i udziału pojazdów ciężkich na udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami w różnych warunkach oświetlenia zidentyfikowano na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o przekroju z chodnikami. Wzrost udziału niebezpiecznych odstępów o ok. 1% odnotowano przy zwiększeniu prędkości średniej o 5 km/h niezależnie od warunków oświetlenia lub przy wzroście udziału pojazdów ciężkich o 12% w „dzień” i 26% w „nocy”;
- Wzrost prędkości na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o przekroju z chodnikami ma ponad 2 razy większy wpływ na zwiększenie wartości udziału pojazdów jadących w kolumnach w nocy niż przy świetle dziennym. Udział pojazdów jadących w kolumnach na zamiejskich odcinkach o przekroju z pobocznymi bitumicznymi spada wraz ze wzrostem udziału pojazdów ciężkich. Spadek ten jest znacznie większy w „dzień” niż w „nocy”;
- Ze względu na specyficzne dla okresu nocy uwarunkowania ruchu, w tym m.in. ograniczenia widoczności i percepcji drogi oraz wzrost czasu reakcji kierowców, prędkość i odstęp między pojazdami w ograniczonym stopniu determinują wzrost zagrożenia brd w przedmiotowym okresie doby;

Opisane powyżej najważniejsze wyniki badań prędkości i odstępów między pojazdami w warunkach nocnych ograniczeń widoczności potwierdzają dominującą rolę czynnika ludzkiego przy wyborze prędkości i odstępów, z jednoczesnym oddziaływaniem elementów

drogi i jej otoczenia na decyzje kierujących pojazdami. Kluczową rolę w podejmowaniu tych decyzji odgrywa percepcja drogi i jej otoczenia. Poprzez rozwiązania drogowe, a także stosowanie oświetlenia sztucznego, można warunki tej percepcji poprawić lub pogorszyć. Jednak poprawa warunków percepcji nie zawsze będzie wpływać na pożądaną zmianę zachowania kierujących pojazdami, gdyż często wraz z poprawą warunków oświetlenia drogi, zwiększają oni prędkość jazdy, co może z kolei niekorzystnie wpływać na bezpieczeństwo ruchu. Dlatego obok stosowania środków poprawy percepcji drogi, istotne są także środki nadzoru, wymuszające „bezpieczne” zachowania kierujących pojazdami.

Wyniki badań, objętych niniejszą rozprawą pozwoliły na potwierdzenie tez postawionych w pracy, z których wynika, że:

- Obok samej roli człowieka, rozwiązania infrastruktury drogowej oraz wybrane parametry ruchu mają istotny wpływ na okoliczności powodujące zwiększone zagrożenie brd w okresie nocnych ograniczeń widoczności. Wpływ ten został opisany w sposób ilościowy. Zbudowano modele regresyjne predykcji liczby wypadków o stopniu determinacji 0,45-0,80 oraz modele graficzne służące do predykcji wskaźnika zagrożenia w zależności od cech dróg i parametrów ruchu;
- W badaniach bezpieczeństwa ruchu drogowego można stosować, obok podstawowych narzędzi analiz regresyjnych, także narzędzia analiz oparte na metodach bayesowskich, dzięki którym uzyskuje się znaczne uproszczenie analiz, przy zachowaniu ich wymaganej dokładności;
- Wpływ cech dróg i parametrów ruchu na pośrednie miary brd, takie jak prędkość oraz odstęp między pojazdami jest powiązany z warunkami oświetlenia. Najważniejszą cechą geometryczną dróg wpływającą na analizowane, pośrednie miary brd jest typ przekroju poprzecznego.

7.2. Wskazania środków poprawy brd w warunkach nocnych ograniczeń widoczności

Diagnoza zagrożeń bezpieczeństwa ruchu w czasie występowania nocnych ograniczeń widoczności, a także rezultaty badań prędkości i odstępów między pojazdami w tych warunkach wskazują na 4 główne grupy działań prowadzących do poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego w nocy:

- 1) Oddziaływania na zachowania uczestników ruchu drogowego, głównie poprzez uświadomienie zagrożeń oraz ograniczeń człowieka do uczestniczenia w ruchu nocnym;
- 2) Poprawa zewnętrznych warunków percepcji drogi i jej otoczenia, ze szczególną rolą oświetlenia. W przypadku oświetlenia, środki poprawy mogą obejmować:
 - a. poprawę zewnętrznego oświetlenia drogowego,
 - b. zastosowanie nowych, adaptacyjnych systemów oświetlenia pojazdów,
 - c. wykorzystanie właściwości odbijania światła przez różne rodzaje nawierzchni,
 - d. zastosowanie w pojazdach systemów wspomagających widzenie w nocy (np. urządzenia widzenia w podczerwieni);

- 3) Usprawnienia infrastruktury drogowej z jej lepszym przystosowaniem do ograniczeń zdolności percepcji drogi w nocy przez uczestników ruchu, zarządzanie infrastrukturą istniejącą oraz eliminacja takich rozwiązań, które były bezpośrednią lub pośrednią przyczyną wypadków w nocy. Działania te powinny obejmować w szczególności:
 - a. zwiększenie segregacji ruchu pieszego i rowerowego od ruchu pojazdów mechanicznych,
 - b. oświetlanie wydzielonych przejść dla pieszych w sposób zapewniający dobry kontrast sylwetki pieszego na drodze,
 - c. oświetlanie tych miejsc na drogach, w których występuje nagromadzenie elementów zwiększających zagrożenia bezpieczeństwa ruchu drogowego,
 - d. oświetlenie przystanków komunikacji zbiorowej oraz dojeżdżanie do tych przystanków, jeśli są one wykorzystywane także w nocy,
 - e. zapewnienie dobrego optycznego prowadzenia wzdłuż drogi z łatwą identyfikacją parametrów geometrycznych drogi,
 - f. oznakowanie łuków zapewniające dobre optyczne prowadzenie i „informujące” o poziomie zagrożenia brd, co jest szczególnie istotne w nocy,
 - g. zapewnienie odcinków z możliwością wyprzedzania, w tym przez stosowanie przekrojów poprzecznych umożliwiających wyprzedzanie (np. przekrój 2+1),
 - h. eliminacja przeszkód bocznych lub ich zabezpieczenie barierami ochronnymi,
 - i. stosowanie kontrastowego oznakowania, z dostosowaniem jego lokalizacji i przekazu treści do ograniczonych możliwości odczytu znaków w nocy,
 - j. dobór konstrukcji nawierzchni drogowych ograniczających zjawisko odbić oraz zapewniających dobry kontrast, szczególnie w czasie opadów deszczu.
- 4) Zarządzanie prędkością wymuszające jej obniżenie w warunkach nocnych ograniczeń widoczności w celu kompensacji wzrostu ryzyka ruchu wynikającego z pogorszenia się warunków percepcji drogi i jej otoczenia.

7.3. Kierunki dalszych badań

Badania i analizy przeprowadzone w ramach niniejszej rozprawy nie wyczerpują w pełni problematyki wpływu nocnych ograniczeń widoczności na brd. Dalsze prace badawcze, zmierzające do pełniejszego opisu tego problemu powinny objąć:

- Budowę modeli opisujących wpływ cech dróg i parametrów ruchu na zagrożenie wypadkowe w różnych porach doby przy pomocy metod, pozwalających na uwzględnienie wszystkich odcinków jednorodnych, w tym również takich, na których nie zanotowano wypadków;
- Rozwój modeli predykcji wypadków na drogach niższych klas w innych województwach wraz z identyfikacją zróżnicowania regionalnego dotyczącego wpływu cech dróg i parametrów ruchu na brd w warunkach nocnych ograniczeń widoczności;
- Rozwój kompleksowych badań przy użyciu modeli graficznych z uwzględnieniem szerokiego zbioru danych drogowo-ruchowych i z możliwością doboru połączeń odzwierciedlających zależności pomiędzy zmiennymi przez program komputerowy;

- Badania „przed” i „po” służące ocenie skuteczności wprowadzenia środków lub metod poprawy brd w różnych warunkach oświetlenia z wykorzystaniem szerokiego zbioru danych o drodze i ruchu na odcinkach nowych lub takich, na których planowana jest (lub została niedawno przeprowadzona) przebudowa;
- Badania reakcji kierujących pojazdami na zmieniające się warunki ruchu i percepcji drogi w nocy przy różnych charakterystykach geometrycznych dróg przy pomocy symulatorów jazdy;
- Rozwój badań symulacyjnych kształtowania się odstępów między pojazdami wraz z wyznaczeniem udziału odstępów niebezpiecznych w różnych porach doby.

LITERATURA

- [1] Alonso M., Garayo P., Herrán L., *Defining safe speed and safe distance towards improved longitudinal control using ADAS: Functional requirements of the SASPENCE system.*: Centro de Investigacion y Desarrollo en Automocion, Valladolid, 2005.
- [2] Archer J., *Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling: A study of urban and suburban intersections.*: praca doktorska, Royal Institute of Technology, Sztokholm, 2005.
- [3] Assum T., Bjørnskau T., Fosser S., Sagberg F., *Risk compensation—the case of road lighting.*: Accident Analysis & Prevention (31), s. 545-553, 1999.
- [4] Bassani M., Mutani G., *Effects of environmental lighting conditions on operating speeds on urban arterials.*: 91st Transportation Research Board Annual Meeting, nr 12-0903, Waszyngton, 2012.
- [5] Bishop C., *Embracing uncertainty.*: Microsoft Research Cambridge, wykład, <http://research.microsoft.com/apps/video/dl.aspx?id=146553#>, 2010.
- [6] Bishop C., *Introduction to bayesian inference.*: Machine Learning Summer School 2009 - Cambridge, Microsoft Research, videlectures.net/mlss09uk_bishop_ibi, 2009.
- [7] Breyer G., *Safe Distance between vehicles.*: Conference of European Directors of Roads, 2010.
- [8] Bruneau J. F., Morin D., *Standard and nonstandard roadway lighting compared with darkness at rural intersections.*: Journal of the Transportation Research Board, nr 1918, s.116-122, Waszyngton D. C., 2005.
- [9] Budzyński M., Kustra W., *Analiza zagrożeń na jednorodnych odcinkach dróg.*: Drogownictwo 4/2012, s. 112-115.
- [10] Budzyński M., *Koncepcja metody oceny zagrożeń w ruchu drogowym.*: Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr 283, Budownictwo i Inżynieria Środowiska z 59 (3/12/IV).
- [11] Budzyński M., Kustra W., *Modele predykcji wypadków na odcinkach dróg, wyniki badań i zastosowanie w praktycznej metodzie prognozowania.*: Seminarium "Kształtowanie infrastruktury drogowej spełniającej standardy bezpieczeństwa ruchu" – etap II, Kraków, 2012.
- [12] Cameron M. H., Elvik R., Nilsson's Power Model connecting speed and road trauma: *Applicability by road type and alternative models for urban roads.*: Accident Analysis and Prevention (42), s. 1908–1915, 2010.
- [13] Chatterjee I., Davis G. A., *Bayesian trajectory-based reconstruction of rear-ending events using naturalistic driving data.*: 89th Transportation Research Board Annual Meeting, nr 12-0032, Waszyngton, 2010.
- [14] Collective work, *Reaktionszeit von Kraftfahrern.*: Institut für Lichttechnik der Technischen Universität, Berlin, 1979.
- [15] Conference of European Directors of Roads (CEDR), *Road lighting & safety*, Cedr's Secretariat General, 2010.
- [16] Davis G.A., Hourdos J., *Analyses using naturalistic driving data: SHRP2 S01(A).*: Workshop on New Directions in Road Safety Modeling, Walencja, 2010.
- [17] Davis G.A., Swenson T., *Identification and simulation of a common freeway accident mechanism: Collective responsibility in freeway rear-end collisions.*: Department of

- Civil Engineering, University of Minnesota, 2006.
- [18] de Ona J., Mujalli R. O., Calvo F. J., *Analysis of traffic accident injury severity on Spanish rural highways using Bayesian networks.*: Accident Analysis and Prevention (43), s. 402–411, 2011.
- [19] Dewar R. E., Olson P. L., *Human factors in traffic safety.*: Lawyers & judges Publishing Company, Inc., 2002.
- [20] Dols J.F., Perez A.M., *Driving simulators - an opportunity for more insight.*: Workshop on New Directions in Road Safety Modeling, Walencja, 2010.
- [21] Eenink R., Reurings M., *Accident prediction models and road safety impact assessment: recommendations for using these tools.*: Ripcord Iserest projekt nr 2, 2005.
- [22] Elvik R., Erke A., Christensen P., *Elementary units of exposure.*: TRB, National Research Council, 2009.
- [23] Elvik R., *Handbook of transportation engineering: Traffic safety.*: rozdz. 16, McGraw-Hill, USA, 2004.
- [24] Elvik R., Vaa T., *The handbook of road safety measures.*: Elsevier, 2004.
- [25] Elvik R., Høy A., Vaa T., Sørensen M., *The handbook of road safety measures.*: Emerald Group Publishing, Wielka Brytania, 2009.
- [26] Fiorani M., Mariani M., Tango F., Saroldi A., *SASPENCE – Safe Speed and Safe Distance: Project overview and customer benefit analysis of a novel driver's collision avoidance support system.*: 5th European Congress on ITS, Hannover, 2005.
- [27] Fors C., Lundkvist S.-O., *Night-time traffic in urban areas.*: raport VTI nr 650A, 2009.
- [28] Gaca S., Kieć M., Zielinkiewicz A., *Analyses of headways for assessment of risk rear-end collisions.*: 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, Indianapolis, 2011.
- [29] Gaca S., *Badania dobowych zmian prędkości na odcinkach dróg i ulic.*: Transport Miejski i Regionalny 12/2012, s. 10-15.
- [30] Gaca S., *Badania prędkości pojazdów i jej wpływu na bezpieczeństwo ruchu drogowego.*: Zeszyt Naukowy Politechniki Krakowskiej nr 75, 2002.
- [31] Gaca S., Kieć M., *Badania reakcji kierujących pojazdami na zmianę ograniczenia prędkości na terenach zabudowy.*: Transport Miejski i Regionalny, 12/2005.
- [32] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria ruchu drogowego – Teoria i praktyka.*: WKŁ, Warszawa, 2008.
- [33] Gaca S., Kieć M., *Quantification of impacts of road accessibility and selected factors of road surroundings development on road traffic safety.*: 91st Transportation Research Board Annual Meeting, nr 12-3282, Waszyngton, 2012.
- [34] *GAMBIT 2005 Krajowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2005-2007-2013.*: Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, 2005.
- [35] Gatti G., Polidori C., *Safety handbook for secondary road.*: Ripcord Iserest projekt nr 13, 2007.
- [36] Gibbons, R. B, Edwards, C. J, Bhagavathula, R., Carlson, P., Owens, D. A., *Visual modeling, exploring the relationships between nighttime driving behavior and roadway visibility.*: 91th Transportation Research Board Annual Meeting, nr 12-3783, Waszyngton, 2012.
- [37] Ha D.-H., Aron M., Cohen S., *Time headway variable and probabilistic modeling.*: The French National Institute for Transport Network and Safety Research, INRETS, 2010.
- [38] Ha D.-H., Aron M., Cohen S., *Time headway variable and probabilistic modeling.*:

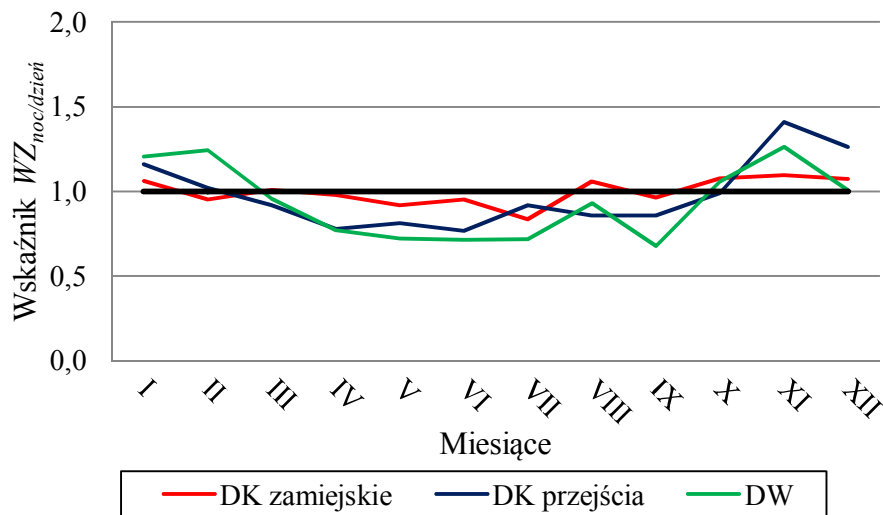
- Transportation Research Part C 25, Elsevier, s. 181-201, 2012.
- [39] Haight F.A., *Mathematical theories of traffic flow.*: Mathematics in Science & Engineering vol. 7, Nowy Jork, 1963.
- [40] Hauer E., Harwood D.W., Council F.M., Griffith M., *Estimating safety by the empirical Bayes method.*: TRB, National Research Council, 2002.
- [41] Hermans E., Wets G., Van den Bossche F., *Describing the evolution in the number of highway deaths by decomposition in exposure, accident risk, and fatality risk.*: Journal of the Transportation Research Board, nr 1950, str. 1–8, Waszyngton, 2006.
- [42] Hossain M., Muromachi Y., *A Bayesian network based framework for real-time crash prediction on the basic freeway segments of urban expressways.*: Accident Analysis and Prevention, Article in Press AAP-2542, 2011.
- [43] <http://calendar.zoznam.sk/>.
- [44] <http://calendar.zoznam.sk/sunset-pl.php>.
- [45] <http://polish.wunderground.com>.
- [46] <http://reasoning.cs.ucla.edu/samiam/>.
- [47] <http://reasoning.cs.ucla.edu/samiam/>.
- [48] <http://www.mrc-bsu.cam.ac.uk/bugs/>.
- [49] <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html>.
- [50] <http://www.zdw.krakow.pl/>.
- [51] Jamroz K., *Metoda zarządzania ryzykiem w inżynierii drogowej.*: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2011.
- [52] Johansson O., Wanvik P. O., Elvik R., *A new method for assessing the risk of accident associated with darkness.*: Accident Analysis and Prevention (41), s. 809-815, 2009.
- [53] Keall M. D., Frith W. J., Patterson T. L., *The influence of alcohol, age and number of passengers on the night-time risk of driver fatal injury in New Zealand.*: Accident Analysis and Prevention (36), s. 49–61, 2004.
- [54] Kieć M., *Wpływ dostępności do dróg na warunki i bezpieczeństwo ruchu.*: praca doktorska, Politechnika Krakowska, 2009.
- [55] Knoop V. L., van Zuylen H. J., Hoogendoorn S. P., *Microscopic traffic behaviour near incidents.*: Transportation and Traffic Theory 2009, rozdz. 5, Springer Science and Business Media, 2009.
- [56] Koller D., *Probabilistic graphical models.*: Stanford CS221, e-learning course, www.pgm-class.org, Stanford University, 2012.
- [57] Kubiczek F., *Korelacja Statystyczna.*: Wyższa Szkoła Ekonomiczna, Warszawa, 2011.
- [58] Lin T.-D., Jovanis P. P., Yang C.-Z., *Time of day models of motor carrier accident risk.*: Transportation Research Record 1467, Department of Civil and Environmental Engineering of California, USA, 1994.
- [59] Łuczak A., Zużewicz K., *Zmęczenie kierowców a bezpieczeństwo pracy.*: Bezpieczeństwo Pracy 4/2006.
- [60] Monsere C. M., Fischer E. L., *Safety effects of reducing freeway illumination for energy conservation.*: Accident Analysis & Prevention (40), s. 1773-1780, 2008.
- [61] Murphy K., *A brief introduction to graphical models and bayesian networks.*: Department of Computer Science, University of British Columbia, www.cs.ubc.ca/~murphyk/Bayes/bnintro.html, 1998.
- [62] *Narodowy Program Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego 2013-2020.*: Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, Warszawa, 2013.

