

BADANIA ZAGROŻEŃ WYPADKAMI DROGOWYMI W NOCY

W artykule opisano wpływ uwarunkowań związanych z nocnymi ograniczeniami widoczności na występowanie wypadków drogowych. Z analiz statystycznych wynika, że zagrożenie wypadkami w warunkach ograniczonej widoczności (noc i zmierzch) jest znacząco większe niż w ciągu dnia oraz różna jest struktura wypadków i ich okoliczności w zależności od pory doby. Przedstawiono różne metody badań i analiz wykorzystywanych w celu identyfikacji czynników determinujących zwiększony poziom ryzyka ruchu w nocy. Wskazano także na możliwości wykorzystania pośrednich miar zagrożenia bezpieczeństwa ruchu, tj. prędkości i odstępów między pojazdami. Opisano wstępne wyniki badań wpływu pory doby na prędkość oraz na występowanie niebezpiecznych odstępów między pojazdami.

STUDY OF ACCIDENTS' AT NIGHT RISK

The article describes the influence of conditions related to nighttime visibility restrictions on road accidents' occurrence. Statistical analysis show that the threat of accidents in conditions of restricted visibility (night and dusk) is significantly greater than during the day and that their structure and circumstances are different during the day and night. Various methods of research and analysis employed to identify the factors increasing the risk level of driving at night are presented. The article also indicates the possibility of using intermediate traffic risks measures, such as speed and distances between vehicles. Preliminary results of study of daylight and dark conditions influence on speed and on occurrence of hazardous distances between vehicles are described.

1. WSTĘP

Warunki widoczności na drodze, w tym zdolność do percepcji obrazu drogi przez kierujących pojazdami, są jednym z podstawowych czynników determinujących bezpieczeństwo ruchu drogowego. Przyjmuje się, że blisko 90% informacji istotnych dla podejmowania decyzji w ruchu drogowym, to informacje wzrokowe. Z tego powodu niezwykle ważna jest z jednej strony bardzo dobra ekspozycja samych elementów drogi (możliwość ich dostrzegania w różnych warunkach), a z drugiej zdolności uczestników ruchu do postrzegania różnych bodźców. W obydwóch przypadkach istotną rolę odgrywają warunki oświetlenia, a krytyczne sytuacje mogą być powodowane niewystarczającym oświetleniem dla właściwej ekspozycji oraz postrzegania drogi. Już te przesłanki pozwalają

¹Katedra Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu, Politechnika Krakowska, sgaca@pk.edu.pl

formułować hipotezę, że zagrożenie wypadkami w nocy może być znacząco większe niż w dzień. Taka teza znalazła ogólne potwierdzenie w licznych zagranicznych pracach badawczych prowadzonych od końca lat 80. [1, 7, 8, 10, 11, 12, 13]. Mimo tych prac można uznać, że nadal zasadne jest podejmowanie badań wpływu warunków oświetlenia na bezpieczeństwo ruchu drogowego w warunkach krajowych, w celu identyfikacji czynników determinujących zwiększony poziom ryzyka ruchu w nocy. Wnioski z takich badań mogą być przydatne do wprowadzania środków poprawy bezpieczeństwa ruchu. Prace w tym kierunku podjęto w ramach projektu badawczego MNiSzW 2544/B/T02/2009/37 „Identyfikacja determinant bezpieczeństwa ruchu w warunkach nocnych ograniczeń widoczności” (2009 – 2012). Wybrane wyniki z tego projektu są prezentowane w artykule.

Na podstawie przeglądu badań zagranicznych oraz wstępnych, własnych analiz, można stwierdzić, że ruch w nocy i zagrożenia jego bezpieczeństwa charakteryzują się następującą specyfiką [1, 2, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 13]:

- większą niż w ciągu dnia ciężkością wypadków. Przy uwzględnieniu natężenia ruchu, tj. szacowaniu liczby ofiar przypadających na milion pojazdów-kilometrów, ryzyko wypadków śmiertelnych w nocy oceniono w USA i Japonii jako 3 ÷ 4-krotnie większe niż w ciągu dnia. Porównanie względnych wskaźników wypadkowych dla wszystkich ofiar łącznie na drogach niemieckich z końca lat 80. wskazuje na blisko 2-krotnie większą wartość tych wskaźników w nocy w stosunku do dnia,
- zagrożenie wypadkami z ofiarami śmiertelnymi w nocy jest większe poza terenami zabudowy niż na terenach zabudowy,
- szczególnym problemem są wypadki z ofiarami śmiertelnymi w grupie młodych uczestników ruchu do 24 lat rejestrowane w nocy z piątku na sobotę i z soboty na niedzielę,
- większa jest częstość wypadków z udziałem pieszych, wypadków z udziałem pojedynczych pojazdów, zderzeń czołowych oraz bocznych. Brak jest natomiast istotnych różnic w udziale wypadków typu najechania na tył pojazdu w ciągu dnia i nocy,
- w przekroju doby zmienia się charakter ruchu ze względu na motywacje podróży i strukturę kierujących pojazdami. W zależności od typu dróg, w nocy mogą dominować podróże związane z czasem wolnym lub z pracą, co ma duże znaczenie z uwagi m.in. na motywacje w podejmowaniu decyzji na drodze, zmęczenie, doświadczenie itp. Są to czynniki istotnie wpływające na bezpieczeństwo ruchu,
- udział wypadków w nocy zmienia się w ciągu roku i zgodnie z oczekiwaniami wyraźnie rośnie od października do lutego, kiedy to znaczna część ruchu odbywa się przy złych warunkach naturalnego oświetlenia. W tych miesiącach rośnie też liczba wypadków z udziałem pieszych,
- istotną okolicznością wypadków w nocy jest zmęczenie kierujących pojazdami. Z badań opisanych w [8] wynika, że blisko jedna trzecia wypadków z ofiarami śmiertelnymi w nocy na autostradach związana była z zaśnięciem kierującego, a zmęczenie jako okoliczność wypadków tego typu występuje 2,5 razy częściej niż inne przyczyny. Zmęczenie kierującego pojazdem może być także przyczyną wydłużenia jego czasu reakcji,
- udział wypadków pod wpływem alkoholu jest w nocy znacznie większy niż w ciągu dnia. Oszacowano, że ryzyko spowodowania wypadku przez kierującego będącego pod wpływem alkoholu ($\geq 0,5$ promila) jest w nocy ponad 12 razy większe niż w ciągu dnia,

- w nocy częstym zjawiskiem jest olśnienie, oraz trudności poprawnego oszacowania odległości do pojazdu nadjeżdżającego z przeciwka, a także niezachowywanie bezpiecznych odstępów między pojazdami,
- prędkości pojazdów są z reguły znacznie większe niż pożądane z uwagi na zasięg oświetlenia drogi przez reflektory pojazdu. W ok. 90% przypadków droga zatrzymania pojazdu jest dłuższa od zasięgu oświetlenia drogi przez pojazd,
- wprowadzenie sztucznego oświetlenia może spowodować istotną poprawę bezpieczeństwa ruchu. Z badań opisanych w [4] wynika, że sztuczne oświetlenie drogowe redukuje o blisko 65% liczbę wypadków śmiertelnych, o ok. 30% liczbę zdarzeń z udziałem rannych oraz o ponad 15% liczbę kolizji drogowych.

Uwzględniając powyższe uwarunkowania, część z podjętych badań autora ukierunkowano na:

- określenie krajowej specyfiki zagrożeń wypadkami w nocy z uwagi na strukturę tych wypadków i ich dominujące okoliczności,
- ilościowe oszacowanie wzrostu zagrożenia wypadkami różnych typów w nocy,
- ocenę wpływu warunków oświetlenia na wybrane aspekty zachowań kierujących pojazdami.

2. METODY BADAŃ

2.1 Statystyczne analizy danych o wypadkach

Formułując założenia do przedmiotowych badań przyjęto, że ryzyko w ruchu drogowym wyrażane np. przez liczbę zdarzeń drogowych/wypadków określonego rodzaju LW może być estymowane za pomocą następującej, ogólnie zapisanej zależności:

$$LW = R_W \cdot P_Z \cdot P_C \quad (1)$$

gdzie: R_W – miara wystawienia na ryzyko, w tym przypadku natężenie ruchu,

P_Z – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia w odniesieniu do jednostki miary wystawienia na ryzyko,

P_C – prawdopodobieństwo określonego stopnia ciężkości zdarzenia drogowego w zależności od jego rodzaju (skutku zdarzenia).