- [63] Nowakowska M., *Modelowanie związków między cechami drogi i zagrożeniami ruchu w transporcie drogowym.*: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, zeszyt 88, 2013.
- [64] Oh C., Park S., Ritchie S. G., *A method for identifying rear-end collision risks using inductive loop detectors.*: Accident Analysis & Prevention (38), 295–301., 2006.
- [65] Olson P. L., *Forensic aspects of driver perception and response: Driver perception-response time.*: Lawyers & judges Publishing Company, Inc., rozdz. 9, 2010.
- [66] Owens D. A., Sivak M., *The role of reduced visibility in nighttime road fatalities.*: The University of Michigan, Transportation Research Institute, raport nr UMTRI-93-33, 1993.
- [67] Ozbay K., Noyan N., *Estimation of incident clearance times using bayesian networks approach.*: Accident Analysis and Prevention (38), s. 542–555, 2006.
- [68] Persaud B., Lan B., Lyon C., Bhim R., *Comparison of empirical Bayes and full Bayes approaches for before-after road safety evaluations.*: TRB, National Research Council, 2009.
- [69] Piętas G., Odrobiński P., *Porównanie charakterystyk ruchu w zmiennych warunkach oświetlenia.*: praca magisterska, promotor: dr inż. Mariusz Kieć, Politechnika Krakowska, 2010.
- [70] Plainis S., Murray I. J., *Reaction times as an index of visual conspicuity when driving at night.*: Ophthalmic and Physiological Optics, vol. 22, nr 5, s. 409–415, 2002.
- [71] Ramezani H., Benekohal R. F., *Statistical distribution for inter platoon gaps, intra-platoon headways and platoon size using field data from highway bottlenecks.*: Traffic Flow Theory Committee (TFTC) Summer Meeting, Annecy, 2010.
- [72] Ranjitkar P., Nakatsuji T., *Trajectory-based analysis of drivers' response in car-following situations.*: 89th Transportation Research Board Annual Meeting, nr 10-2121, Waszyngton, 2010.
- [73] Schlag B., Petermann I., Weller G., Schulze Ch., *Mehr Licht – mehr Sicht – mehr Sicherheit?*: VS Verlag für Sozialwissenschaften | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2009.
- [74] Schuhl A., *The probability theory applied to distribution of vehicles on two-lane highways.*: The ENO Foundation For Highway Traffic Control, Connecticut, 1955.
- [75] Shiomia Y., Yoshii T., Kitamura R., *Platoon-based traffic flow model for estimating breakdown probability at single-lane expressway bottlenecks.*: 19th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Procedia Social and Behavioral Sciences 17, s. 591–610, 2011.
- [76] Shrestha D., Lovell D. J., *Perception and reaction time of tailgating drivers from naturalistic driving data.*: 89th Transportation Research Board Annual Meeting, Waszyngton, 2010.
- [77] Siddiqui N.A., Chu X., Guttenplan M., *Crossing locations, light conditions, and pedestrian injury severity.*: Journal of Transportation Research Board, nr 1982, s. 141-149, Waszyngton, 2006.
- [78] Simonic M., *A Bayesian network model of two-car accidents.*: Journal of Transportation and Statistics, Vol. 7 nr 2/3, 2004.
- [79] Son H., Kweon Y., *Development of crash prediction models with individual vehicular data.*: TRB, National Research Council, 2009.
- [80] Spiegelhalter D., Thomas A., Best N., Lunn D., *WinBUGS User Manual.*: Londyn, 2003.

- [81] Stanek M., *Analiza charakterystyk ruchu w okresach zmiany warunków oświetlenia.*: praca dyplomowa inżynierska, promotor: dr inż. Mariusz Kieć, Politechnika Krakowska, 2011.
- [82] *STATISTICA 7 PL Electronic Manual.*: StatSoft.
- [83] Sullivan J. M., Flannagan M. J., *Assessing the potential benefit of adaptive head lighting using crash databases.*: raport nr UMTRI-99-21, 1999.
- [84] Sullivan J. M., Flannagan M. J., *Characteristics of Pedestrian Risk in Darkness.*: raport nr UMTRI-2001-33, 2001.
- [85] Sullivan J. M., Flannagan M. J., *Determining the potential safety benefit of improved lighting in three pedestrian crash scenarios.*: Accident Analysis and Prevention (39), s. 638-647, 2007.
- [86] Sullivan J. M., Flannagan M. J., *Risk of fatal rear-end collisions is there more to it than attention.*: Proceedings of the Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, 2003.
- [87] Svensson A., *Road side data via video processing, analysis of safety.*: Workshop on new directions in Road Safety Modeling, Walencja, Hiszpania, 2010.
- [88] Szczuraszek T., *Prędkość pojazdów w warunkach drogowego ruchu swobodnego.*: PAN KILiW, Studia z zakresu inżynierii, Warszawa, 2008.
- [89] Tanaka M., Ranjitkar P., Nakatsuji T., *Comparison of driving behavior and safety in car-following platoons under icy and dry surface conditions.*: 89th Transportation Research Board Annual Meeting, nr 10-0504, Waszyngton, 2010.
- [90] Thrun S., Norvig P., *Introduction to artificial intelligence.*: Stanford CS221, e-learning course, www.ai-class.com, Stanford University, 2011.
- [91] Transportation Research Board Executive Committee, *Guidelines for design and operation of nighttime traffic control for highway maintenance and construction.*: National Cooperative Highway Research Program, raport nr 476, Waszyngton, 2002.
- [92] Transprojekt-Warszawa, *Generalny Pomiar Ruchu 2005 - synteza wyników.*: GDDKiA, Warszawa, 2006.
- [93] Transprojekt-Warszawa, *Synteza wyników GPR 2010.*: GDDKiA, Warszawa, 2011.
- [94] Triggs T. J., Harris W. G., *Reaction time of drivers to road stimuli.*: Human Factors Report nr HFR-12, Monash University Department of Psychology, Australia, 1982.
- [95] Unarski J., *Czas reakcji kierowcy - standardy a rzeczywistość (część 1).*: "Paragraf na drodze 6/99" Instytut Ekspertyz Sądowych, Kraków, 1999.
- [96] van der Horst R., Hogema J., *Time-to-collision and collision avoidance systems.*: 6th ICTCT workshop, Austrian Road Safety Board, s. 1-12, Salzburg, 1993.
- [97] Vogel K., *A comparison of headway and time to collision as safety indicators.*: Accident Analysis and Prevention (35), s. 427-433, 2003.
- [98] Wanvik P. O., *Effects of road lighting - An analysis based on Dutch accident statistics 1987-2006.*: Accident Analysis & Prevention (41), s. 123-128, 2009.
- [99] Zarząd Dróg Wojewódzkich w Krakowie, *Plan Rozwoju Sieci Dróg Wojewódzkich w Małopolsce do roku 2020.*: Kraków, 2012.
- [100] Zhang G., Wang Y., Wei H., Chen Y., *Examining headway distribution models using urban freeway loop event data.*: Transportation Research Record 1999, s. 141-149. nr 10.3141/1999-15.

ZAŁĄCZNIK 1

Tablice i rysunki do rozdziału 4



Rys. Z4.1. Porównanie relatywnego ryzyka wypadku w kolejnych miesiącach roku.

Tabl. Z4.1. Wyznaczenie udziału natężenia ruchu w poszczególnych porach doby na drogach krajowych.

miesiąc	udział [%]			waga	korekta		
	dzień	zmrzch, świt	noc		dzień	zmrzch, świt	noc
styczeń	50,35	11,40	38,25	0,868	43,71	9,90	33,21
luty	58,14	10,67	31,19	0,868	50,48	9,26	27,07
marzec	67,49	9,17	23,34	0,868	58,59	7,96	20,26
kwiecień	75,79	7,64	16,58	1,030	78,05	7,87	17,07
maj	82,44	5,93	11,63	1,030	84,90	6,10	11,98
czerwiec	85,34	5,09	9,57	1,030	87,89	5,24	9,86
lipiec	84,09	5,50	10,41	1,174	98,72	6,46	12,23
sierpień	79,05	6,97	13,98	1,174	92,81	8,19	16,41
wrzesień	71,33	8,76	19,91	1,030	73,46	9,02	20,50
październik	62,02	10,28	27,69	1,030	63,88	10,59	28,52
listopad	52,48	11,12	36,40	1,030	54,05	11,45	37,49
grudzień	47,47	11,49	41,04	0,868	41,21	9,97	35,63
razem	68,00	8,67	23,33	1,000	68,98	8,50	22,52

ZAŁĄCZNIK 2

Tablice do rozdziału 5

Tabl. Z5.1. Wyznaczenie udziału okresu nocy przed godziną 23:00 w dobowym natężeniu ruchu.

miesiąc	okres z przedziału 17:00-23:00 przypadający na noc	udział natężenia ruchu w nocy w godz. 17:00-23:00 [%]		
		rzeczywisty	waga	skorygowany
styczeń	17:00-23:00	22,50	0,868	19,54
luty	17:45-23:00	17,82	0,868	15,47
marzec	18:45-23:00	12,31	0,868	10,69
kwiecień	20:20-23:00	7,09	1,030	7,30
maj	21:00-23:00	4,74	1,030	4,88
czerwiec	21:30-23:00	3,39	1,030	3,49
lipiec	21:25-23:00	3,41	1,174	4,00
sierpień	20:40-23:00	5,47	1,174	6,42
wrzesień	19:40-23:00	9,74	1,030	10,03
październik	18:30-23:00	15,32	1,030	15,78
listopad	17:00-23:00	23,82	1,030	24,53
grudzień	17:00-23:00	22,50	0,868	19,53
cały rok				11,81

Tabl. Z5.2. Współczynniki korelacji r_s Spearmana dla zmiennych niezależnych z bazy DW-Z-NO (nadmierna korelacja kolor niebieski, słaba korelacja kolor czerwony).

	L	N	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{dg}	G_{ipd}	G_{kpd}	G_{lpd}	G_{pd}	G_{pabz}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{pps}	G_{ppp}	G_{ppw}	G_{pp}	G_{przp}	G_{przc}	G_{bar}	G_{przcw}	G_{nl}	G_{nlz}	G_{nlztp}	G_{nlztc}	G_{usp}
L	1,00	0,17	0,01	0,19	0,02	0,34	0,09	0,23	0,08	0,10	0,18	0,03	-0,14	0,14	0,29	0,14	0,27	0,19	0,30	0,13	0,29	0,28	0,11	0,16	0,18	0,02	0,23
N	0,17	1,00	0,17	0,28	0,14	-0,04	-0,04	0,13	-0,04	0,02	0,06	0,20	0,23	0,22	0,33	0,14	0,42	0,39	0,23	0,11	0,08	0,08	-0,02	-0,02	0,07	-0,01	0,36
G_{sk}	0,01	0,17	1,00	0,21	0,98	-0,02	0,05	0,28	-0,23	0,04	0,03	0,25	0,24	0,43	0,16	-0,01	0,17	0,42	0,22	0,14	0,05	0,07	-0,09	-0,14	-0,09	0,07	0,15
G_{skzs}	0,19	0,28	0,21	1,00	0,08	0,10	0,02	0,32	-0,11	0,07	0,27	0,09	0,23	0,19	0,71	-0,04	0,39	0,36	0,35	0,18	0,01	0,03	-0,09	0,01	-0,09	-0,02	0,18
G_{skbs}	0,02	0,14	0,98	0,08	1,00	-0,02	0,05	0,25	-0,20	0,03	0,00	0,25	0,21	0,41	0,08	0,00	0,12	0,38	0,18	0,13	0,06	0,09	-0,07	-0,13	-0,07	0,08	0,13
G_{dg}	0,34	-0,04	-0,02	0,10	-0,02	1,00	0,24	0,15	0,08	0,29	0,06	-0,12	-0,14	-0,06	0,11	-0,09	0,07	-0,02	0,10	0,01	-0,03	-0,04	0,07	0,12	0,10	0,03	0,02
G_{ipd}	0,09	-0,04	0,05	0,02	0,05	0,24	1,00	-0,12	-0,20	0,95	0,26	-0,17	0,00	0,14	-0,05	0,00	-0,06	0,06	-0,06	0,13	-0,24	-0,23	-0,04	-0,10	-0,06	0,08	-0,13
G_{kpd}	0,23	0,13	0,28	0,32	0,25	0,15	-0,12	1,00	-0,18	0,03	0,01	0,10	0,03	0,26	0,33	0,02	0,39	0,39	0,32	0,10	0,12	0,12	-0,16	-0,16	0,03	-0,14	0,29
G_{lpd}	0,08	-0,04	-0,23	-0,11	-0,20	0,08	-0,20	-0,18	1,00	-0,09	-0,10	0,06	-0,01	-0,10	-0,10	0,01	-0,27	-0,21	-0,06	-0,08	0,05	0,04	0,20	0,24	0,08	0,03	-0,18
G_{pd}	0,10	0,02	0,04	0,07	0,03	0,29	0,95	0,03	-0,09	1,00	0,23	-0,17	-0,01	0,18	0,03	-0,02	0,00	0,13	-0,01	0,19	-0,21	-0,19	-0,03	-0,09	-0,05	0,05	-0,08
G_{pabz}	0,18	0,06	0,03	0,27	0,00	0,06	0,26	0,01	-0,10	0,23	1,00	-0,24	0,38	0,06	0,23	-0,01	0,02	0,03	0,15	0,04	-0,02	-0,02	0,11	-0,07	0,15	0,15	-0,05
G_{pazz}	0,03	0,20	0,25	0,09	0,25	-0,12	-0,17	0,10	0,06	-0,17	-0,24	1,00	0,70	0,23	0,11	0,15	0,25	0,33	0,12	-0,04	0,04	0,04	-0,11	0,01	-0,19	-0,01	0,22
G_{pa}	-0,14	0,23	0,24	0,23	0,21	-0,14	0,00	0,03	-0,01	-0,01	0,38	0,70	1,00	0,25	0,18	0,14	0,13	0,29	0,13	-0,02	-0,07	-0,07	-0,11	-0,13	-0,11	0,00	0,12
G_{ppz}	0,14	0,22	0,43	0,19	0,41	-0,06	0,14	0,26	-0,10	0,18	0,06	0,23	0,25	1,00	0,22	0,21	0,15	0,87	0,35	0,18	0,01	0,03	-0,16	-0,06	-0,11	-0,05	0,13
G_{pps}	0,29	0,33	0,16	0,71	0,08	0,11	-0,05	0,33	-0,10	0,03	0,23	0,11	0,18	0,22	1,00	0,14	0,49	0,44	0,36	0,29	0,19	0,19	-0,07	-0,02	-0,06	0,11	0,26
G_{ppp}	0,14	0,14	-0,01	-0,04	0,00	-0,09	0,00	0,02	0,01	-0,02	-0,01	0,15	0,14	0,21	0,14	1,00	-0,07	0,20	0,21	-0,03	0,03	0,03	-0,10	-0,07	-0,06	-0,04	-0,01
G_{ppw}	0,27	0,42	0,17	0,39	0,12	0,07	-0,06	0,39	-0,27	0,00	0,02	0,25	0,13	0,15	0,49	-0,07	1,00	0,55	0,23	0,26	0,13	0,13	-0,15	-0,07	-0,04	-0,02	0,59
G_{pp}	0,19	0,39	0,42	0,36	0,38	-0,02	0,06	0,39	-0,21	0,13	0,03	0,33	0,29	0,87	0,44	0,20	0,55	1,00	0,36	0,24	0,02	0,04	-0,23	-0,10	-0,16	-0,04	0,40
G_{przp}	0,30	0,23	0,22	0,35	0,18	0,10	-0,06	0,32	-0,06	-0,01	0,15	0,12	0,13	0,35	0,36	0,21	0,23	0,36	1,00	0,10	0,09	0,08	-0,10	-0,14	0,16	-0,08	0,21
G_{przc}	0,13	0,11	0,14	0,18	0,13	0,01	0,13	0,10	-0,08	0,19	0,04	-0,04	-0,02	0,18	0,29	-0,03	0,26	0,24	0,10	1,00	0,15	0,23	-0,04	-0,12	-0,11	0,17	0,11
G_{bar}	0,29	0,08	0,05	0,01	0,06	-0,03	-0,24	0,12	0,05	-0,21	-0,02	0,04	-0,07	0,01	0,19	0,03	0,13	0,02	0,09	0,15	1,00	0,99	0,20	0,10	0,27	0,09	0,19
G_{przcw}	0,28	0,08	0,07	0,03	0,09	-0,04	-0,23	0,12	0,04	-0,19	-0,02	0,04	-0,07	0,03	0,19	0,03	0,13	0,04	0,08	0,23	0,99	1,00	0,21	0,09	0,26	0,11	0,19
G_{nl}	0,11	-0,02	-0,09	-0,09	-0,07	0,07	-0,04	-0,16	0,20	-0,03	0,11	-0,11	-0,11	-0,16	-0,07	-0,10	-0,15	-0,23	-0,10	-0,04	0,20	0,21	1,00	0,65	0,62	0,43	0,04
G_{nlz}	0,16	-0,02	-0,14	0,01	-0,13	0,12	-0,10	-0,16	0,24	-0,09	-0,07	0,01	-0,13	-0,06	-0,02	-0,07	-0,07	-0,10	-0,14	-0,12	0,10	0,09	0,65	1,00	0,08	0,07	0,00
G_{nlztp}	0,18	0,07	-0,09	-0,09	-0,07	0,10	-0,06	0,03	0,08	-0,05	0,15	-0,19	-0,11	-0,11	-0,06	-0,06	-0,04	-0,16	0,16	-0,11	0,27	0,26	0,62	0,08	1,00	0,08	0,17
G_{nlztc}	0,02	-0,01	0,07	-0,02	0,08	0,03	0,08	-0,14	0,03	0,05	0,15	-0,01	0,00	-0,05	0,11	-0,04	-0,02	-0,04	-0,08	0,17	0,09	0,11	0,43	0,07	0,08	1,00	0,02
G_{usp}	0,23	0,36	0,15	0,18	0,13	0,02	-0,13	0,29	-0,18	-0,08	-0,05	0,22	0,12	0,13	0,26	-0,01	0,59	0,40	0,21	0,11	0,19	0,19	0,04	0,00	0,17	0,02	1,00

Tabl. Z5.3. Współczynniki korelacji r_s Spearmana dla zmiennych zależnych i niezależnych z bazy DW-Z-NO (słaba korelacja kolor czerwony).