Ponieważ wystawienie na ryzyko jest z reguły zmienne w ciągu doby, to porównywanie poziomu zagrożenia wypadkami w nocy i w dzień powinno się odnosić nie do liczby wypadków, a do prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia oraz prawdopodobieństwa określonej ciężkości wypadku. Bezpośrednie porównania liczb wypadków mogą dotyczyć tylko okresów doby o zbliżonych wartościach natężeń ruchu. W praktyce jednak dla wielu odcinków dróg brak jest dokładnych danych o natężeniach ruchu i jego dobowej zmienności.

Uwzględniając podane powyżej uwarunkowania, za przydatne w opisywanych badaniach uznano następujące wskaźniki [4, 11]:

$$a) \text{ iloraz wskaźników wypadkowych } WW_{C/J} = \frac{LW_C / R_{WC}}{LW_J / R_{WJ}} \quad (2)$$

$$b) \text{ iloraz proporcji wypadków} \quad IS_{C/J} = \frac{LW_{CT1} / LW_{JT1}}{LW_{CT2} / LW_{JT2}} \quad (3)$$

gdzie: $WW_{C/J}$ – iloraz wskaźników wypadkowych dla okresu opisanego jako „ciemno” i „jasno”,

LW_{CT1} , LW_{JT1} – liczba zdarzeń drogowych odpowiednio w porze roku, gdy jest „ciemno” i w porze roku, gdy jest „jasno” w tych samych godzinach $T1$,

LW_{CT2} , LW_{JT2} – porównawcza liczba zdarzeń drogowych rejestrowanych w godzinach $T2$ da dobrych warunków oświetlenia odpowiednio w porze roku, dla której analizowano dane dla okresu „ciemno” i w porze roku, dla której analizowano dane dla okresu „jasno”,

R_{WC} , R_{WJ} – wystawienie na ryzyko/natężenie ruchu odpowiednio w okresie „ciemno” i „jasno”.

Iloraz proporcji wypadków opisuje stopień zwiększenia zagrożenia wypadkami w „nocy” w stosunku do „dnia” lub tylko dla wybranych przedziałów godzin z „nocy” i „dnia”. Struktura tego wskaźnika nie wymaga dysponowania danymi o wystawieniu na ryzyko/natężeniu ruchu w porównywanych okresach i z tego powodu był on wykorzystywany w przypadku braku takich danych.

Oszacowania w/w wskaźników były w opisywanych badaniach uzupełniane typowymi analizami danych o wypadkach, tj. ocenami struktury wypadków i ich okoliczności, a także ocenami specyfiki zagrożeń bezpieczeństwa ruchu w odniesieniu do wybranych uczestników ruchu.

Inną metodą oceny wpływu warunków oświetlenia na zagrożenia bezpieczeństwa ruchu jest budowa regresyjnych modeli predykcji wypadków z uwzględnieniem wśród zmiennych objaśniających danych o warunkach oświetlenia. Takie prace zostały podjęte w ramach projektu „*Identyfikacja determinant bezpieczeństwa ruchu w warunkach nocnych ograniczeń widoczności*”, lecz nie są opisywane w niniejszym artykule.

2.2. Pośrednie miary zagrożenia wypadkami

Wskaźniki wypadkowe są powszechnie stosowaną, bezpośrednią miarą oceny bezpieczeństwa ruchu. Mają jednak istotną wadę, gdyż ze względu na rzadkie i losowe występowanie zdarzeń drogowych, konieczne jest gromadzenia danych z dłuższych okresów (zalecane 3 lata), a ponadto dane te odnoszą się jedynie do występującego w konkretnych przypadkach zbioru czynników determinujących bezpieczeństwo ruchu. Takie oceny mogą być również obciążane błędami wynikającymi z niskiej wiarygodności bazy danych o zdarzeniach drogowych, szczególnie w przypadku kolizji. M.in. z tych powodów coraz częściej poszukuje się pośrednich miar oceny bezpieczeństwa ruchu, których estymacja byłaby łatwiejsza i możliwa do wykonania w krótkim czasie.