	L	N	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{dg}	G_{ipd}	G_{kpd}	G_{lpd}	G_{pd}	G_{pabz}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{pps}	G_{ppp}	G_{ppw}	G_{pp}	G_{przp}	G_{przc}	G_{bar}	G_{przcw}	G_{nl}	G_{nlz}	G_{nlztp}	G_{nlztc}	G_{usp}
LW	0,62	0,21	0,03	0,22	0,02	0,31	0,22	0,15	0,04	0,20	0,10	0,11	0,01	0,24	0,28	0,19	0,29	0,29	0,32	0,13	0,21	0,20	0,12	0,09	0,22	0,06	0,12
$LOŚ$	0,31	0,07	0,10	0,06	0,11	0,33	0,11	0,17	0,05	0,14	-0,03	-0,02	-0,14	0,12	0,08	0,13	0,11	0,13	0,11	0,07	0,02	0,03	0,15	0,08	0,17	0,04	0,03
LR	0,61	0,18	0,03	0,27	0,01	0,24	0,17	0,16	0,08	0,15	0,12	0,14	0,05	0,21	0,29	0,18	0,32	0,28	0,29	0,14	0,22	0,21	0,10	0,10	0,15	0,02	0,16
LW_{ppi}	0,43	0,20	0,07	0,09	0,07	0,25	0,12	0,13	0,03	0,11	0,02	0,13	0,06	0,26	0,18	0,19	0,20	0,27	0,26	0,03	0,15	0,13	-0,01	-0,06	0,19	0,01	0,05
LW_p	0,39	0,05	-0,07	0,12	-0,08	0,29	0,26	0,14	0,01	0,27	0,01	0,03	-0,05	0,08	0,15	0,21	0,13	0,11	0,19	0,09	0,14	0,12	0,09	0,17	0,05	0,03	0,05
LW_{pp}	0,51	0,28	0,03	0,19	0,03	0,03	0,08	0,03	0,07	0,04	0,16	0,12	0,05	0,16	0,22	0,20	0,28	0,22	0,27	0,21	0,21	0,22	0,11	0,04	0,17	0,12	0,20
LW_{sk}	0,25	0,18	0,09	0,00	0,08	0,19	0,01	0,09	-0,07	0,00	-0,02	0,08	0,03	0,18	0,15	0,18	0,20	0,23	0,18	0,17	0,00	0,00	-0,08	-0,12	-0,04	0,14	0,00
LW_{ip}	0,30	0,10	-0,09	0,01	-0,08	0,14	0,07	0,03	0,04	0,07	-0,04	0,01	-0,10	0,01	0,03	0,11	0,14	0,01	0,26	0,14	0,20	0,20	0,14	0,18	0,15	-0,07	0,09
LW_{zcz}	0,50	0,35	0,11	0,19	0,12	0,12	0,13	0,13	0,05	0,11	0,15	0,11	0,06	0,18	0,18	0,24	0,22	0,21	0,26	0,18	0,06	0,07	-0,01	0,00	0,03	0,08	0,13
LW_{zbo}	0,35	0,16	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,10	-0,01	0,04	0,11	0,08	0,04	0,14	0,12	0,14	0,27	0,20	0,20	0,22	0,26	0,25	0,07	-0,06	0,15	0,11	0,13
LW_{zty}	0,04	-0,08	-0,08	0,05	-0,07	-0,06	0,02	-0,14	0,06	-0,01	-0,01	0,05	0,00	-0,06	0,03	-0,03	-0,01	-0,07	-0,04	-0,06	0,06	0,05	0,17	0,10	0,11	0,12	0,00
$LW_{zaś}$	0,19	-0,04	-0,09	-0,05	-0,09	0,08	0,11	0,01	0,04	0,12	-0,04	-0,06	-0,11	-0,02	-0,05	-0,02	-0,09	-0,06	-0,05	-0,03	0,02	0,02	0,06	0,16	-0,08	-0,05	-0,01
LW_{alk}	0,23	0,11	0,01	0,06	0,00	0,08	0,17	-0,04	0,06	0,12	-0,11	0,03	-0,07	0,21	-0,04	0,09	0,08	0,19	0,14	0,07	0,03	0,03	-0,06	-0,04	-0,03	-0,03	0,08
LW_{naw}	0,53	0,11	0,03	0,13	0,03	0,29	0,15	0,09	0,10	0,12	0,16	0,01	0,00	0,19	0,19	0,20	0,16	0,17	0,30	0,07	0,22	0,21	0,14	0,08	0,26	0,06	0,05
$LW_{a\&em}$	0,60	0,20	0,05	0,24	0,03	0,30	0,21	0,19	0,01	0,21	0,15	0,14	0,07	0,21	0,31	0,20	0,31	0,28	0,33	0,15	0,23	0,22	0,14	0,09	0,25	0,07	0,13
LW_{17-23}	0,53	0,19	0,11	0,20	0,10	0,23	0,17	0,18	0,05	0,16	0,07	0,09	0,00	0,30	0,28	0,19	0,30	0,33	0,36	0,15	0,19	0,18	0,03	-0,04	0,23	0,04	0,13

Tabl. Z5.4. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków z pieszymi w nocy na drogach krajowych (baza DK-C-NO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																	R^2	R_p^2				
			ilościowych														jakościowych								
			lnL	lnN	G_{sk}	G_{skbs}	G_{ipd}	G_{kpd}	G_{pd}	G_{pabz}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{pps}	G_{ppw}	G_{pp}	Przekrój								
																	CH	G	B			K			
LW_{ppi}	5.4.1	-	0,978	0,033	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,30
	5.4.2	-3,306	0,910	0,458	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,36
	5.4.3	-3,219	0,953	0,424	0,079	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,42
	5.4.4	-3,260	0,951	0,431	-	-	0,080	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,42
	5.4.5	-3,470	0,937	0,464	-	-	-	0,010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,39
	5.4.6	-2,387	0,976	0,315	-	-	-	-	0,053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,41
	5.4.7	-3,374	0,956	0,440	-	-	-	-	-	0,011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,41
	5.4.8	-2,787	0,995	0,364	-	-	-	-	-	-	-	0,169	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,42
	5.4.9	-2,793	0,992	0,361	-	-	-	-	-	-	-	-	0,168	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,42
	5.4.10	-3,206	0,939	0,437	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,086	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,39
	5.4.11	-3,158	0,909	0,436	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,146	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,38
	5.4.12	-2,907	0,936	0,400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,116	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,40
	5.4.13	-2,843	0,953	0,384	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,082	-	-	-	-	-	-	0,38	0,41
	5.4.14	-2,887	0,927	0,411	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,276	-0,142	-0,127	-0,007	-	0,39	0,43
	5.4.15	-2,762	1,017	0,347	0,060	-	-	-	-	-	-	-	0,147	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,45
	5.4.16	-2,770	1,012	0,345	0,059	-	-	-	-	-	-	-	-	0,145	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,45
	5.4.17	-2,972	0,950	0,399	0,058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,211	-0,067	-0,040	-0,104	-	0,40	0,44
	5.4.18	-2,807	1,015	0,353	-	0,062	-	-	-	-	-	-	0,148	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,45
	5.4.19	-2,812	1,010	0,351	-	0,061	-	-	-	-	-	-	-	0,146	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,45
	5.4.20	-3,002	0,948	0,405	-	-	0,058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,212	-0,073	-0,050	-0,089	-	0,40	0,44
	5.4.21	-3,111	0,953	0,414	-	-	-	0,008	-	-	-	-	-	-	-	-	0,097	-	-	-	-	-	-	0,38	0,41
	5.4.22	-3,070	0,964	0,404	-	-	-	0,007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,067	-	-	-	-	-	0,39	0,43
	5.4.23	-3,229	0,940	0,440	-	-	-	-	0,007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,228	-0,073	-0,097	-0,058	-	0,39	0,43
	5.4.24	-2,100	1,040	0,259	-	-	-	-	0,043	-	-	-	0,141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,44
	5.4.25	-2,196	1,029	0,272	-	-	-	-	0,040	-	-	-	-	0,132	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,44
	5.4.26	-2,191	0,989	0,287	-	-	-	-	0,048	-	-	-	-	-	-	0,081	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,43
	5.4.27	-2,279	0,989	0,296	-	-	-	-	0,043	-	-	-	-	-	-	-	0,051	-	-	-	-	-	-	0,39	0,43
	5.4.28	-2,355	0,974	0,315	-	-	-	-	0,045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,202	-0,044	-0,059	-0,099	-	0,40	0,44
	5.4.29	-2,935	1,005	0,370	-	-	-	-	-	0,008	-	-	0,133	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,43
	5.4.30	-2,949	0,999	0,371	-	-	-	-	-	0,007	-	-	-	0,130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,44
	5.4.31	-3,081	0,968	0,400	-	-	-	-	-	0,010	-	-	-	-	-	0,088	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,43
	5.4.32	-3,076	0,974	0,397	-	-	-	-	-	0,009	-	-	-	-	-	-	0,054	-	-	-	-	-	-	0,39	0,43
	5.4.33	-2,535	1,013	0,326	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,056	-	-	-	-	-	-	0,40	0,44
	5.4.34	-2,521	1,011	0,320	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,059	-	-	-	-	-	-	0,41	0,45

Tabl. Z5.5. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków z pojedynczymi pojazdami, wypadków typu „pojazd-pojazd”, wypadków na skrzyżowaniach, wypadków na łukach poziomych i wypadków w wyniku zderzenia czołowego w nocy na drogach krajowych (baza DK-C-NO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																	R^2	R_p^2		
			ilościowych											jakościowych									
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{tpd}	G_{kpd}	G_{lpd}	G_{ppz}	G_{pps}	G_{ppw}	G_{pp}	G_l	$WPRZ_T$	$WPRZ_T$	Przekrój					
																CH	G	B	K				
LW_p	5.5.1	-	0,723	-0,083	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	0,06
LW_{pp}	5.6.1	-	0,955	0,048	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,26
	5.6.2	-2,116	0,910	0,321	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,28
	5.6.3	-1,876	0,875	0,310	-	-	-	-0,016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,31
	5.6.4	-2,047	0,869	0,336	-	-	-	-	-	-0,012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,31
	5.6.5	-2,393	0,894	0,363	-	-	-	-	-	-	-0,143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	0,30
	5.6.6	-2,400	0,883	0,369	-	-	-	-	-	-	-	-0,078	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,31
	5.6.7	-1,954	0,912	0,292	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,465	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,32
	5.6.8	-2,765	0,889	0,393	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,166	0,221	0,086	-0,141	-	0,28	0,30
	5.6.9	-1,801	0,881	0,292	-	-	-	-0,014	-	-	-	-	-	-	0,358	-	-	-	-	-	-	0,31	0,34
LW_{sk}	5.7.1	-	1,055	-0,053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,12
	5.7.2	-5,211	0,951	0,617	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,17
	5.7.3	-5,044	1,049	0,548	0,153	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,22
	5.7.4	-4,552	1,068	0,512	-	0,642	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	0,25
	5.7.5	-5,129	1,016	0,573	-	-	0,117	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,20
	5.7.6	-4,297	1,016	0,475	-	-	-	-	0,051	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,20
	5.7.7	-4,338	0,982	0,541	-	-	-	-	-	-0,151	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,26
	5.7.8	-4,971	1,024	0,566	-	-	-	-	-	-	-	0,187	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,22
	5.7.9	-4,689	0,369	0,538	-	-	-	-	-	-	-	-	0,365	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,22
	5.7.10	-4,187	1,040	0,455	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,149	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,22
	5.7.11	-5,138	0,917	0,631	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,293	-	-	-	-	-	0,19	0,21
	5.7.12	-5,976	0,884	0,692	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,255	-	-	-	-	0,18	0,20
	5.7.13	-4,015	1,028	0,495	-	0,505	-	-	-	-0,123	-	-	-	-	-	0,199	-	-	-	-	-	0,32	0,35
LW_{lp}	5.8.1	-	0,444	-0,142	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,03
LW_{zcz}	5.9.1	-	0,880	-0,088	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	0,09

Tabl. Z5.6. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia bocznego i tylnego, wypadków przy złym stanie nawierzchni, wypadków bez udziału alkoholu ani zmęczenia lub zaśnięcia i wypadków w godzinach 17:00-23:00 w nocy na drogach krajowych (baza DK-C-NO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																	R^2	R_p^2		
			ilościowych											jakościowych									
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{ipd}	G_{ipd}	G_{ipd}	G_{pd}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{pizp}	G_l	G_w	WPRZPT	Przekrój						
														CH	G	B	K						
LW_{zbo}	5.10.1	-	1,074	-0,062	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14	0,15
	5.10.2	-	1,115	-0,088	0,091	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,17
	5.10.3	-	1,081	-0,069	-	0,346	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,17
	5.10.4	-	1,024	-0,040	-	-	-0,017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,17
	5.10.5	-	1,068	-0,043	-	-	-	-	-0,064	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,17
	5.10.6	-	1,109	-0,068	-	-	-	-	-	-	-	-	0,064	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,17
	5.10.7	-	1,074	-0,069	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,443	-	-	-	-	-	-	0,16	0,18
	5.10.8	-	1,034	-0,036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,334	-	-	-	-	0,20	0,23
	5.10.9	-	1,020	-0,043	0,115	-	-0,024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,281	-	-	-	-	0,25	0,28
LW_{zty}	5.11.1	-	0,949	-0,147	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,04	
LW_{naw}	5.12.1	-	0,887	0,057	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,34	
	5.12.2	-	2,030	0,845	0,319	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,37	
	5.12.3	-	1,625	0,873	0,255	-	-	-	0,026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,39	
	5.12.4	-	2,071	0,866	0,311	-	-	-	-	0,006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,39	
	5.12.5	-	1,773	0,883	0,269	-	-	-	-	-	-	0,093	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,39	
LW_{alzm}	5.13.1	-	0,885	0,126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,47	0,49	
	5.13.2	-	0,907	0,114	-	-	-	0,028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50	0,53	
	5.13.3	-	0,912	0,114	-	-	-	-	-	-	0,078	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49	0,51	
	5.13.4	-	0,917	0,110	-	-	-	-	-	-	-	0,092	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50	0,52	
	5.13.5	-	0,890	0,128	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,107	-0,130	0,020	0,003	0,50	0,53	
LW_{17-23}	5.14.1	-	0,928	0,090	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,43	
	5.14.2	-	0,945	0,079	0,039	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,42	0,45	
	5.14.3	-	0,933	0,086	-	0,186	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,45	
	5.14.4	-	0,953	0,079	-	-	-	-	-	-	0,075	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,45	
	5.14.5	-	0,957	0,075	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,047	-	-	-	-	-	0,42	0,45	
	5.14.6	-	0,934	0,086	-	-	-	-	-	-	-	0,086	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,45	

Tabl. Z5.7. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków wszystkich typów w nocy na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-NO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych														R^2	R_p^2
			ilościowych										jakościowych					
			lnL	lnN	G_{skas}	G_{drg}	G_{ipd}	G_{pd}	G_{pa}	G_{prap}	G_{prc}	$WPRZPT$	Przekrój					
													CH	G	B	K		
LW_{ppi}	5.15.1	-	1,183	0,059	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49	0,53
	5.15.2	-3,051	1,118	0,450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,59
LW_p	5.16.1	-	0,800	-0,091	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	0,06
LW_{pp}	5.17.1	-	1,047	0,025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,34
	5.17.2	-	1,029	0,060	-	-	-0,014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,38
	5.17.3	-	1,022	0,081	-	-	-	-0,015	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,39
	5.17.4	-	1,086	0,039	-	-	-	-	-	-	-0,686	-	-	-	-	-	0,36	0,39
	5.17.5	-	1,012	0,039	-	-	-	-	-	-	-	0,217	-	-	-	-	0,37	0,40
	5.17.6	-	1,078	0,105	-	-	-	-0,017	-	-	-0,808	-	-	-	-	-	0,43	0,47
LW_{sk}	5.18.1	-3,542	1,272	0,439	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,40
	5.18.2	-3,419	1,283	0,402	0,420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,43
	5.18.3	-3,719	1,391	0,449	-	-	-	-	-	0,089	-	-	-	-	-	-	0,42	0,45
	5.18.4	-3,403	1,200	0,439	-	-	-	-	-	-	-	0,329	-	-	-	-	0,43	0,47
	5.18.5	-3,617	1,404	0,415	0,424	-	-	-	-	0,092	-	-	-	-	-	-	0,45	0,49
LW_{zcz}	5.19.1	-	0,679	-0,166	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02
LW_{zbo}	5.20.1	-	1,184	-0,058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,22
	5.20.2	-	1,210	-0,072	-	0,157	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,24
	5.20.3	-	1,265	-0,067	-	-	-	-	-	0,065	-	-	-	-	-	-	0,22	0,24
	5.20.4	-	1,093	-0,035	-	-	-	-	-	-	-	0,491	-	-	-	-	0,34	0,38
	5.20.5	-	1,224	-0,065	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,247	0,428	0,011	-0,192	0,26	0,29
	5.20.6	-	1,096	-0,050	-	0,175	-	-	-	-	-	0,498	-	-	-	-	0,36	0,40
LW_{zty}	5.21.1	-	1,204	-0,159	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	0,08
LW_{naw}	5.22.1	-	1,042	0,071	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,42	0,46
LW_{-alzm}	5.23.1	-	1,021	0,131	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,62	0,66
	5.23.2	-	1,055	0,111	-	-	-	-	0,082	-	-	-	-	-	-	-	0,65	0,68
LW_{17-23}	5.24.1	-	1,219	0,092	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,61	0,65

Tabl. Z5.8. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków z pieszymi, wypadków z pojedynczymi pojazdami i wypadków typu „pojazd-pojazd” w nocy na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (baza DK-NZ-NO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych														R^2	R_p^2	
			ilościowych											jakościowych					
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{ipd}	G_{kpd}	G_{lpd}	G_{pd}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{przc}	G_{bar}	WPRZCT	WPRZT			
LW_{ppi}	5.25.1	-3,054	0,826	0,406	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,24
	5.25.2	-3,239	0,875	0,417	-	-	0,022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,28
	5.25.3	-3,529	0,793	0,450	-	-	-	-	0,033	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,29
	5.25.4	-3,138	0,921	0,385	-	-	-	-	-	0,026	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,31
	5.25.5	-2,522	0,909	0,316	-	-	-	-	-	-	0,192	-	-	-	-	-	-	0,26	0,30
	5.25.6	-2,533	0,907	0,315	-	-	-	-	-	-	-	0,185	-	-	-	-	-	0,26	0,29
	5.25.7	-2,828	0,811	0,388	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,751	-	-	-	0,24	0,27
	5.25.8	-2,664	0,969	0,314	-	-	-	-	-	0,021	0,146	-	-	-	-	-	-	0,30	0,34
LW_p	5.26.1	-	0,793	-0,077	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	0,09
LW_{pp}	5.27.1	-	1,077	0,067	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,33
	5.27.2	-4,265	0,944	0,617	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,38
	5.27.3	-4,152	1,033	0,583	0,116	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,40
	5.27.4	-3,966	0,988	0,574	-	0,440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,41
	5.27.5	-3,537	0,997	0,506	-	-	-	0,062	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,40
	5.27.6	-3,842	0,978	0,579	-	-	-	-	-0,041	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,41
	5.27.7	-3,873	0,975	0,577	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,400	-	-	-	-	0,37	0,40
	5.27.8	-5,140	0,903	0,714	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,185	-	-	0,38	0,41
	5.27.9	-5,150	0,903	0,714	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,186	-	0,37	0,40
	5.27.10	-3,809	0,994	0,544	-	-	-	0,064	-0,038	-	-	-	-	-	0,165	-	-	0,42	0,45

Tabl. Z5.9. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków na skrzyżowaniach, wypadków na łukach poziomych i wypadków w wyniku zderzenia czołowego w nocy na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (baza DK-NZ-NO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																R^2	R_p^2		
			ilościowych											jakościowych								
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{ipd}	G_{lpd}	G_{pps}	G_{ppw}	G_{pp}	G_w	$WPRZP_T$	$WPRZC_T$	$WPRZ_T$	Przekrój					
																	CH+K	G			B	
LW_{sk}	5.28.1	-	1,310	-0,074	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	0,14	
	5.28.2	-5,784	1,123	0,671	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	0,14
	5.28.3	-5,862	1,592	0,597	0,420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,19
	5.28.4	-4,359	1,398	0,469	-	1,043	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,26
	5.28.5	-5,895	1,439	0,624	-	-	0,339	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,16
	5.28.6	-5,629	1,029	0,678	-	-	-	-0,071	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,19
	5.28.7	-4,600	1,124	0,580	-	-	-	-	-0,199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,27
	5.28.8	-5,103	1,293	0,575	-	-	-	-	-	0,855	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,19
	5.28.9	-5,808	1,227	0,665	-	-	-	-	-	-	0,454	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,16
	5.28.10	-5,818	1,357	0,654	-	-	-	-	-	-	-	0,333	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,17
	5.28.11	-5,160	1,187	0,575	-	-	-	-	-	-	-	-	0,202	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,16
	5.28.12	-6,039	1,031	0,730	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,283	-	-	-	-	-	-	0,15	0,16
	5.28.13	-7,356	1,057	0,844	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,337	-	-	-	-	-	0,16	0,17
	5.28.14	-7,341	1,059	0,841	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,331	-	-	-	-	0,16	0,17
	5.28.15	-5,081	1,231	0,623	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,848	-0,582	-0,266	-	0,15	0,15
	5.28.16	-4,013	1,281	0,492	-	0,963	-	-0,050	-0,147	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,41
LW_{lp}	5.29.1	5,721	0,630	-0,893	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	0,05	
LW_{zcz}	5.30.1	-	0,986	-0,049	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,13	
	5.30.2	-5,695	0,810	0,684	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,19	
	5.30.3	-5,051	0,866	0,627	-	-	-	-	-0,064	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,22	

Tabl. Z5.10. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia bocznego i tylnego, wypadków przy złym stanie nawierzchni, wypadków bez udziału alkoholu ani zmęczenia lub zaśnięcia i wypadków w godzinach 17:00-23:00 w nocy na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (baza DK-NZ-NO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych ilościowych															R^2	R_p^2		
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{kpd}	G_{lpd}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{pps}	G_{ppw}	G_{pp}	G_{przc}	G_{bar}	G_w				
LW_{zbo}	5.31.1	-	1,316	-0,057	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,22
	5.31.2	-4,286	1,174	0,496	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,23
	5.31.3	-4,249	1,436	0,439	0,288	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,29
	5.31.4	-4,279	1,350	0,458	-	-	0,223	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,26
	5.31.5	-3,620	1,225	0,443	-	-	-	-	-0,086	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,30
	5.31.6	-3,833	1,303	0,430	-	-	-	-	-	-	-	0,826	-	-	-	-	-	-	-	0,28	0,31
	5.31.7	-4,345	1,257	0,495	-	-	-	-	-	-	-	-	0,420	-	-	-	-	-	-	0,23	0,25
	5.31.8	-4,369	1,319	0,492	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,261	-	-	-	-	-	0,25	0,27
	5.31.9	-3,722	1,219	0,439	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,645	-	-	-	-	0,24	0,26
	5.31.10	-3,774	1,223	0,414	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,199	-	-	0,26	0,29
	5.31.11	-3,793	1,439	0,414	0,255	-	-	-	-0,072	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,34
LW_{zty}	5.32.1	-	0,991	-0,137	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	0,06
LW_{naw}	5.33.1	-	0,850	0,048	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,28
	5.33.2	-2,360	0,776	0,352	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,30
	5.33.3	-2,207	0,764	0,341	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,534	-	-	-	0,28	0,32
LW_{alzm}	5.34.1	-	0,883	0,126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,43
	5.34.2	-	0,904	0,116	-	-	-	-	-	0,100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,43	0,45
	5.34.3	-	0,908	0,113	-	-	-	-	-	-	0,111	-	-	-	-	-	-	-	-	0,43	0,45
	5.34.4	-	0,897	0,124	-	-	-	-	-	-	-	0,347	-	-	-	-	-	-	-	0,42	0,45
	5.34.5	-	0,918	0,107	-	-	-	0,072	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49	0,52
LW_{17-23}	5.35.1	-	0,862	0,090	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,43
	5.35.2	-	0,879	0,087	-	0,409	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,45
	5.35.3	-	0,892	0,073	-	-	-	0,063	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,45
	5.35.4	-	0,904	0,070	-	-	-	-	-	-	0,153	-	-	-	-	-	-	-	-	0,42	0,48
	5.35.5	-	0,863	0,108	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,249	-	-	-	-	0,40	0,45
	5.35.6	-	0,908	0,071	-	-	-	-	-	0,161	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,43	0,49

Tabl. Z5.11. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków przy świetle dziennym na drogach krajowych (baza DK-C-DZ).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																	R^2	R_p^2		
			ilościowych													jakościowych							
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{ipd}	G_{kpd}	G_{pd}	G_{paz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{pps}	G_{ppw}	G_{pp}	Przekrój						
																	CH	G	B			K	
LW	5.36.1	-	0,872	0,149	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,32
	5.36.2	-4,201	0,803	0,619	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,37
	5.36.3	-4,038	0,866	0,576	0,098	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	0,44
	5.36.4	-4,041	0,820	0,598	-	0,190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,39
	5.36.5	-4,102	0,858	0,586	-	-	0,094	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,43	0,43
	5.36.6	-4,307	0,821	0,622	-	-	-	0,007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,40
	5.36.7	-3,291	0,862	0,499	-	-	-	-	0,046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,43	0,43
	5.36.8	-4,214	0,839	0,602	-	-	-	-	-	0,009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,42
	5.36.9	-3,698	0,868	0,545	-	-	-	-	-	-	0,129	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,41
	5.36.10	-3,773	0,859	0,553	-	-	-	-	-	-	-	0,115	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,41
	5.36.11	-4,041	0,855	0,589	-	-	-	-	-	-	-	-	0,139	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,41
	5.36.12	-4,009	0,803	0,594	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,147	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,39
	5.36.13	-3,606	0,837	0,545	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,135	-	-	-	-	-	-	0,40	0,40
	5.36.14	-3,451	0,864	0,517	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,107	-	-	-	-	-	0,43	0,43
	5.36.15	-3,587	0,826	0,565	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,253	-0,214	-0,286	0,247	0,45	0,46
	5.36.16	-2,916	0,897	0,464	-	-	-	-	0,025	-	0,084	-	-	-	-	-	-	0,164	-0,150	-0,223	0,209	0,48	0,48

Tabl. Z5.12. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków z pieszymi, wypadków z pojedynczymi pojazdami i wypadków typu „pojazd-pojazd” przy świetle dziennym na drogach krajowych (baza DK-C-DZ).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																						R^2	R_p^2								
			ilościowych																	jakościowych														
			lnL	lnN	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{dg}	G_{ipd}	G_{kpd}	G_{lpd}	G_{pd}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{pps}	G_{ppw}	G_{pp}	G_l	G_w	WPRZC _T	Przekrój												
																				CH	G	B	K											
LW _{ppi}	5.37.1	-9,892	0,874	1,055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,12
	5.37.2	-9,504	1,165	0,914	0,304	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,31
	5.37.3	-9,115	1,022	0,951	-	0,628	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,18
	5.37.4	-9,561	1,119	0,937	-	-	0,276	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,28
	5.37.5	-8,378	0,985	0,911	-	-	-	-	-	-0,372	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,18
	5.37.6	-10,358	0,982	1,053	-	-	-	-	-	-	0,031	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,17
	5.37.7	-7,546	1,040	0,747	-	-	-	-	-	-	-	0,099	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,16
	5.37.8	-8,518	0,934	0,941	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,216	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,21
	5.37.9	-9,920	1,045	0,971	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,033	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,18
	5.37.10	-8,397	1,094	0,838	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,307	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,19
	5.37.11	-8,449	1,081	0,841	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,20
	5.37.12	-9,185	1,153	0,914	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,479	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,32
	5.37.13	-8,791	0,940	0,915	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,492	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,19
	5.37.14	-7,209	1,009	0,727	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,345	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,21
	5.37.15	-5,358	1,175	0,463	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,347	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,33
	5.37.16	-10,155	0,887	1,100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,16
	5.37.17	-8,536	0,904	0,893	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,122	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,17
	5.37.18	-11,291	0,787	1,188	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,318	-	-	-	-	-	-	-	0,14	0,14
	5.37.19	-6,865	0,977	0,740	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,830	-0,803	-0,894	0,867	-	-	0,39	0,41
	5.37.20	-7,028	1,375	0,630	-	0,464	-	-	-	-	-	-	0,013	0,167	-	0,318	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,365	-0,499	-0,451	0,585	-	-	0,50
LW _p	5.38.1	-	0,743	-0,071	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,06	
LW _{pp}	5.39.1	-	0,889	0,098	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	0,29	
	5.39.2	-5,670	0,797	0,732	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,36	
	5.39.3	-5,522	0,846	0,696	0,078	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,39	
	5.39.4	-5,572	0,843	0,702	-	-	0,079	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,38	
	5.39.5	-4,726	0,858	0,607	-	-	-	-	-	-	0,046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,41	
	5.39.6	-5,706	0,800	0,745	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,134	-0,026	-0,236	0,128	-	-	0,37	0,38
	5.39.7	-4,837	0,876	0,609	-	-	0,057	-	-	0,038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,42	

Tabl. Z5.13. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków na skrzyżowaniach, wypadków na łukach poziomych, wypadków w wyniku zderzenia czołowego i bocznego przy świetle dziennym na drogach krajowych (baza DK-C-DZ).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																		R^2	R_p^2		
			ilościowych															jakościowych						
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{kpd}	G_{lpd}	G_{pd}	G_{pabz}	G_{ppz}	G_{pps}	G_{ppw}	G_{pp}	G_{przp}	G_w	WPRZP _T	Przekrój					
CH	G	B	K																					
LW_{sk}	5.40.1	-5,423	0,750	0,611	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,12
	5.40.2	-5,123	0,947	0,511	0,230	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	0,29
	5.40.3	-4,629	0,860	0,508	-	0,573	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,22
	5.40.4	-5,251	0,911	0,537	-	-	0,204	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	0,24
	5.40.5	-3,274	0,898	0,326	-	-	-	0,097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,26
	5.40.6	-4,116	0,803	0,502	-	-	-	-	-	-1,189	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	0,24
	5.40.7	-5,444	0,799	0,587	-	-	-	-	-	-	0,012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,15
	5.40.8	-5,153	0,842	0,560	-	-	-	-	-	-	-	-	0,216	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,16
	5.40.9	-4,489	0,783	0,493	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,436	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,22
	5.40.10	-3,679	0,859	0,394	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,294	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,23
	5.40.11	-3,325	0,911	0,330	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,227	-	-	-	-	-	-	0,27	0,28
	5.40.12	-4,359	0,786	0,481	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,123	-	-	-	-	-	0,16	0,17
	5.40.13	-5,429	0,728	0,624	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,165	-	-	-	-	0,14	0,14
	5.40.14	-4,324	0,797	0,512	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,383	-0,370	-0,549	0,536	0,23	0,24
	5.40.15	-2,925	1,004	0,244	0,165	-	-	0,059	-	-	-	-	-	-	0,144	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,39
LW_{lp}	5.41.1	-	0,375	-0,095	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,01	
LW_{zcz}	5.42.1	-	1,070	-0,059	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,19	
	5.42.2	-5,870	0,969	0,600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,23	
	5.42.3	-5,869	0,995	0,606	-	-	-	-	-	-0,639	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	0,26	
	5.42.4	-5,597	0,968	0,575	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,160	-	-	-	-	0,23	0,25	
	5.42.5	-6,031	1,011	0,575	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,479	-	-	-	0,24	0,27	
	5.42.6	-6,074	1,036	0,587	-	-	-	-	-	-	-0,624	-	-	-	-	-	-	-0,474	-	-	-	0,27	0,30	
LW_{zbo}	5.43.1	-4,137	0,932	0,469	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,22	
	5.43.2	-4,016	0,989	0,430	0,098	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,26	
	5.43.3	-3,939	0,953	0,442	-	0,276	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,24	
	5.43.4	-4,066	0,981	0,440	-	-	0,089	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	0,25	
	5.43.5	-3,964	0,944	0,466	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,122	-0,118	-0,359	0,355	0,23	0,25
	5.43.6	-2,444	1,055	0,243	-	-	-	0,081	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,33

Tabl. Z5.14. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia tylnego i wypadków przy złym stanie nawierzchni przy świetle dziennym na drogach krajowych (baza DK-C-DZ).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																	R^2	R_p^2
			ilościowych											jakościowych							
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skbs}	G_{ipd}	G_{kpd}	G_{pd}	G_{pabz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{pp}	$WPRZP_T$	Przekrój				$USPOK_T$		
												CH	G	B	K						
LW_{zty}	5.44.1	-11,807	0,466	1,281	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,16
	5.44.2	-11,380	0,577	1,200	0,126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,19
	5.44.3	-11,505	0,572	1,213	-	0,137	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,19
	5.44.4	-11,890	0,495	1,274	-	-	0,012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,18
	5.44.5	-10,706	0,526	1,138	-	-	-	0,049	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,19
	5.44.6	-11,667	0,521	1,236	-	-	-	-	0,013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,20
	5.44.7	-11,859	0,467	1,281	-	-	-	-	-	0,256	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,20
	5.44.8	-11,093	0,544	1,180	-	-	-	-	-	-	0,134	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,18
	5.44.9	-11,518	0,566	1,209	-	0,137	-	-	-	0,251	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,23
LW_{naw}	5.45.1	-5,348	0,646	0,617	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14	0,15
	5.45.2	-5,203	0,694	0,589	-	-	-	-	-	-	-	0,128	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,18
	5.45.3	-4,779	0,693	0,539	-	-	-	-	-	-	-	-	0,085	-	-	-	-	-	-	0,16	0,17
	5.45.4	-5,427	0,674	0,601	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,295	-	-	-	-	-	0,17	0,18
	5.45.5	-4,338	0,619	0,512	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,200	0,17	0,18
	5.45.6	-4,704	0,674	0,564	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,180	-0,241	-0,372	0,433	-	0,20	0,21
	5.45.7	-4,238	0,660	0,489	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,320	0,213	-0,188	-0,364	0,339	0,159	0,24	0,26

Tabl. Z5.15. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków, wypadków z pieszymi, wypadków z pojedynczymi pojazdami i wypadków typu „pojazd-pojazd” przy świetle dziennym na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-DZ).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																		R^2	R_p^2			
			ilościowych														jakościowych								
			lnL	lnN	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{dg}	G_{lpd}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{pp}	G_l	G_{przcw}	G_w	$WPRZC_T$	$WPRZ_T$	Przekrój						
																	CH	G	B	K					
LW	5.46.1	-	1,077	0,170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52	0,53	
	5.46.2	-3,794	1,015	0,593	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,56	
	5.46.3	-4,203	1,015	0,633	-	-	-	0,090	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57	0,58	
	5.46.4	-2,765	1,015	0,479	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,110	-0,293	-0,029	0,212	0,60	0,60
	5.46.5	-3,039	1,017	0,501	-	-	-	0,121	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,139	-0,356	-0,002	0,219	0,63	0,64
LW _{ppi}	5.47.1	-	1,329	0,026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,21	
	5.47.2	-8,379	1,178	0,960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,30	
	5.47.3	-8,453	1,211	0,904	0,149	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,34	
	5.47.4	-8,371	1,207	0,947	-	0,298	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,32	
	5.47.5	-8,379	1,199	0,913	-	-	0,118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,32	
	5.47.6	-6,336	1,135	0,764	-	-	-	-	-0,484	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,44	
	5.47.7	-7,811	1,313	0,844	-	-	-	-	-	-	-	0,274	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,43	
	5.47.8	-5,009	1,313	0,500	-	-	-	-	-	-	-	-	0,226	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,42	
	5.47.9	-8,615	1,227	0,991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,737	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,34	
	5.47.10	-7,928	1,144	0,891	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,429	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,32	
	5.47.11	-7,170	1,176	0,816	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,075	-	-	-	-	-	-	0,29	0,32	
	5.47.12	-9,453	1,005	1,034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,559	-	-	-	-	-	0,35	0,38	
	5.47.13	-8,871	1,034	0,974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,455	-	-	-	-	0,30	0,32	
	5.47.14	-6,207	1,142	0,710	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,409	-0,515	-0,375	0,481	0,36	0,39
	5.47.15	-4,600	1,072	0,477	-	-	-	-	-0,369	-	-	-	0,109	-	-	-	-	0,488	-	0,238	-0,409	-0,002	0,173	0,57	0,62
LW _p	5.48.1	-	0,540	-0,108	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,02	
LW _{pp}	5.49.1	-	1,082	0,109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,46	0,48	
	5.49.2	-4,236	1,011	0,582	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49	0,50	
	5.49.3	-4,864	1,014	0,644	-	-	-	0,136	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,57	
	5.49.4	-4,515	0,978	0,632	-	-	-	-	-	-0,102	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51	0,52
	5.49.5	-4,546	0,983	0,644	-	-	-	-	-	-	-	-0,132	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,55
	5.49.6	-4,992	0,984	0,682	-	-	-	0,110	-	-	-	-0,111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57	0,59

Tabl. Z5.16. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków na skrzyżowaniach, wypadków na łukach poziomych, wypadków w wyniku zderzenia czołowego i bocznego przy świetle dziennym na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-DZ).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych															R^2	R_p^2	
			ilościowych														jakościowych			
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{ipd}	G_{kpd}	G_{pabz}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{pps}	G_{ppw}	G_{pp}	G_w	$WPRZC_T$			
LW_{sk}	5.50.1	-	1,163	0,048	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,33
	5.50.2	-4,872	1,076	0,593	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,36
	5.50.3	-4,915	1,100	0,549	0,117	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,44
	5.50.4	-4,669	1,115	0,554	-	0,400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	0,47
	5.50.5	-4,897	1,087	0,567	-	-	0,075	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,39
	5.50.6	-3,935	1,080	0,526	-	-	-	-0,017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,41
	5.50.7	-4,132	1,124	0,485	-	-	-	-	0,040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,42
	5.50.8	-5,310	1,030	0,670	-	-	-	-	-	-	-0,158	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,42
	5.50.9	-5,343	1,043	0,684	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,191	-	-	-	-	-	0,43	0,45
	5.50.10	-4,297	1,042	0,515	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,256	-	-	-	-	0,43	0,45
	5.50.11	-3,174	1,124	0,380	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,182	-	-	-	0,41	0,43
	5.50.12	-3,016	1,148	0,335	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,146	-	-	0,44	0,46
	5.50.13	-3,926	1,085	0,479	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,074	-	0,36	0,38
	5.50.14	-3,288	1,099	0,404	-	0,330	-	-	-	-	-	-0,151	-	-	0,200	-	-	-	0,57	0,60
LW_{lp}	5.51.1	-	0,742	-0,110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,04
LW_{zcz}	5.52.1	-	1,127	-0,073	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,19
	5.52.2	-7,091	1,005	0,721	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,19
	5.52.3	-8,313	0,957	0,900	-	-	-	-	-0,083	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,23
	5.52.4	-7,060	1,152	0,731	-	-	-	-	-	-1,243	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,30
	5.52.5	-6,440	1,118	0,603	-	-	-	-	-	-	0,207	-	-	-	-	-	-	-	0,28	0,33
	5.52.6	-8,341	1,113	0,912	-	-	-	-	-	-0,075	-1,175	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,35
LW_{zbo}	5.53.1	-	1,182	0,020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,34
	5.53.2	-	1,168	0,067	-	-	-	-0,021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,37
	5.53.3	-	1,126	0,055	-	-	-	-	-	-	-0,202	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,43
	5.53.4	-	1,131	0,065	-	-	-	-	-	-	-	-0,233	-	-	-	-	-	-	0,42	0,46
	5.53.5	-	1,268	0,032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,193	0,36	0,39
	5.53.6	-	1,199	0,113	-	-	-	-	-0,019	-	-	-	-0,190	-	-	-	-	-0,229	0,45	0,50

Tabl. Z5.17. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia tylnego i wypadków przy złym stanie nawierzchni przy świetle dziennym na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-DZ).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych															R^2	R_p^2
			ilościowych									jakościowych							
			$\ln L$	$\ln N$	G_{paz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{bar}	G_{przew}	Kręt	$WPRZP_T$	$WPRZC_T$	Przekrój				$USPOK_T$		
LW_{zly}	5.54.1	-9,333	0,847	1,029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,32
	5.54.2	-9,730	0,810	1,100	-	-0,152	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,34
	5.54.3	-9,664	0,828	1,096	-	-	-	-	-	-	0,008	-	-	-	-	-	-	0,26	0,34
	5.54.4	-9,222	0,916	1,011	-0,152	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,35
LW_{naw}	5.55.1	-	1,047	0,030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,21
	5.55.2	-8,600	0,915	0,988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,33
	5.55.3	-8,389	0,968	0,941	-	-	0,132	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,39
	5.55.4	-8,952	0,974	1,011	-	-	-	1,078	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,36
	5.55.5	-8,159	0,890	0,920	-	-	-	-	0,438	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,36
	5.55.6	-8,781	0,938	0,986	-	-	-	-	-	-	-0,284	-	-	-	-	-	-	0,38	0,41
	5.55.7	-9,274	0,791	1,038	-	-	-	-	-	-	-	0,324	-	-	-	-	-	0,37	0,39
	5.55.8	-7,543	0,913	0,874	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,172	0,35	0,37
	5.55.9	-6,217	0,926	0,717	-	-	-	-	-	-	-	-	0,232	-0,777	-0,022	0,567	-	0,40	0,43
	5.55.10	-7,228	1,055	0,759	-	-	0,155	1,274	-	-	-0,359	-	0,160	-0,618	-0,043	0,501	-	0,52	0,55

Tabl. Z5.18. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków, wypadków z pojedynczymi pojazdami, wypadków typu „pojazd-pojazd” i wypadków na skrzyżowaniach przy świetle dziennym na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (baza DK-NZ-DZ).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych														R^2	R_p^2	
			ilościowych										jakościowych						
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{kpd}	G_{paz}	G_{pa}	G_{ppw}	G_{pp}	Przekrój			$USPOK_T$			
													CH+K	G	B				
LW	5.56.1	-	0,823	0,134	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,26
	5.56.2	-3,638	0,756	0,542	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,29
	5.56.3	-3,547	0,854	0,510	0,154	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,34
	5.56.4	-3,651	0,845	0,522	-	-	0,155	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,33
	5.56.5	-2,078	0,858	0,345	-	-	-	0,084	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,35
	5.56.6	-2,505	0,914	0,384	-	-	-	-	0,285	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,41
	5.56.7	-2,574	0,902	0,391	-	-	-	-	-	0,265	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,39
	5.56.8	-3,567	0,812	0,529	-	-	-	-	-	-	0,308	-	-	-	-	-	-	0,31	0,31
	5.56.9	-3,612	0,853	0,529	-	-	-	-	-	-	-	0,212	-	-	-	-	-	0,32	0,32
	5.56.10	-2,931	0,699	0,472	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,170	0,31	0,32
	5.56.11	-4,269	0,808	0,645	-	-	-	-	-	-	-	-	0,602	-0,160	-0,442	-	-	0,33	0,34
	5.56.12	-1,997	0,901	0,324	-	-	0,104	-	0,256	-	-	-	-	-	-	-	0,155	0,47	0,47
LW _p	5.57.1	-	0,926	-0,048	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,05
LW _{pp}	5.58.1	-	0,833	0,089	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,24
	5.58.2	-6,352	0,720	0,801	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,30
	5.58.3	-6,182	0,878	0,750	0,210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,40
	5.58.4	-6,393	0,870	0,773	-	-	0,224	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,40
	5.58.5	-4,309	0,850	0,546	-	-	-	0,096	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,38
	5.58.6	-5,162	0,873	0,639	-	-	-	-	0,266	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,39
	5.58.7	-5,137	0,874	0,633	-	-	-	-	-	0,259	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,38
	5.58.8	-5,570	0,667	0,722	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,169	0,33	0,33
	5.58.9	-7,365	0,759	0,944	-	-	-	-	-	-	-	-	0,546	-0,053	-0,493	-	-	0,36	0,37
	5.58.10	-3,945	0,950	0,482	-	-	0,162	0,047	0,179	-	-	-	-	-	-	-	0,128	0,50	0,51
LW _{sk}	5.59.1	-	0,571	-0,046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,03

Tabl. Z5.19. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia czołowego, zderzenia bocznego i przy złym stanie nawierzchni przy świetle dziennym na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (baza DK-NZ-DZ).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																	R^2	R_p^2
			ilościowych														jakościowych				
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skbs}	G_{dg}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{ppw}	G_{pp}	G_{nl}	Kręt	G_w	WPRZP _T	Przekrój				
																	CH+K	G	B		
LW_{zcz}	5.60.1	-	1,090	-0,053	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,36
	5.60.2	-4,930	1,004	0,501	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,44
	5.60.3	-4,114	1,049	0,426	-	-	-0,151	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,47
	5.60.4	-5,570	1,089	0,561	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,299	-	-	-	-	-	0,25	0,47
	5.60.5	-5,906	1,095	0,599	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,008	-	-	-	-	0,26	0,49
	5.60.6	-5,076	1,056	0,462	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,577	-	-	0,28	0,52
	5.60.7	-5,986	1,141	0,555	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,008	-	-0,559	-	-	0,30	0,56
LW_{zbo}	5.61.1	-5,719	0,865	0,637	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,19
	5.61.2	-5,698	1,055	0,593	0,263	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,28
	5.61.3	-5,929	1,043	0,618	-	0,275	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,28
	5.61.4	-4,352	1,072	0,445	-	-	-	0,340	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,29
	5.61.5	-4,534	1,035	0,468	-	-	-	-	0,293	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,26
	5.61.6	-6,079	0,960	0,664	-	-	-	-	-	0,424	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,22
	5.61.7	-5,662	0,947	0,623	-	-	-	-	-	-	0,400	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,21
	5.61.8	-5,750	1,007	0,625	-	-	-	-	-	-	-	0,278	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,23
	5.61.9	-4,922	0,926	0,535	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,180	-	-	-	-	0,22	0,23
	5.61.10	-6,952	0,908	0,812	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,709	-0,101	-0,608	0,22	0,23
	5.61.11	-3,837	1,222	0,354	-	0,203	-	0,286	-	-	-	-	-	-	0,125	-	-	-	-	0,41	0,43
LW_{naw}	5.62.1	-	0,705	0,016	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,06	

Tabl. Z5.20. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w ciągu całej doby na drogach krajowych (baza DK-C-DO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																R^2	R_p^2
			ilościowych												jakościowych					
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{kpd}	G_{pd}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{ppw}	G_{pp}	Przekrój					
															CH	G	B	K		
LW	5.63.1	-	0,919	0,225	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,60	0,60
	5.63.2	-2,083	0,884	0,449	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,62	0,62
	5.63.3	-1,969	0,923	0,420	0,071	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68	0,68
	5.63.4	-1,928	0,896	0,429	-	0,186	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,65	0,65
	5.63.5	-2,019	0,918	0,427	-	-	0,066	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,67	0,67
	5.63.6	-1,354	0,924	0,357	-	-	-	0,035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68	0,68
	5.63.7	-2,103	0,908	0,439	-	-	-	-	0,006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,65	0,65
	5.63.8	-1,690	0,930	0,394	-	-	-	-	-	0,101	-	-	-	-	-	-	-	-	0,65	0,65
	5.63.9	-1,693	0,928	0,392	-	-	-	-	-	-	0,099	-	-	-	-	-	-	-	0,66	0,66
	5.63.10	-1,942	0,920	0,425	-	-	-	-	-	-	-	0,111	-	-	-	-	-	-	0,66	0,67
	5.63.11	-1,743	0,904	0,408	-	-	-	-	-	-	-	-	0,088	-	-	-	-	-	0,64	0,64
	5.63.12	-1,572	0,924	0,382	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,079	-	-	-	-	0,68	0,68
	5.63.13	-1,725	0,897	0,419	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,168	-0,140	-0,152	0,124	0,67	0,67
	5.63.14	-1,287	0,971	0,334	0,036	-	-	0,021	-	0,062	-	0,052	-	-	-	-	-	-	0,72	0,72

Tabl. Z5.21. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków z pieszymi, wypadków z pojedynczymi pojazdami i wypadków typu „pojazd-pojazd” w ciągu całej doby na drogach krajowych (baza DK-C-DO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																				R^2	R_p^2													
			ilościowych																	jakościowych																	
			lnL	lnN	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{dg}	G_{ipd}	G_{kpd}	G_{lpd}	G_{pd}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{pps}	G_{ppw}	G_{pp}	G_{przc}	G_l	G_w	Przekrój															
																						CH			G	B	K										
LW_{ppi}	5.64.1	-	1,057	0,082	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,27
	5.64.2	-4,355	0,984	0,551	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,32
	5.64.3	-4,126	1,101	0,479	0,177	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50	0,52
	5.64.4	-4,052	1,016	0,512	-	0,354	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,36
	5.64.5	-4,205	1,092	0,493	-	-	0,169	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,48	0,49
	5.64.6	-3,659	1,018	0,488	-	-	-	-0,145	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,35
	5.64.7	-4,713	1,044	0,562	-	-	-	-	0,019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,38
	5.64.8	-2,830	1,073	0,359	-	-	-	-	-	0,067	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,37
	5.64.9	-4,085	0,990	0,532	-	-	-	-	-	-	-0,036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,34
	5.64.10	-4,431	1,076	0,515	-	-	-	-	-	-	-	0,020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,41
	5.64.11	-3,483	1,100	0,428	-	-	-	-	-	-	-	-	0,207	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,39
	5.64.12	-3,475	1,094	0,424	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,203	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,40
	5.64.13	-3,940	1,098	0,480	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,274	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,47	0,49
	5.64.14	-3,784	0,999	0,480	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,354	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,41
	5.64.15	-3,111	1,055	0,403	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,232	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	0,45
	5.64.16	-2,480	1,123	0,310	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,209	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57	0,59
	5.64.17	-4,409	0,977	0,552	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,219	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,34
	5.64.18	-4,614	0,983	0,587	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,915	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,35
	5.64.19	-3,739	1,004	0,479	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,080	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,37
	5.64.20	-3,162	1,031	0,444	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,54
	5.64.21	-2,423	1,167	0,301	-	-	-	-	-	0,008	-	-	-	0,079	-	-	-	-	0,146	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,62	0,64
LW_p	5.65.1	-	0,663	0,012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,07	
LW_{pp}	5.66.1	-	0,967	0,158	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	0,45	
	5.66.2	-3,999	0,901	0,588	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49	0,50	
	5.66.3	-3,303	0,939	0,501	-	-	-	-	-	0,033	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,53	

Tabl. Z5.22. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków na skrzyżowaniach i wypadków w wyniku zderzenia czołowego w ciągu całej doby na drogach krajowych (baza DK-C-DO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																		R^2	R_p^2		
			ilościowych														jakościowych							
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{kpd}	G_{lpd}	G_{pd}	G_{pabz}	G_{ppz}	G_{pps}	G_{ppw}	G_{pp}	G_w	$WPRZ_T$	$WPRZ_T$	Przekrój					
																	CH	G	B	K				
LW_{sk}	5.67.1	-	0,993	0,073	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,15
	5.67.2	-5,546	0,901	0,670	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,18
	5.67.3	-5,247	1,043	0,584	0,195	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,30
	5.67.4	-4,792	1,004	0,574	-	0,592	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,29
	5.67.5	-5,365	1,012	0,608	-	-	0,168	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26	0,27
	5.67.6	-3,692	1,006	0,437	-	-	-	0,078	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	0,29
	5.67.7	-4,436	0,940	0,584	-	-	-	-	-0,180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,30
	5.67.8	-5,206	0,993	0,611	-	-	-	-	-	-	-	0,236	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,26
	5.67.9	-4,813	0,927	0,580	-	-	-	-	-	-	-	-	0,395	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,27
	5.67.10	-4,208	0,976	0,511	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,237	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,24
	5.67.11	-3,686	1,036	0,432	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,204	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,32
	5.67.12	-4,549	0,930	0,554	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,111	-	-	-	-	-	-	0,21	0,21
	5.67.13	-5,480	0,851	0,682	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,307	-	-	-	-	-	0,25	0,260
	5.67.14	-6,439	0,832	0,746	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,257	-	-	-	-	0,21	0,22
	5.67.15	-4,546	0,936	0,580	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,288	-0,337	-0,311	0,360	0,24	0,25
	5.67.16	-2,671	1,021	0,352	-	0,312	-	0,039	-0,119	-	-	-	-	-	0,095	-	0,176	-	-	-	-	-	0,47	0,47
LW_{zcz}	5.68.1	-	1,027	0,022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,37	
	5.68.2	-6,102	0,925	0,679	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,42	
	5.68.3	-6,124	0,889	0,698	-	-	-	-	-	-0,009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,45	
	5.68.4	-6,188	0,943	0,693	-	-	-	-	-	-	-0,423	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,47	
	5.68.5	-6,202	0,950	0,672	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,214	-	-	-	-	0,38	0,45	
	5.68.6	-7,019	0,900	0,767	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,039	0,257	0,009	-0,305	0,38	0,44
	5.68.7	-6,249	0,933	0,698	-	-	-	-	-	-	-0,008	-0,366	-	-	-	-	-0,191	-	-	-	-	-	0,43	0,51

Tabl. Z5.23. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia czołowego bocznego, zderzenia tylnego i wypadków przy złym stanie nawierzchni w ciągu całej doby na drogach krajowych (baza DK-C-DO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																	R^2	R_p^2
			ilościowych													jakościowych					
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{tpd}	G_{lpd}	G_{pd}	G_{pabz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{pp}	WPRZPT	Przekrój					
													CH	G	B	K					
LW_{zbo}	5.69.1	-	1,065	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,30
	5.69.2	-2,507	1,021	0,340	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,31
	5.69.3	-2,395	1,069	0,305	0,093	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,34
	5.69.4	-2,277	1,040	0,310	-	0,313	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,33
	5.69.5	-2,445	1,062	0,315	-	-	0,082	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,33
	5.69.6	-2,115	1,028	0,312	-	-	-	-	-0,058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,33
	5.69.7	-2,461	0,998	0,346	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,155	-	-	-	0,33	0,34
	5.69.8	-2,105	1,040	0,299	0,063	-	-	-	-0,042	-	-	-	-	-	-	0,103	-	-	-	0,36	0,37
LW_{zty}	5.70.1	-8,615	0,679	0,943	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,20
	5.70.2	-7,722	0,721	0,831	-	-	-	0,039	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	0,24
	5.70.3	-8,567	0,713	0,920	-	-	-	-	-	0,009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,22
	5.70.4	-8,618	0,689	0,934	-	-	-	-	-	-	0,356	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,29
	5.70.5	-7,529	0,804	0,792	-	-	-	-	-	-	-	0,208	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,25
	5.70.6	-8,061	0,718	0,865	-	-	-	0,025	-	-	0,311	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	0,30
LW_{naw}	5.71.1	-	0,797	0,446	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,40
	5.71.2	-2,893	0,827	0,422	0,054	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,42	0,43
	5.71.3	-2,776	0,814	0,419	-	0,218	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,42
	5.71.4	-2,942	0,820	0,431	-	-	0,045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,42
	5.71.5	-2,838	0,837	0,419	-	-	-	-	-	-	-	-	0,119	-	-	-	-	-	-	0,45	0,46
	5.71.6	-2,521	0,834	0,384	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,073	-	-	-	-	-	0,43	0,44
	5.71.7	-2,506	0,814	0,404	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,160	-0,184	-0,176	0,200	0,44	0,45
	5.71.8	-2,343	0,849	0,372	-	0,171	-	-	-	-	-	-	0,088	-	-	0,093	-0,127	-0,088	0,122	0,49	0,50

Tabl. Z5.24. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków, wypadków z pieszymi i wypadków typu „pojazd-pojazd” w ciągu całej doby na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-DO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																			R^2	R_p^2			
			ilościowych													jakościowych										
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{dg}	G_{tpd}	G_{tpd}	G_{ppz}	G_{pps}	G_{ppw}	G_{pp}	G_{przc}	G_{przcw}	G_w	WPRZC _T	Przekrój					USPOK _N		
CH	G	B	K	USPOK _N																						
LW	5.72.1	-	1,040	0,240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,73	0,73	
	5.72.2	-1,404	1,015	0,391	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,74	0,74	
	5.72.3	-1,282	1,020	0,373	-	0,142	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,77	0,77	
	5.72.4	-1,573	0,966	0,401	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,114	-	-	-	-	-	0,76	0,76
	5.72.5	-1,439	0,973	0,383	-	0,138	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,110	-	-	-	-	-	0,78	0,79
LW _{ppi}	5.73.1	-	1,205	0,127	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	0,44	
	5.73.2	-4,652	1,118	0,626	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49	0,50	
	5.73.3	-4,654	1,139	0,583	0,109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,56	0,57	
	5.73.4	-4,676	1,136	0,593	-	-	0,096	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,54	0,55	
	5.73.5	-4,057	1,095	0,575	-	-	-	-	-	-0,128	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,58	0,58	
	5.73.6	-4,256	1,175	0,560	-	-	-	-	-	-	0,135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,56	
	5.73.7	-4,350	1,100	0,586	-	-	-	-	-	-	-	0,165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,53	
	5.73.8	-3,585	1,146	0,498	-	-	-	-	-	-	-	-	0,123	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,55	
	5.73.9	-2,706	1,195	0,369	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,145	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,64	0,65	
	5.73.10	-4,161	1,085	0,562	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,494	-	-	-	-	-	-	-	-	0,56	0,56	
	5.73.11	-4,289	1,086	0,568	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,458	-	-	-	-	-	-	-	0,54	0,54	
	5.73.12	-3,809	1,127	0,529	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,065	-	-	-	-	-	-	0,54	0,55	
	5.73.13	-5,015	1,037	0,650	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,208	-	-	-	-	-	0,52	0,53	
	5.73.14	-3,685	1,098	0,521	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,239	-0,217	-0,256	0,234	-	0,57	0,58	
	5.73.15	-2,847	1,158	0,357	0,060	-	-	-	-	-	-	-	-	0,113	-	0,341	-	-	-	-	-	-	-	0,67	0,68	
LW _{pp}	5.74.1	-	1,069	0,165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51	0,51		
	5.74.2	-2,357	1,026	0,419	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52	0,53		
	5.74.3	-2,760	1,030	0,456	-	-	-	0,096	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,55		
	5.74.4	-1,715	1,028	0,374	-	-	-	-	-	-0,011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,55		
	5.74.5	-2,942	1,021	0,477	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,113	0,56	0,57		
	5.74.6	-2,904	1,021	0,491	-	-	-	0,086	-0,011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,152	0,62	0,63		

Tabl. Z5.25. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków na skrzyżowaniach, wypadków na łukach poziomych i wypadków w wyniku zderzenia czołowego w ciągu całej doby na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-DO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych												R^2	R_p^2	
			ilościowych											jakościowych			
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{ipd}	G_{kpd}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{pps}	G_{pp}	G_{przp}	$WPRZP_T$			
LW_{sk}	5.75.1	-	1,275	0,111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,40
	5.75.2	-4,792	1,182	0,626	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	0,45
	5.75.3	-4,784	1,187	0,599	0,066	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,47	0,48
	5.75.4	-4,566	1,223	0,586	-	0,404	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,54	0,55
	5.75.5	-3,474	1,171	0,530	-	-	-0,022	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,56
	5.75.6	-3,998	1,215	0,519	-	-	-	0,035	-	-	-	-	-	-	-	0,49	0,50
	5.75.7	-5,132	1,150	0,681	-	-	-	-	-0,108	-	-	-	-	-	-	0,48	0,49
	5.75.8	-5,106	1,167	0,678	-	-	-	-	-	-0,093	-	-	-	-	-	0,47	0,48
	5.75.9	-4,384	1,161	0,571	-	-	-	-	-	-	0,217	-	-	-	-	0,50	0,51
	5.75.10	-3,093	1,249	0,401	-	-	-	-	-	-	-	0,128	-	-	-	0,52	0,52
	5.75.11	-4,811	1,229	0,622	-	-	-	-	-	-	-	-	0,055	-	-	0,47	0,47
	5.75.12	-4,475	1,136	0,605	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,281	-	0,53	0,54
	5.75.13	-2,259	1,192	0,360	-	0,289	-0,016	-	-	-	-	-	0,086	-	0,220	0,67	0,68
LW_{lp}	5.76.1	-	0,605	-0,026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,04	
LW_{zcz}	5.77.1	-5,937	0,808	0,646	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	0,26	

Tabl. Z5.26. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia bocznego, zderzenia tylnego i wypadków przy złym stanie nawierzchni w ciągu całej doby na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości (baza DK-Z-DO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																			R^2	R_p^2
			ilościowych													jakościowych							
			$\ln L$	$\ln N$	G_{dg}	G_{ipd}	G_{kpd}	G_{pd}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{pp}	G_{przc}	G_{przcw}	G_w	$WPRZP_T$	$WPRZC_T$	Przekrój					
																CH	G	B	K				
LW_{zbo}	5.78.1	-	1,160	0,082	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,37
	5.78.2	-	1,177	0,075	0,111	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,40
	5.78.3	-	1,136	0,128	-	-0,022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	0,46
	5.78.4	-	1,175	0,063	-	-	0,032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,42
	5.78.5	-	1,135	0,135	-	-	-	-0,017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,41
	5.78.6	-	1,131	0,101	-	-	-	-	-0,109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,41
	5.78.7	-	1,141	0,101	-	-	-	-	-	-0,098	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39	0,40
	5.78.8	-	1,129	0,093	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,204	-	-	-	-	-	0,43	0,45
	5.78.9	-	1,137	0,075	-	-	0,031	-	-	-	-	-	-	-	-	0,199	-	-	-	-	-	0,47	0,49
LW_{zty}	5.79.1	-	1,129	0,036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,21
	5.79.2	-6,744	1,008	0,760	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	0,29
	5.79.3	-7,568	0,992	0,870	-	-	-	-	-	-	-0,078	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,32
	5.79.4	-7,206	1,064	0,821	-	-	-	-	-	-	-	-0,685	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,33
	5.79.5	-7,045	1,067	0,812	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,597	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,33
	5.79.6	-7,584	0,994	0,858	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,109	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,33
	5.79.7	-8,192	1,006	0,903	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,266	0,33	0,35
	5.79.8	-8,196	1,051	0,921	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,461	-	-	-	-	-	-	0,231	0,36	0,38
LW_{naw}	5.80.1	-	1,066	0,141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51	0,51
	5.80.2	-3,383	1,006	0,504	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57	0,57
	5.80.3	-3,161	1,037	0,467	-	-	-	-	-	-	0,081	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,61	0,62
	5.80.4	-3,622	0,944	0,520	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,148	-	-	-	-	-	0,60	0,61
	5.80.5	-2,475	1,013	0,407	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,058	-0,247	0,038	0,151	-	0,59	0,60
	5.80.6	-2,477	0,992	0,385	-	-	-	-	-	-	0,077	-	-	-	-	-	0,132	0,032	-0,251	0,091	0,128	-	0,66

Tabl. Z5.27. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków, wypadków z pieszymi, wypadków z pojedynczymi pojazdami, wypadków typu „pojazd-pojazd” i wypadków na skrzyżowaniach w ciągu całej doby na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (baza DK-NZ-DO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych															R^2	R_p^2	
			ilościowych												jakościowych					
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skbs}	G_{ppd}	G_{kpd}	G_{lpd}	G_{pd}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{pp}	G_l	Przekrój				
													CH+K	G	B					
LW	5.81.1	-	0,880	0,215	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,59	0,59
	5.81.2	-2,385	0,837	0,472	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,61	0,61
	5.81.3	-2,364	0,900	0,454	0,118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,65	0,65
	5.81.4	-2,426	0,892	0,462	-	0,115	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,65	0,65
	5.81.5	-1,734	0,909	0,385	-	-	-	-	-	-	0,185	-	-	-	-	-	-	-	0,69	0,69
	5.81.6	-1,752	0,908	0,385	-	-	-	-	-	-	-	0,176	-	-	-	-	-	-	0,67	0,68
	5.81.7	-2,387	0,892	0,466	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,148	-	-	-	-	0,63	0,64
	5.81.8	-1,823	0,945	0,385	-	0,089	-	-	-	-	0,164	-	-	-	-	-	-	-	0,71	0,71
LW _{ppi}	5.82.1	-	0,997	0,036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,34
	5.82.2	-2,707	0,948	0,329	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	0,36
	5.82.3	-2,729	1,022	0,318	-	-	0,024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,40
	5.82.4	-3,021	0,944	0,351	-	-	-	-	0,028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,38
	5.82.5	-2,393	1,070	0,267	-	-	-	-	-	0,026	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,43
	5.82.6	-2,876	1,012	0,338	-	-	-	-	-	-	-	-	0,337	-	-	-	-	-	0,37	0,40
	5.82.7	-2,719	1,052	0,318	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,250	-	-	-	-	0,39	0,41
	5.82.8	-2,993	0,933	0,370	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,769	-	-	0,38	0,41
	5.82.9	-2,596	1,146	0,290	-	-	-	-	-	0,023	-	-	-	0,220	-0,597	-	-	-	0,48	0,52
LW _p	5.83.1	-	0,765	0,025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08	0,09
LW _{pp}	5.84.1	-	0,928	0,154	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	0,44
	5.84.2	-5,329	0,837	0,728	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49	0,50
	5.84.3	-5,294	0,952	0,698	0,181	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,58	0,58
	5.84.4	-5,439	0,940	0,715	-	0,183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,57	0,58
	5.84.5	-3,985	0,918	0,567	-	-	-	0,066	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,53
	5.84.6	-5,008	0,850	0,705	-	-	-	-	-0,034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52	0,52
	5.84.7	-4,606	0,913	0,633	-	-	-	-	-	0,183	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,54
	5.84.8	-4,570	0,918	0,627	-	-	-	-	-	-	0,181	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,53
	5.84.9	-5,342	0,903	0,722	-	-	-	-	-	-	-	-	0,159	-	-	-	-	-	0,52	0,52
	5.84.10	-6,022	0,856	0,823	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,392	-0,057	-0,335	0,52	0,53
	5.84.11	-3,772	1,011	0,535	-	0,119	-	0,038	-0,034	-	0,127	-	-	-	-	-	-	-	0,61	0,62
LW _{sk}	5.85.1	-	0,760	0,036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	0,06

Tabl. Z5.28. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w wyniku zderzenia czołowego, zderzenia bocznego, zderzenia tylnego i wypadków przy złym stanie nawierzchni w ciągu całej doby na zamiejskich odcinkach dróg krajowych (baza DK-NZ-DO).

Zmienna	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych																			R^2	R_p^2		
			ilościowych																jakościowych						
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{skzs}	G_{skbs}	G_{kpd}	G_{ipd}	G_{pabz}	G_{pazz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{pps}	G_{ppw}	G_{pp}	G_{przcw}	G_w	$WPRZP_T$	Przekrój					
																	CH+K	G	B						
LW_{zcz}	5.86.1	-	1,065	0,030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,41
	5.86.2	-6,400	0,960	0,720	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	0,48
	5.86.3	-5,950	0,975	0,691	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49	0,53
	5.86.4	-6,367	0,987	0,697	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,47	0,50
	5.86.5	-5,870	1,004	0,662	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51	0,55
LW_{zbo}	5.87.1	-	1,041	0,062	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,27	0,28
	5.87.2	-4,452	0,964	0,543	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	0,29
	5.87.3	-4,584	1,134	0,517	0,262	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,38
	5.87.4	-4,054	1,009	0,495	-	0,513	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,32
	5.87.5	-4,731	1,103	0,538	-	-	0,247	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,37
	5.87.6	-3,550	1,078	0,421	-	-	-	-	-	-	-	0,252	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,34
	5.87.7	-3,679	1,059	0,436	-	-	-	-	-	-	-	-	0,214	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,32
	5.87.8	-4,707	1,029	0,561	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,339	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,32
	5.87.9	-4,160	1,016	0,508	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,556	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,33
	5.87.10	-4,372	1,036	0,527	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,381	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,32
	5.87.11	-4,506	1,090	0,535	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,271	-	-	-	-	-	-	0,33	0,34
	5.87.12	-3,653	1,023	0,444	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,183	-	-	-	-	-	0,34	0,35
	5.87.13	-5,279	0,998	0,663	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,611	-0,148	-0,463	-	-	0,30	0,31
	5.87.14	-3,761	1,214	0,438	-	-	0,187	-	-	-	-	0,163	-	-	-	-	-	0,151	-	0,439	-0,067	-0,372	-	0,45	0,46
LW_{zty}	5.88.1	-10,177	0,433	1,096	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,18
	5.88.2	-9,712	0,646	1,013	0,225	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,23
	5.88.3	-10,121	0,641	1,053	-	-	0,256	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24	0,26
	5.88.4	-8,701	0,511	0,923	-	-	-	0,059	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,20
	5.88.5	-9,843	0,474	1,050	-	-	-	-	-	-	0,496	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,34
	5.88.6	-8,031	0,687	0,827	-	-	-	-	-	-	-	0,321	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,24
	5.88.7	-9,438	0,446	1,036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,20
	5.88.8	-9,910	0,639	1,029	-	-	0,214	-	-	-	0,358	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38	0,40
LW_{naw}	5.89.1	-	0,774	0,115	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	0,29
	5.89.2	-2,073	0,734	0,339	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,30

Tabl. Z5.29. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w okresie nocy na drogach wojewódzkich Małopolski.

Baza	Lp.	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych											R^2	R_p^2	
			ilościowych								jakościowych					
			lnL	lnN	G_{sk}	G_{ipd}	G_{pd}	G_{paz}	G_{ppz}	G_{pp}	G_{ppp}	$USPOK_N$	Przekrój			
										CH+K	G+B					
DW-C-NO	5.90.1	-	0,855	0,061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	0,47
	5.90.2	-2,069	0,827	0,347	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,48	0,51
	5.90.3	-2,232	0,792	0,337	-	0,009	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,56
	5.90.4	-2,191	0,799	0,327	-	-	0,009	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,56
	5.90.5	-	0,835	0,033	-	-	-	-	-	-	0,121	-	-	-	0,51	0,54
	5.90.6	-1,786	0,845	0,282	-	-	-	0,133	-	-	-	-	-	-	0,52	0,55
	5.90.7	-	0,827	0,034	-	-	-	-	0,166	-	-	-	-	-	0,52	0,55
	5.90.8	-2,000	0,804	0,319	-	-	-	-	-	-	0,053	-	-	-	0,54	0,57
	5.90.9	-2,151	0,765	0,304	-	0,010	-	-	-	-	0,056	-	-	-	0,60	0,64
	5.90.10	-2,112	0,772	0,294	-	-	0,009	-	-	-	0,056	-	-	-	0,60	0,63
	5.90.11	-1,540	0,817	0,271	-	-	-	-	-	-	-	0,133	-0,133	-	0,50	0,52
	5.90.12	-	0,836	0,057	-	-	-	-	-	-	-	0,161	-0,161	-	0,47	0,50
	5.90.13	-1,845	0,787	0,240	-	-	0,009	0,111	-	-	0,053	-	-	-	0,63	0,67
	5.90.14	-1,875	0,781	0,249	-	0,009	-	0,107	-	-	0,053	-	-	-	0,64	0,67
DW-Z-NO	5.91.1	-	0,897	0,058	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,48	0,50
	5.91.2	-2,246	0,866	0,367	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,52	0,54
	5.91.3	-2,745	0,851	0,387	-	0,011	-	-	-	-	-	-	-	-	0,58	0,60
	5.91.4	-2,749	0,855	0,381	-	-	0,011	-	-	-	-	-	-	-	0,58	0,60
	5.91.5	-2,035	0,890	0,314	-	-	-	0,104	-	-	-	-	-	-	0,54	0,56
	5.91.6	-2,089	0,855	0,332	-	-	-	-	-	-	0,032	-	-	-	0,54	0,56
	5.91.7	-2,101	0,934	0,309	-	-	-	-	0,178	-	-	0,147	-	-	0,61	0,63
	5.91.8	-2,745	0,909	0,421	-	-	-	-	-	-	0,035	0,162	-	-	0,56	0,58
	5.91.9	-2,118	0,924	0,307	-	-	-	-	0,149	-	0,027	0,162	-	-	0,63	0,65
	5.91.10	-2,080	0,961	0,287	-	-	-	0,095	0,165	-	-	0,160	-	-	0,64	0,66
	5.91.11	-2,488	0,878	0,314	-	-	0,011	0,117	-	-	-	-	-	-	0,60	0,62
	5.91.12	-2,013	0,867	0,260	-	-	0,008	-	0,155	-	-	-	-	-	0,62	0,64
	5.91.13	-2,650	0,840	0,341	-	-	0,013	-	-	-	0,038	-	-	-	0,61	0,63
	5.91.14	-2,096	0,848	0,254	-	-	0,010	-	0,120	-	0,030	-	-	-	0,64	0,66
	5.91.15	-2,469	0,875	0,319	-	0,012	-	0,117	-	-	-	-	-	-	0,60	0,62
	5.91.16	-2,019	0,862	0,264	-	0,009	-	-	0,154	-	-	-	-	-	0,62	0,64
	5.91.17	-2,650	0,833	0,349	-	0,013	-	-	-	-	0,038	-	-	-	0,61	0,63
	5.91.18	-2,104	0,842	0,261	-	0,011	-	-	0,118	-	0,031	-	-	-	0,64	0,66
	5.91.19	-3,112	0,929	0,406	-	0,011	-	0,129	-	-	-	0,150	-	-	0,62	0,64
	5.91.20	-2,556	0,914	0,339	-	0,008	-	-	0,159	-	-	0,139	-	-	0,64	0,66
	5.91.21	-3,279	0,889	0,435	-	0,013	-	-	-	-	0,042	0,157	-	-	0,63	0,65
	5.91.22	-3,169	0,935	0,405	-	-	0,011	0,130	-	-	-	0,157	-	-	0,62	0,64
	5.91.23	-3,320	0,898	0,431	-	-	0,013	-	-	-	0,041	0,165	-	-	0,63	0,65
	5.91.24	-2,704	0,899	0,344	-	0,011	-	-	0,118	-	0,034	0,157	-	-	0,66	0,69
DW-NZ-NO	5.92.1	-	0,467	0,024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,15	
	5.92.2	-3,946	0,426	0,531	0,175	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,40	
	5.92.3	-4,392	0,468	0,582	0,191	-	-	-	-	-	0,022	-	-	0,34	0,47	

Tabl. Z5.30. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w okresie światła dziennego na drogach wojewódzkich Małopolski.

Baza	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych								R^2	R_p^2	
			ilościowych				jakościowych						
			$\ln L$	$\ln N$	G_{ppz}	G_{pp}	$WN\dot{L}_N$	$WN\dot{L}A_N$	$WPRZ_T$	$USPOK_N$			
DW-C-DZ	5.93.1	-	0,729	0,176	-	-	-	-	-	-	-	0,63	0,63
	5.93.2	-	0,710	0,167	0,068	-	-	-	-	-	-	0,65	0,66
	5.93.3	-	0,711	0,166	-	0,052	-	-	-	-	-	0,66	0,67
	5.93.4	-	0,750	0,175	-	-	0,070	-	-	-	-	0,65	0,65
	5.93.5	-	0,751	0,170	-	-	-	0,099	-	-	-	0,66	0,66
	5.93.6	-	0,730	0,163	0,058	-	-	0,083	-	-	-	0,67	0,68
	5.93.7	-	0,730	0,162	-	0,045	-	0,081	-	-	-	0,68	0,69
DW-Z-DZ	5.94.1	-	0,741	0,203	-	-	-	-	-	-	-	0,63	0,63
	5.94.2	-	0,731	0,187	0,075	-	-	-	-	-	-	0,66	0,66
	5.94.3	-	0,735	0,187	-	0,055	-	-	-	-	-	0,66	0,66
	5.94.4	-	0,783	0,199	-	-	0,121	-	-	-	-	0,67	0,67
	5.94.5	-	0,770	0,188	-	0,039	0,097	-	-	-	-	0,68	0,69
	5.94.6	-	0,777	0,191	-	-	-	0,145	-	-	-	0,68	0,68
	5.94.7	-	0,767	0,179	-	0,044	-	0,127	-	-	-	0,70	0,70
DW-NZ-DZ	5.95.1	-	0,576	0,170	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,55

Tabl. Z5.31. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w okresie doby na drogach wojewódzkich Małopolski.

Baza	Lp.	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych									R^2	R_p^2	
			ilościowych					jakościowych						
			$\ln L$	$\ln N$	G_{ppz}	G_{pp}	G_{przp}	G_{nlz}	$WN\dot{L}_N$	$WN\dot{L}A_N$	$USPOK_N$			
DW-C-DO	5.96.1	-	0,724	0,215	-	-	-	-	-	-	-	-	0,70	0,70
	5.96.2	-	0,701	0,205	0,078	-	-	-	-	-	-	-	0,73	0,73
	5.96.3	-	0,703	0,204	-	0,058	-	-	-	-	-	-	0,73	0,73
	5.96.4	-	0,717	0,210	-	-	0,016	-	-	-	-	-	0,71	0,72
	5.96.5	-	0,697	0,201	-	0,053	0,014	-	-	-	-	-	0,74	0,74
	5.96.6	-	0,696	0,202	0,069	-	0,014	-	-	-	-	-	0,74	0,74
	5.96.7	-	0,742	0,214	-	-	-	-	0,060	-	-	-	0,71	0,72
	5.96.8	-	0,744	0,209	-	-	-	-	-	0,095	-	-	0,73	0,73
	5.96.9	-	0,721	0,201	-	0,051	-	-	-	0,074	-	-	0,75	0,75
	5.96.10	-	0,712	0,198	-	0,047	0,013	-	-	0,065	-	-	0,76	0,76
DW-Z-DO	5.97.1	-	0,713	0,214	-	-	-	-	-	-	-	-	0,74	0,74
	5.97.2	-	0,709	0,202	-	0,051	-	-	-	-	-	-	0,76	0,76
	5.97.3	-	0,701	0,208	-	-	0,019	-	-	-	-	-	0,76	0,77
	5.97.4	-	0,717	0,217	-	-	-	-0,090	-	-	-	-	0,76	0,76
	5.97.5	-	0,741	0,207	-	-	-	-	-	0,104	-	-	0,77	0,77
	5.97.6	-	0,732	0,197	-	0,044	-	-	-	0,086	-	-	0,78	0,78
	5.97.7	-	0,725	0,203	-	-	0,017	-	-	0,085	-	-	0,78	0,79
	5.97.8	-	0,746	0,198	-	0,066	-	-	-	-	0,093	-	0,78	0,78
	5.97.9	-	0,767	0,194	-	0,059	-	-	-	0,084	0,091	-	0,80	0,80
DW-NZ-DO	5.98.1	-	0,547	0,207	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63	0,64

Tabl. Z5.32. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków niezwiązanych z alkoholem ani zmęczeniem lub zaśnięciem kierowcy w okresie nocy na drogach wojewódzkich Małopolski.

Baza	Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych														R^2	R_p^2	
			ilościowych									jakościowych							
			$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{ipd}	G_{pd}	G_{paz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{ppp}	$WNLAN$	$WPRZCT$	$WPRZPT$	$USPOKN$	Przekrój			
													CH+K	G+B					
DW-C-NO	5.99.1	-	0,869	0,041	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,42	0,45
	5.99.2	-2,376	0,837	0,369	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,47	0,50
	5.99.3	-2,518	0,805	0,361	-	0,008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51	0,54
	5.99.4	-2,487	0,810	0,351	-	-	0,008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51	0,54
	5.99.5	-2,076	0,856	0,300	-	-	-	0,141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51	0,54
	5.99.6	-2,073	0,854	0,291	-	-	-	-	0,122	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50	0,53
	5.99.7	-1,799	0,816	0,265	-	-	-	-	-	0,155	-	-	-	-	-	-	-	0,54	0,57
	5.99.8	-2,299	0,811	0,338	-	-	-	-	-	-	0,060	-	-	-	-	-	-	0,54	0,58
	5.99.9	-2,264	0,880	0,343	-	-	-	-	-	-	-	0,149	-	-	-	-	-	0,51	0,53
	5.99.10	-	0,847	0,037	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,178	-0,178	-	0,46	0,49
	5.99.11	-2,189	0,826	0,293	-	0,007	-	0,131	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,54	0,57
	5.99.12	-2,431	0,775	0,323	-	0,009	-	-	-	-	0,063	-	-	-	-	-	-	0,60	0,63
	5.99.13	-2,391	0,843	0,338	-	0,007	-	-	-	-	-	0,122	-	-	-	-	-	0,53	0,56
	5.99.14	-2,171	0,829	0,285	-	-	0,007	0,133	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,54	0,57
	5.99.15	-2,180	0,829	0,283	-	-	0,006	-	0,109	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,56
	5.99.16	-2,401	0,781	0,314	-	-	0,009	-	-	-	0,062	-	-	-	-	-	-	0,60	0,63
	5.99.17	-2,368	0,848	0,331	-	-	0,007	-	-	-	-	0,124	-	-	-	-	-	0,53	0,56
	5.99.18	-1,721	0,837	0,238	-	-	-	0,105	-	0,126	-	-	-	-	-	-	-	0,57	0,60
	5.99.19	-2,024	0,826	0,277	-	-	-	0,127	-	-	0,057	-	-	-	-	-	-	0,59	0,62
	5.99.20	-1,963	0,898	0,275	-	-	-	0,137	-	-	-	0,141	-	-	-	-	-	0,55	0,58
	5.99.21	-1,693	0,836	0,229	-	-	-	-	0,085	0,125	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,58
	5.99.22	-2,039	0,823	0,273	-	-	-	-	0,104	-	0,056	-	-	-	-	-	-	0,57	0,60
	5.99.23	-1,993	0,891	0,273	-	-	-	-	0,113	-	-	0,128	-	-	-	-	-	0,53	0,56
	5.99.24	-2,139	0,791	0,265	-	0,008	-	0,114	-	-	0,060	-	-	-	-	-	-	0,63	0,67
	5.99.25	-2,119	0,796	0,257	-	-	0,008	0,117	-	-	0,059	-	-	-	-	-	-	0,63	0,67
DW-Z-NO	5.100.1	-	0,898	0,039	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	0,47
	5.100.2	-1,827	0,870	0,291	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49	0,51
	5.100.3	-2,254	0,859	0,305	-	0,010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,55
	5.100.4	-2,249	0,862	0,299	-	-	0,010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,56
	5.100.5	-2,251	0,792	0,272	-	0,012	-	-	-	-	0,064	-	-	-	-	-	-	0,54	0,57
	5.100.6	-1,936	0,783	0,254	-	0,011	-	-	-	-	-	0,187	-	-	-	-	-	0,56	0,58
	5.100.7	-1,928	0,789	0,248	-	-	0,010	-	-	-	-	-	0,183	-	-	-	-	0,56	0,58
	5.100.8	-2,389	0,871	0,346	-	-	-	-	-	-	0,061	-	-	-	0,166	-	-	0,53	0,56
	5.100.9	-2,269	0,866	0,346	-	-	-	-	-	-	-	-	0,236	-	0,215	-	-	0,55	0,57
	5.100.10	-2,850	0,855	0,355	-	0,012	-	-	-	-	0,065	-	-	-	0,160	-	-	0,57	0,60
	5.100.11	-2,659	0,845	0,354	-	0,010	-	-	-	-	-	-	0,244	-	0,207	-	-	0,59	0,62
	5.100.12	-2,669	0,853	0,349	-	-	0,010	-	-	-	-	-	0,241	-	0,212	-	-	0,59	0,62
	5.100.13	-2,692	0,812	0,319	-	-	0,012	-	-	-	0,060	-	0,209	-	0,225	-	-	0,63	0,66
DW-NZ-NO	5.101.1	-3,926	0,440	0,550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14	0,20
	5.101.2	-5,356	0,401	0,700	0,195	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	0,40
	5.101.3	-4,349	0,495	0,602	-	-	-	-	-	0,021	-	-	-	-	-	-	-	0,19	0,27
	5.101.4	-4,933	0,372	0,695	-	-	-	-	-	-	-	-	0,249	-	-	-	-	0,21	0,30
	5.101.5	-5,985	0,454	0,773	0,216	-	-	-	-	-	0,026	-	-	-	-	-	-	0,35	0,50

Tabl. Z5.33. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w okresie nocy przed godziną 23:00 na drogach wojewódzkich Małopolski bez podziału ze względu na zabudowę (baza DW-C-NO).

Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych															R^2	R_p^2			
		ilościowych												jakościowych							
		$\ln L$	$\ln N$	G_{sk}	G_{sbs}	G_{pd}	G_{pd}	G_{paz}	G_{pa}	G_{ppz}	G_{pp}	G_{przp}	G_{nl}	G_{niz}	WNL_N	WNL_N			$USPOK_N$		
5.102.1	-3,043	0,858	0,467	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,43	
5.102.2	-2,798	0,843	0,395	0,060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,43	0,45
5.102.3	-2,877	0,844	0,410	-	0,057	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,43	0,45
5.102.4	-3,266	0,812	0,457	-	-	0,011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,46	0,49
5.102.5	-3,233	0,819	0,444	-	-	-	0,011	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,47	0,49
5.102.6	-2,757	0,881	0,389	-	-	-	-	0,161	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	0,48
5.102.7	-2,824	0,871	0,399	-	-	-	-	-	0,109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	0,46
5.102.8	-2,293	0,831	0,314	-	-	-	-	-	-	0,216	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,49	0,52
5.102.9	-2,989	0,827	0,432	-	-	-	-	-	-	-	-	0,069	-	-	-	-	-	-	-	0,50	0,53
5.102.10	-2,824	0,843	0,447	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,102	-	-	-	-	-	-	0,43	0,46
5.102.11	-2,909	0,860	0,457	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,199	-	-	-	-	-	0,44	0,47
5.102.12	-2,913	0,903	0,445	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,126	-	-	-	-	0,43	0,45
5.102.13	-2,870	0,930	0,418	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,260	-	-	-	0,48	0,51
5.102.14	-3,455	0,901	0,533	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,143	-	0,42	0,45
5.102.15	-3,272	0,894	0,466	0,065	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,163	-	0,45	0,48
5.102.16	-3,341	0,893	0,480	-	0,061	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,158	-	0,45	0,47
5.102.17	-2,932	0,838	0,378	-	-	0,010	-	0,147	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50	0,53
5.102.18	-3,201	0,777	0,412	-	-	0,013	-	-	-	-	-	-	0,074	-	-	-	-	-	-	0,57	0,61
5.102.19	-3,047	0,879	0,412	-	-	0,009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,223	-	-	-	0,54	0,54
5.102.20	-2,917	0,842	0,367	-	-	-	0,010	0,150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,50	0,53
5.102.21	-3,016	0,833	0,388	-	-	-	0,010	-	0,089	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,48	0,51
5.102.22	-3,171	0,785	0,400	-	-	-	0,012	-	-	-	-	-	0,073	-	-	-	-	-	-	0,57	0,60
5.102.23	-3,029	0,885	0,403	-	-	-	0,009	-	-	-	-	-	-	-	-	0,225	-	-	-	0,52	0,54
5.102.24	-2,256	0,855	0,290	-	-	-	-	0,107	-	0,187	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,56
5.102.25	-2,722	0,844	0,362	-	-	-	-	0,144	-	-	-	0,066	-	-	-	-	-	-	-	0,55	0,59
5.102.26	-2,610	0,887	0,377	-	-	-	-	0,155	-	-	-	-	-	-0,183	-	-	-	-	-	0,49	0,51
5.102.27	-2,569	0,955	0,339	-	-	-	-	0,155	-	-	-	-	-	-	-	0,253	-	-	-	0,53	0,56
5.102.28	-3,270	0,930	0,467	-	-	-	-	0,171	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,167	-	0,48	0,51
5.102.29	-2,808	0,834	0,378	-	-	-	-	-	0,087	-	-	0,067	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,56
5.102.30	-2,720	0,874	0,396	-	-	-	-	-	0,098	-	-	-	-	-0,174	-	-	-	-	-	0,46	0,49
5.102.31	-2,683	0,939	0,361	-	-	-	-	-	0,094	-	-	-	-	-	-	0,244	-	-	-	0,50	0,53
5.102.32	-3,266	0,917	0,467	-	-	-	-	-	0,114	-	-	-	-	-	-	-	-	0,152	-	0,46	0,48
5.102.33	-2,366	0,804	0,313	-	-	-	-	-	-	0,165	-	0,056	-	-	-	-	-	-	-	0,56	0,59
5.102.34	-2,184	0,885	0,284	-	-	-	-	-	-	0,195	-	-	-	-	-	0,205	-	-	-	0,53	0,56
5.102.35	-2,687	0,876	0,376	-	-	-	-	-	-	0,215	-	-	-	-	-	-	-	0,142	-	0,52	0,54
5.102.36	-2,754	0,807	0,409	-	-	-	-	-	-	-	-	0,071	-0,095	-	-	-	-	-	-	0,52	0,55
5.102.37	-2,846	0,890	0,391	-	-	-	-	-	-	-	-	0,067	-	-	-	0,232	-	-	-	0,56	0,59
5.102.38	-3,300	0,970	0,486	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,255	0,135	-	-	-	0,50	0,53
5.102.39	-2,156	0,821	0,236	-	-	0,009	-	-	-	-	0,101	0,062	-	-	-	0,160	-	-	-	0,61	0,65
5.102.40	-2,598	0,818	0,310	-	-	0,008	-	-	-	0,105	-	0,061	-	-	-	0,167	-	-	-	0,61	0,65
5.102.41	-2,736	0,850	0,313	-	-	0,010	-	0,122	-	-	-	0,067	-	-	-	0,179	-	-	-	0,64	0,67

Tabl. Z5.34. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach predykcji liczby wypadków w okresie nocy przed godziną 23:00 na drogach wojewódzkich Małopolski na obszarze zabudowanym (baza DW-Z-NO).

Lp	β_0	współczynniki modelu dla zmiennych												R^2	R_p^2
		ilościowych									jakościowych				
		$\ln L$	$\ln N$	G_{pd}	G_{pd}	G_{paz}	G_{ppz}	G_{ppz}	G_{nt}	G_{ntz}	WNL_N	$WPRZC_T$	$USPOK_N$		
5.103.1	-2,283	0,868	0,361	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,43
5.103.2	-2,714	0,855	0,377	0,010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	0,47
5.103.3	-2,720	0,859	0,371	-	0,010	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45	0,47
5.103.4	-2,122	0,892	0,305	-	-	0,126	-	-	-	-	-	-	-	0,43	0,45
5.103.5	-2,258	0,793	0,329	-	-	-	-	0,070	-	-	-	-	-	0,46	0,47
5.103.6	-1,979	0,868	0,331	-	-	-	-	-	-0,164	-	-	-	-	0,44	0,46
5.103.7	-1,783	0,894	0,298	-	-	-	-	-	-	-0,299	-	-	-	0,45	0,47
5.103.8	-1,956	0,950	0,285	-	-	-	-	-	-	-	0,279	-	-	0,48	0,50
5.103.9	-2,028	0,809	0,319	-	-	-	-	-	-	-	-	0,153	-	0,43	0,45
5.103.10	-2,496	0,879	0,308	0,010	-	0,134	-	-	-	-	-	-	-	0,47	0,49
5.103.11	-2,781	0,774	0,344	0,013	-	-	-	0,075	-	-	-	-	-	0,50	0,52
5.103.12	-2,221	0,876	0,321	0,008	-	-	-	-	-	-0,264	-	-	-	0,48	0,50
5.103.13	-2,454	0,786	0,332	0,011	-	-	-	-	-	-	-	0,166	-	0,47	0,49
5.103.14	-2,516	0,882	0,302	-	0,011	0,135	-	-	-	-	-	-	-	0,47	0,49
5.103.15	-2,795	0,778	0,335	-	0,013	-	-	0,076	-	-	-	-	-	0,50	0,52
5.103.16	-2,225	0,880	0,317	-	0,008	-	-	-	-	-0,266	-	-	-	0,48	0,50
5.103.17	-2,455	0,793	0,325	-	0,010	-	-	-	-	-	-	0,163	-	0,48	0,50
5.103.18	-3,434	0,922	0,479	-	0,010	-	-	-	-	-	-	-	0,178	0,47	0,49
5.103.19	-2,939	0,962	0,425	-	-	0,141	-	-	-	-	-	-	0,200	0,46	0,48
5.103.20	-2,962	0,872	0,434	-	-	-	-	0,072	-	-	-	-	0,203	0,50	0,52
5.103.21	-2,701	0,925	0,439	-	-	-	-	-	-0,152	-	-	-	0,166	0,46	0,48
5.103.22	-2,560	0,958	0,415	-	-	-	-	-	-	-0,302	-	-	0,180	0,48	0,50
5.103.23	-2,750	1,013	0,404	-	-	-	-	-	-	-	0,281	-	0,184	0,51	0,53
5.103.24	-2,844	0,880	0,439	-	-	-	-	-	-	-	-	0,226	0,248	0,48	0,50
5.103.25	-3,317	0,951	0,427	0,010	-	0,148	-	-	-	-	-	-	0,197	0,50	0,52
5.103.26	-3,456	0,855	0,445	0,012	-	-	-	0,076	-	-	-	-	0,197	0,54	0,56
5.103.27	-2,953	0,940	0,433	0,008	-	-	-	-	-	-0,265	-	-	0,173	0,50	0,52
5.103.28	-3,351	0,955	0,424	-	0,011	0,150	-	-	-	-	-	-	0,203	0,50	0,52
5.103.29	-3,510	0,862	0,441	-	0,013	-	-	0,078	-	-	-	-	0,206	0,55	0,57
5.103.30	-2,993	0,944	0,432	-	0,008	-	-	-	-	-0,267	-	-	0,178	0,51	0,53
5.103.31	-2,469	0,990	0,366	-	-	0,138	-	-	-	-0,302	-	-	0,200	0,51	0,53
5.103.32	-2,814	0,936	0,395	-	-	-	-	0,063	-	-	0,204	-	0,207	0,53	0,55
5.103.33	-2,813	0,836	0,408	-	-	-	-	0,066	-	-	-	0,182	0,256	0,54	0,57
5.103.34	-2,469	0,903	0,394	-	-	-	-	-	-	-0,273	-	0,205	0,241	0,52	0,54
5.103.35	-2,749	0,908	0,390	-	-	0,141	-	-	-	-	-	0,224	0,262	0,52	0,54
5.103.36	-3,341	0,819	0,411	-	0,013	-	-	0,072	-	-	-	0,187	0,257	0,59	0,62
5.103.37	-2,780	0,887	0,317	-	0,010	-	0,150	0,061	-	-	-	-	0,203	0,60	0,62

Tabl. Z5.35. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat pory doby i typu przekroju poprzecznego na drogach krajowych (wartości w [%]).

Pora doby	Typ przekroju	W_Z				
		<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞)
Dzień	CH	3,93	39,38	28,09	24,44	4,16
Zmierzch/świt	CH	24,22	7,71	21,42	14,84	31,81
Noc 17-23	CH	0,00	10,01	21,71	31,98	36,30
Noc po 23	CH	8,41	34,32	25,77	17,99	13,51
Dzień	K	3,38	38,94	28,44	26,17	3,07
Zmierzch/świt	K	23,60	9,19	18,68	16,25	32,28
Noc 17-23	K	0,00	9,40	21,47	33,83	35,30
Noc po 23	K	8,42	36,08	25,66	15,19	14,65
Dzień	G	8,12	46,23	21,97	12,31	11,37
Zmierzch/świt	G	26,72	13,88	20,40	14,45	24,55
Noc 17-23	G	0,00	10,37	27,17	29,37	33,09
Noc po 23	G	10,74	31,18	23,37	21,58	13,13
Dzień	B	7,29	45,09	22,66	13,65	11,31
Zmierzch/świt	B	27,12	15,15	20,68	14,32	22,73
Noc 17-23	B	0,00	10,47	27,62	30,06	31,85
Noc po 23	B	10,84	31,31	22,81	21,35	13,69

Tabl. Z5.36. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat zmiennych „Pora doby” oraz G_{pp} na drogach krajowych (wartości w [%]).

Pora doby	G_{pp}	W_Z				
		<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞)
Dzień	0	9,49	48,46	20,25	8,97	12,83
Noc 17-23	0	0,00	10,42	29,74	27,54	32,30
Noc po 23	0	11,42	30,14	23,57	22,75	12,12
Dzień	(0; 1>	8,87	47,29	21,87	12,36	9,62
Noc 17-23	(0; 1>	0,00	11,18	27,21	33,12	28,48
Noc po 23	(0; 1>	11,56	30,34	21,24	22,91	13,95
Dzień	(1; 2>	4,74	40,87	26,94	18,00	9,44
Noc 17-23	(1; 2>	0,00	9,71	22,90	30,23	37,16
Noc po 23	(1; 2>	6,59	35,61	23,35	16,96	17,49
Dzień	(2; 3>	2,77	38,07	27,05	25,99	6,12
Noc 17-23	(2; 3>	0,00	9,64	21,22	33,75	35,39
Noc po 23	(2; 3>	9,49	36,48	24,59	13,86	15,58
Dzień	(3; +∞)	3,06	38,30	28,40	26,77	3,46
Noc 17-23	(3; +∞)	0,00	10,26	19,98	34,92	34,84
Noc po 23	(3; +∞)	10,31	31,74	25,39	20,98	11,58

Tabl. Z5.37. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat pory doby i typu przekroju poprzecznego na drogach wojewódzkich (wartości w [%]).

Pora doby	Typ przekroju	W_Z				
		<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞)
Dzień	CH	1,46	45,83	30,34	13,54	8,83
Zmierzch/świt	CH	2,92	21,27	18,75	16,11	40,95
Noc 17-23	CH	1,66	17,58	27,22	25,26	28,28
Noc po 23	CH	18,33	35,91	16,70	16,33	12,73
Dzień	G	1,73	43,88	30,15	13,45	10,79
Zmierzch/świt	G	2,55	16,57	20,54	17,55	42,79
Noc 17-23	G	2,10	17,78	27,02	24,16	28,94
Noc po 23	G	13,64	26,03	24,95	20,92	14,46

Tabl. Z5.38. Wyniki wnioskowania bayesowskiego zmiennej W_Z w przypadku wiedzy na temat zmiennych „Pora doby” oraz G_{ppz} na drogach wojewódzkich (wartości w [%]).

Pora doby	G_{ppz}	W_Z				
		<0; 1>	(1; 3>	(3; 5>	(5; 7>	(7; +∞)
Dzień	0	0,57	34,29	28,57	19,14	17,43
Noc 17-23	0	1,69	8,47	30,51	18,64	40,69
Noc po 23	0	6,82	18,18	22,73	29,54	22,73
Dzień	(0; 1>	4,83	72,41	18,62	4,14	0,00
Noc 17-23	(0; 1>	2,50	35,00	15,00	47,50	0,00
Noc po 23	(0; 1>	35,00	30,00	25,00	10,00	0,00
Dzień	(1; 2>	2,99	51,50	32,34	7,78	5,39
Noc 17-23	(1; 2>	2,00	24,00	10,00	30,00	34,00
Noc po 23	(1; 2>	4,55	54,54	27,27	4,55	9,09
Dzień	(2; 3>	0,00	59,58	22,34	8,51	9,57
Noc 17-23	(2; 3>	0,00	15,62	56,26	9,37	18,75
Noc po 23	(2; 3>	60,00	20,00	0,00	20,00	0,00
Dzień	(3; +∞)	0,00	24,81	50,38	19,55	5,26
Noc 17-23	(3; +∞)	2,50	7,50	32,50	17,50	40,00
Noc po 23	(3; +∞)	23,08	46,16	0,00	15,38	15,38

ZAŁĄCZNIK 3

Tablice i rysunki do rozdziału 6

Tabl. Z6.1. Zbiór danych o parametrach ruchu uzyskany po przetworzeniu pliku z rejestratora pneumatycznego i wyodrębnieniu okresu nocy i pasa nr 1 dla przykładowego pomiaru z dnia 09.04.2008 na poligonie nr P374 w sesji nr 27.

Przedział czasowy	Nateżenie ruchu [P/h/pas]	Prędkość średnia [km/h]	Udział odstępów niebezpiecznych [-] (czas reakcji $t_r=0,8s$)	Udział odstępów niebezpiecznych [-] (czas reakcji $t_r=1,0s$)	Udział odstępów niebezpiecznych [-] (czas reakcji $t_r=1,2s$)	Udział odstępów niebezpiecznych [-] (czas reakcji $t_r=1,5s$)	Udział odstępów niebezpiecznych [-] (czas reakcji $t_r=2,0s$)	Udział par "ciężarowy-ciężarowy" wśród odstępów niebez. [-] (czas reakcji $t_r=1,5s$)	Udział par "osobowy-ciężarowy" wśród odstępów niebez. [-] (czas reakcji $t_r=1,5s$)	Udział pojazdów ciężkich [-]	Udział pojazdów jadących w kolumnach [-]	liczba kolumna [-]	średnia liczebność kolumny [-]	min. liczba pojazdów w kolumnie [-]	maks. liczba pojazdów w kolumnie [-]	udział par "osobowy-osobowy" wśród odstępów niebez. w kolumnach [-]	udział par "osobowy-ciężarowy" wśród odstępów niebez. w kolumnach [-]	udział par "ciężarowy-osobowy" wśród odstępów niebez. w kolumnach [-]	udział par "ciężarowy-ciężarowy" wśród odstępów niebez. w kolumnach [-]	Udział odstępów niebezpiecznych w kolumnach [-]
0:00-0:30	116	98,46	0,035	0,035	0,052	0,052	0,052	0,667	0,000	0,483	0,172	10	2,00	2	2	0,000	0,000	0,200	0,400	0,600
0:30-1:00	68	98,00	0,029	0,029	0,029	0,059	0,059	0,000	0,000	0,471	0,118	4	2,00	2	2	0,500	0,000	0,000	0,000	0,500
1:00-1:30	62	96,47	0,000	0,000	0,000	0,032	0,032	0,000	0,000	0,645	0,000	0	-	0	0	-	-	-	-	-
1:30-2:00	90	91,33	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	0,711	0,044	2	2,00	2	2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2:00-2:30	112	101,39	0,018	0,036	0,036	0,071	0,089	0,000	0,000	0,482	0,107	6	2,00	2	2	0,000	0,000	0,667	0,000	0,667
2:30-3:00	146	98,17	0,027	0,041	0,041	0,041	0,041	0,000	0,000	0,438	0,123	8	2,25	2	3	0,000	0,000	0,600	0,000	0,600
3:00-3:30	234	101,44	0,026	0,034	0,060	0,077	0,120	0,333	0,000	0,376	0,282	32	2,06	2	3	0,353	0,059	0,118	0,177	0,706
3:30-4:00	294	105,82	0,041	0,048	0,048	0,048	0,095	0,143	0,000	0,252	0,340	42	2,38	2	5	0,207	0,035	0,172	0,035	0,448
20:00-20:30	550	97,70	0,084	0,098	0,116	0,156	0,251	0,279	0,023	0,280	0,589	120	2,70	2	6	0,412	0,010	0,049	0,157	0,628
20:30-21:00	438	100,46	0,078	0,091	0,105	0,160	0,192	0,343	0,029	0,356	0,434	72	2,64	2	5	0,186	0,017	0,153	0,254	0,610
21:00-21:30	338	100,91	0,059	0,071	0,089	0,095	0,130	0,375	0,063	0,314	0,278	44	2,14	2	3	0,200	0,040	0,160	0,240	0,640
21:30-22:00	258	100,40	0,062	0,070	0,078	0,101	0,147	0,308	0,000	0,372	0,333	40	2,15	2	3	0,348	0,044	0,130	0,261	0,783
22:00-22:30	164	99,27	0,012	0,012	0,012	0,024	0,061	0,500	0,000	0,366	0,159	12	2,17	2	3	0,286	0,000	0,000	0,429	0,714
22:30-23:00	114	97,23	0,088	0,088	0,123	0,123	0,123	0,286	0,000	0,439	0,316	16	2,25	2	3	0,300	0,000	0,200	0,200	0,700
23:00-23:30	118	96,72	0,017	0,034	0,051	0,051	0,068	0,333	0,000	0,458	0,170	10	2,00	2	2	0,200	0,000	0,000	0,400	0,600
23:30-0:00	102	97,19	0,098	0,098	0,098	0,118	0,118	0,333	0,000	0,451	0,235	10	2,40	0	3	0,286	0,000	0,143	0,286	0,714
minimalna liczba pojazdów w kolumnie: 3																				
0:00-0:30	116	98,46	0,035	0,035	0,052	0,052	0,052	0,667	0,000	0,483	0,000	0	-	0	0	-	-	-	-	-
0:30-1:00	68	98,00	0,029	0,029	0,029	0,059	0,059	0,000	0,000	0,471	0,000	0	-	0	0	-	-	-	-	-
1:00-1:30	62	96,47	0,000	0,000	0,000	0,032	0,032	0,000	0,000	0,645	0,000	0	-	0	0	-	-	-	-	-
1:30-2:00	90	91,33	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	0,711	0,000	0	-	0	0	-	-	-	-	-
2:00-2:30	112	101,39	0,018	0,036	0,036	0,071	0,089	0,000	0,000	0,482	0,000	0	-	0	0	-	-	-	-	-
2:30-3:00	146	98,17	0,027	0,041	0,041	0,041	0,041	0,000	0,000	0,438	0,041	2	3,00	3	3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3:00-3:30	234	101,44	0,026	0,034	0,060	0,077	0,120	0,333	0,000	0,376	0,026	2	3,00	3	3	0,000	0,000	0,500	0,500	1,000
3:30-4:00	294	105,82	0,041	0,048	0,048	0,048	0,095	0,143	0,000	0,252	0,136	12	3,33	3	5	0,071	0,071	0,286	0,071	0,500
20:00-20:30	550	97,70	0,084	0,098	0,116	0,156	0,251	0,279	0,023	0,280	0,335	50	3,68	3	6	0,418	0,015	0,045	0,164	0,642
20:30-21:00	438	100,46	0,078	0,091	0,105	0,160	0,192	0,343	0,029	0,356	0,233	28	3,64	3	5	0,135	0,027	0,162	0,270	0,595
21:00-21:30	338	100,91	0,059	0,071	0,089	0,095	0,130	0,375	0,063	0,314	0,053	6	3,00	3	3	0,000	0,167	0,333	0,167	0,667
21:30-22:00	258	100,40	0,062	0,070	0,078	0,101	0,147	0,308	0,000	0,372	0,070	6	3,00	3	3	0,333	0,167	0,000	0,000	0,500
22:00-22:30	164	99,27	0,012	0,012	0,012	0,024	0,061	0,500	0,000	0,366	0,037	2	3,00	3	3	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000
22:30-23:00	114	97,23	0,088	0,088	0,123	0,123	0,123	0,286	0,000	0,439	0,105	4	3,00	3	3	0,250	0,000	0,250	0,250	0,750
23:00-23:30	118	96,72	0,017	0,034	0,051	0,051	0,068	0,333	0,000	0,458	0,000	0	-	0	0	-	-	-	-	-
23:30-0:00	102	97,19	0,098	0,098	0,098	0,118	0,118	0,333	0,000	0,451	0,118	4	3,00	3	3	0,250	0,000	0,250	0,250	0,750

Tabl. Z6.2. Zestawienie wartości p istotności różnic średniej prędkości pojazdów w ruchu swobodnym w różnych porach doby na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h.

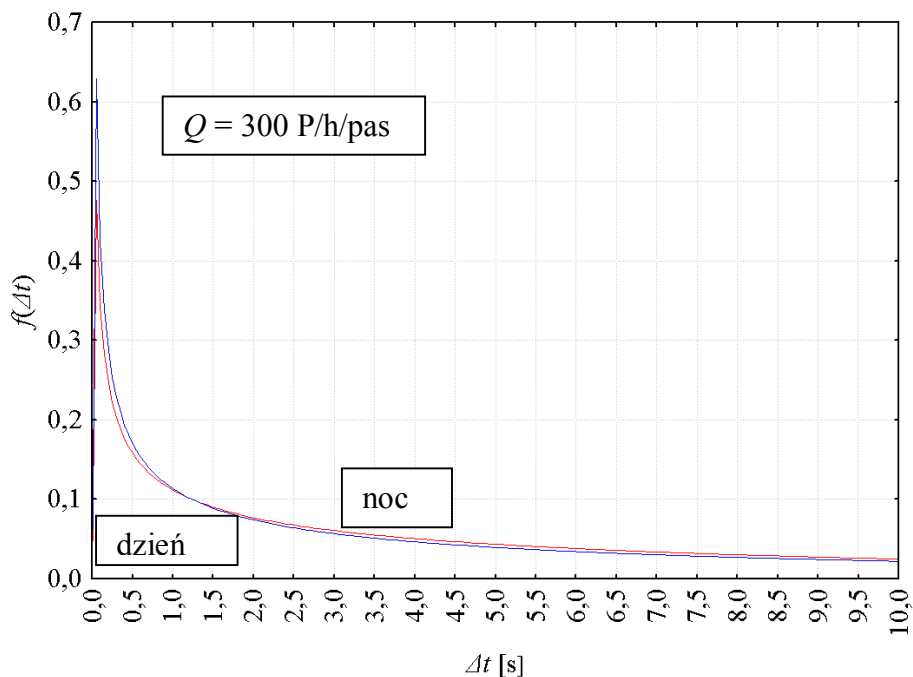
Typ przekroju	Pojazdy Okres doby	wszystkie			ciężkie			lekkie		
		zmierch	noc	świt	zmierch	noc	świt	zmierch	noc	świt
Z1	dzień	0,09	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,63	0,05	0,00
	zmierch		0,00	0,00		0,48	0,00		0,53	0,00
	noc			0,00			0,00			0,00
Z2	dzień	0,80	0,00	0,49	0,52	0,77	0,00	0,92	0,00	0,65
	zmierch		0,00	0,46		0,55	0,02		0,13	0,66
	noc			0,00			0,00			0,06
Z3	dzień	0,00	0,25	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,82
	zmierch		0,00	0,00		0,12	0,46		0,04	0,02
	noc			0,47			0,57			0,35
Z2D2	dzień	0,02	0,13	0,01	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	zmierch		0,00	0,80		0,64	0,27		0,27	0,07
	noc			0,00			0,26			0,23

Tabl. Z6.3. Zestawienie wartości p istotności różnic średniej prędkości pojazdów w ruchu swobodnym w różnych porach doby na odcinkach o limicie prędkości 50 km/h z rozróżnieniem ze względu na występowanie sztucznego oświetlenia drogowego.

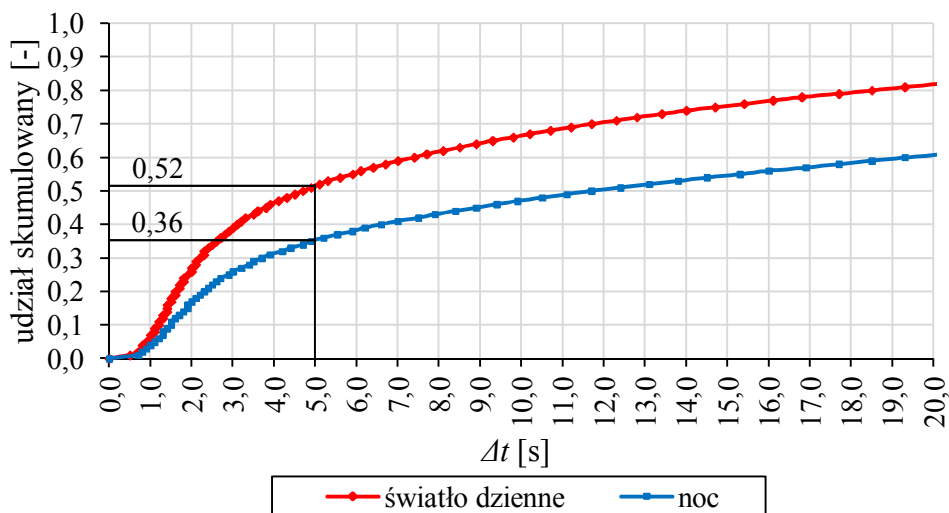
Limit prędkości	Oświetlenie Okres doby	brak		częściowe		pełne	
		noc	zmierch	noc	zmierch	noc	zmierch
50	dzień	0,00	0,01	0,00	0,13	0,00	0,00
	noc		0,00		0,00		0,32

Tabl. Z6.4. Zestawienie wartości p istotności różnic średniej prędkości pojazdów w ruchu swobodnym w różnych porach doby na odcinkach o limicie prędkości 90 km/h w zależności od występowania sztucznego oświetlenia drogowego.

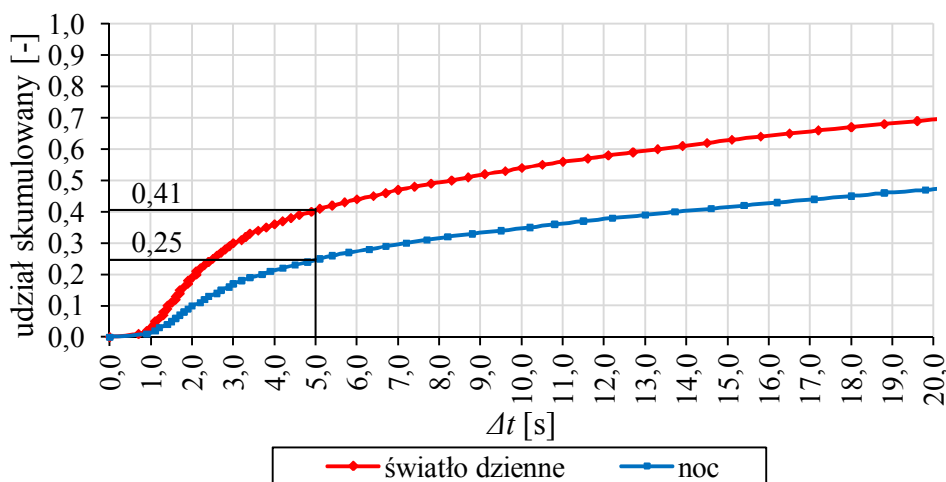
Limit prędkości	Oświetlenie Okres doby	brak		częściowe		pełne	
		noc	zmierch	noc	zmierch	noc	zmierch
90	dzień	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	noc		0,07		0,01		0,00



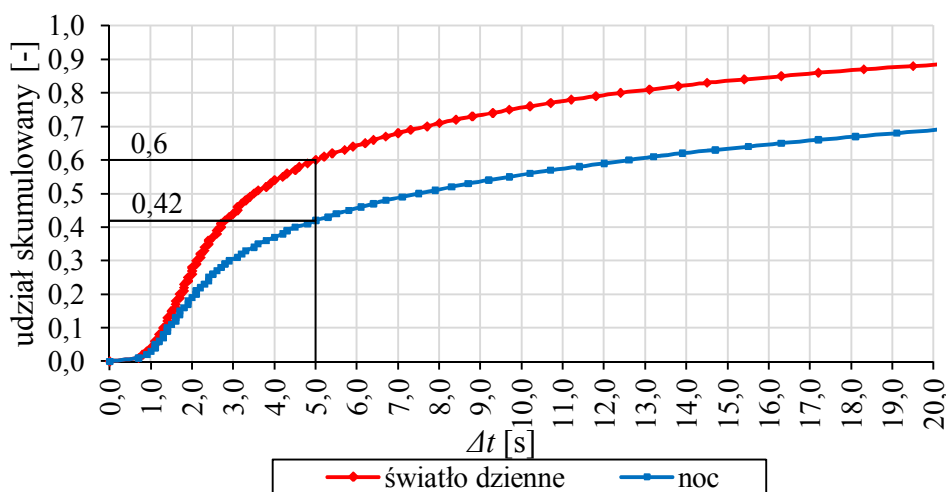
Rys. Z6.1. Porównanie funkcji gęstości rozkładu gamma $f(\Delta t)$ odstępów między pojazdami Δt na podstawie modeli matematycznych w okresie światła dziennego i nocy przy natężeniu ruchu $Q=300$ P/h/pas.



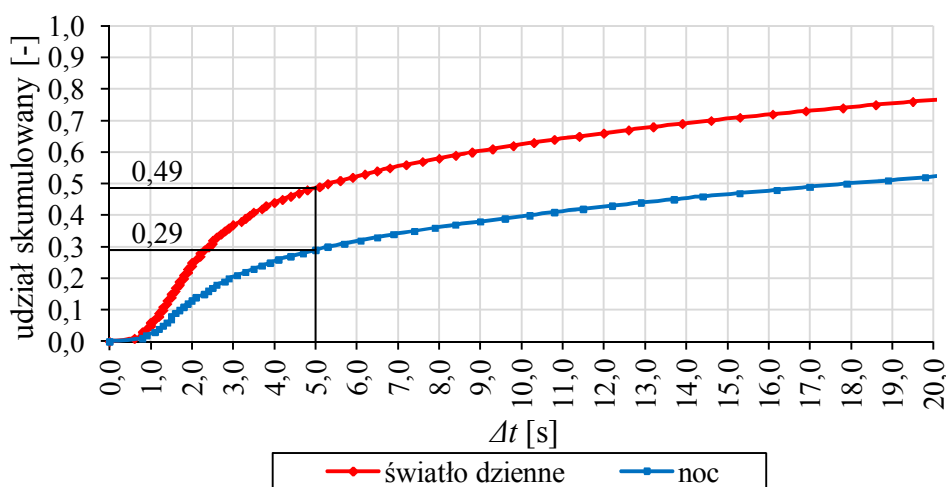
Rys. Z6.2. Porównanie dystrybuant odstępów (Δt) między pojazdami przy świetle dziennym i w nocy i wyznaczenie udziałów tzw. „krótkich” odstępów na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o przekroju Z1.



Rys. Z6.3. Porównanie dystrybuant odstępów (Δt) między pojazdami przy świetle dziennym i w nocy i wyznaczenie udziałów tzw. „krótkich” odstępów na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o przekroju Z2.



Rys. Z6.4. Porównanie dystrybuant odstępów (Δt) między pojazdami przy świetle dziennym i w nocy i wyznaczenie udziałów tzw. „krótkich” odstępów na odcinkach przejść dróg krajowych przez miejscowości o przekroju M3.



Rys. Z6.5. Porównanie dystrybuant odstępów (Δt) między pojazdami przy świetle dziennym i w nocy i wyznaczenie udziałów tzw. „krótkich” odstępów na zamiejskich odcinkach dróg krajowych o przekroju Z2.

Tabl. Z6.5. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach estymacji liczby kolumn pojazdów (L_{kol}) na drogach krajowych.

Lp.	Pora doby	Typ przekroju	Limit prędkości	β_1	Q	R_{sk}^2
6.10.1	dzień	Z1	90	0,0035	1,573	0,87
6.10.2	noc			0,0017	1,712	0,86
6.11.1	dzień	Z2		0,0039	1,563	0,88
6.11.2	noc			0,0036	1,576	0,89
6.12.1	dzień	Z1	50/60	0,0055	1,494	0,87
6.12.2	noc			0,0043	1,536	0,90
6.13.1	dzień	M3		0,0083	1,425	0,88
6.13.2	noc			0,0026	1,608	0,87

Tabl. Z6.6. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach estymacji średniej liczby pojazdów w kolumnie ($L_{poj_kol_sr}$) na drogach krajowych.

Lp.	Pora doby	Typ przekroju	Limit prędkości	β_1	Q	V_{sr}	U_c	R_{sk}^2	
6.14.1	dzień	Z1	90	0,2515	0,432	-	-0,181	0,33	
6.14.2				0,7226	0,308	-	-	0,32	
6.14.3				noc	1,3299	0,201	-	-	0,18
6.15.1	dzień	Z2		0,2114	0,438	0,129	-	0,30	
6.15.2				1,0826	0,242	-	-	0,30	
6.15.3	noc			0,6517	0,274	-	-0,106	0,23	
6.15.4				1,2171	0,220	-	-	0,22	
6.16.1	dzień	Z1		50/60	1,2550	0,208	-	-	0,18
6.16.2	noc				1,0845	0,240	-	-	0,35
6.17.1	dzień	M3			0,9402	0,260	-	-	0,36
6.17.2	noc				1,3721	0,193	-	-	0,21

Tabl. Z6.7. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach estymacji udziału par „osobowyosobowy” ($U_{o-o_onb_kol}$) wśród odstępów niebezpiecznych w kolumnach na drogach krajowych.

Lp.	Pora doby	Typ przekroju	Limit prędkości	β_{1_Q}	Q	β_{1_Uc}	U_c	R_{sk}^2	
6.18.1	dzień	Z1	90	-	0,054	-1,363	0,285	0,48	
6.18.2				-1,453	-0,083	-	-0,211	0,47	
6.18.3				-	-	0,171	-0,667	0,41	
6.18.4	noc			-1,092	-0,025	-	-0,242	0,43	
6.18.5				-	-	0,119	-0,906	0,39	
6.19.1	dzień			Z2	-1,223	-0,059	-	-0,189	0,43
6.19.2		-			-	0,191	-0,547	0,37	
6.19.3	noc	-1,423			-0,091	-	-0,161	0,47	
6.19.4		-			-0,046	-0,954	0,747	0,59	
6.19.5		-		-	0,172	-0,479	0,36		
6.20.1	dzień	Z1		50/60	-1,059	-0,038	-	-0,184	0,45
6.20.2	-				-	0,213	-0,521	0,42	
6.20.3	noc		-1,176		-0,055	-	-0,187	0,46	
6.20.4			-		-	0,194	-0,534	0,39	
6.21.1	dzień	M3	-0,996		-0,055	-	-0,107	0,37	
6.21.2			-		0,021	-0,945	0,224	0,38	
6.21.3			-	-	0,298	-0,278	0,34		
6.21.4	noc		-1,114	-0,071	-	-0,104	0,36		
6.21.5			-	-0,054	-0,829	0,658	0,42		
6.21.6			-	-	0,269	-0,266	0,32		

Tabl. Z6.8. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach estymacji udziału par „ciężarowyosobowy” ($U^{c-o}_{onb_kol}$) wśród odstępów niebezpiecznych w kolumnach na drogach krajowych.

Lp.	Pora doby	Typ przekroju	Limit prędkości	β_{l_Q}	Q	V_{sr}	β_{l_Uc}	U_c	R_{sk}^2
6.22.1	dzień	Z1	90	-0,588	0,020	-	-	0,117	0,21
6.22.2				-	-0,750	-	0,348	0,485	0,20
6.23.1	dzień	Z2		-0,581	0,026	-	-	0,102	0,19
6.23.2				-	-	-	0,352	0,417	0,17
6.24.1	dzień	Z1	50/60	-	-	-	0,440	0,622	0,37
6.24.2	noc			-	-	-	0,310	0,340	0,11
6.25.1	dzień	M3		-1,013	0,050	0,103	-	-	0,31
6.25.2				-0,519	0,038	-	-	0,135	0,55
6.25.3			3,004	-0,493	-	-	-	0,18	
6.25.4			-	-	-	0,516	0,775	0,53	
6.25.5	noc		-1,401	0,032	0,144	-	-	0,20	

Tabl. Z6.9. Zestawienie współczynników kierunkowych w regresyjnych modelach estymacji udziału par „ciężarowycięzarowy” ($U^{c-c}_{onb_kol}$) wśród odstępów niebezpiecznych w kolumnach na drogach krajowych.

Lp.	Pora doby	Typ przekroju	Limit prędkości	β_{l_Q}	Q	V_{sr}	β_{l_Uc}	U_c	R_{sk}^2
6.26.1	dzień	Z1	90	-0,558	0,020	-	-	0,280	0,42
6.26.2				-	-0,848	-	0,803	2,022	0,46
6.26.3				-	-	-	0,775	1,906	0,46
6.26.4	noc			-0,740	0,726	-	-	2,006	0,41
6.26.5			-	-	-	0,731	1,821	0,41	
6.27.1	dzień	Z2	50/60	-	-	-	1,236	2,330	0,58
6.27.2	noc			-	-	-	1,014	2,175	0,55
6.28.1	dzień	Z1		-	-	-	1,012	2,211	0,45
6.28.2	noc			-0,647	-	-	1,273	3,068	0,53
6.28.3			-	-	-	1,116	2,433	0,53	
6.29.1	dzień	M3	-1,134	0,024	0,073	-	-	0,18	
6.29.2			-	-	-	0,951	2,259	0,41	
6.29.3	noc		-1,548	0,024	0,145	-	-	0,21	
6.29.4			-	-	-	0,552	1,586	0,40	