Występujące we wzorze (1) prawdopodobieństwo zdarzenia drogowego w odniesieniu do jednostki miary wystawienia na ryzyko, może być szacowane pośrednio np. przy wykorzystaniu analizy drzewa zdarzeń i drzewa błędów [3]. Szacowane w tej analizie prawdopodobieństwa przejścia pomiędzy kolejnymi stanami ruchu mogą być wiązane z różnymi parametrami ruchu, np. prędkością, odstępami między pojazdami, odległościami

do krawędzi drogi itp. Stąd poprzez ilościowe oszacowania wymienionych parametrów można pośrednio wnioskować także o zagrożeniach bezpieczeństwa ruchu.

W odniesieniu do ocen zagrożeń bezpieczeństwa ruchu w nocy, jako pośrednie miary tych ocen we własnych analizach przyjęto:

- odstępy czasu między pojazdami,
- prędkość pojazdów.

Analizy odstępów między pojazdami obejmowały identyfikację udziału tzw. „odstępów niebezpiecznych” w potokach ruchu dla różnych przypadków warunków drogowo-ruchowych.

Jako odstęp niebezpieczny pomiędzy dwoma kolejnymi pojazdami zdefiniowano odstęp czasu pomiędzy czołami następujących po sobie pojazdów Δt_n spełniający nierówność:

$$\Delta t_n \leq \frac{V_2^2}{7,2 \cdot V_1 \cdot (a_2 + g \cdot i)} - \frac{V_1}{7,2 \cdot (a_1 + g \cdot i)} + \frac{V_2}{V_1} \cdot t_r + \frac{3,6 \cdot l_p}{V_1} \quad [\text{s}] \quad (4)$$

gdzie: V_1 – prędkość pierwszego pojazdu [km/h],

V_2 – prędkość drugiego pojazdu w analizowanej parze pojazdów [km/h],

a_1 – opóźnienie pierwszego pojazdu [m/s^2],

a_2 – opóźnienie drugiego pojazdu [m/s^2],

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],

i – pochylenie podłużne drogi wyrażane w liczbie niemianowanej [-],

t_r – czas reakcji kierującego pojazdem [s],

l_p – długość pierwszego pojazdu [m].

Spełnienie nierówności opisanej wzorem (4) oznacza, że w przypadku gwałtownego hamowania pierwszego pojazdu, pojazd podążający za nim, mimo podjęcia hamowania po czasie reakcji t_r , uderzy w tył pierwszego pojazdu. Istotne jest przy tym zróżnicowanie prędkości pojazdu poprzedzającego i podążającego, a także występowanie różnicy wartości opóźnień przy hamowaniu. Graniczne wartości tych opóźnień związane są z rodzajem pojazdu (samochód osobowy lub ciężarowy). Przy takim sposobie zdefiniowania odstępu niebezpiecznego jest on zmienną losową i udział tych odstępów w strumieniu pojazdów nie może być szacowany tylko na podstawie postaci rozkładu odstępów między pojazdami, które są dość dobrze rozpoznane [6]. Szacowanie tego udziału dla danych empirycznych zawierających informacje o rzeczywistych odstępach między pojazdami, prędkości oraz rodzaju i długości pojazdów, jest procedurą dokładniejszą, ale także wymaga przyjęcia założeń dotyczących czasu reakcji, opóźnień pojazdu osobowego i ciężarowego oraz współczynnika przyczepności podłużnej. W opisywanych analizach przyjmowano różne wartości czasu reakcji ($1,0 \div 1,5$ s) oraz opóźnienia w zależności od stanu jezdni - dla samochodu osobowego $4 \div 6 \text{ m/s}^2$, dla samochodu ciężarowego $2,5 \div 3 \text{ m/s}^2$.

Przyjęcie prędkości jako pośredniej miary zagrożenia bezpieczeństwa ruchu wynika z faktu, że wraz ze wzrostem prędkości wzrasta stopień ciężkości wypadku i zmniejszają możliwości uniknięcia kolizji. Jest to powodowane tym, że prędkość wpływa na:

- długość drogi przejeżdżanej w czasie reakcji kierowcy i drogę hamowania,
- energię kinetyczną przy zderzeniu z innym pojazdem lub przeszkodą,
- prawdopodobieństwo zaistnienia i ciężkość wypadku z udziałem pieszego,

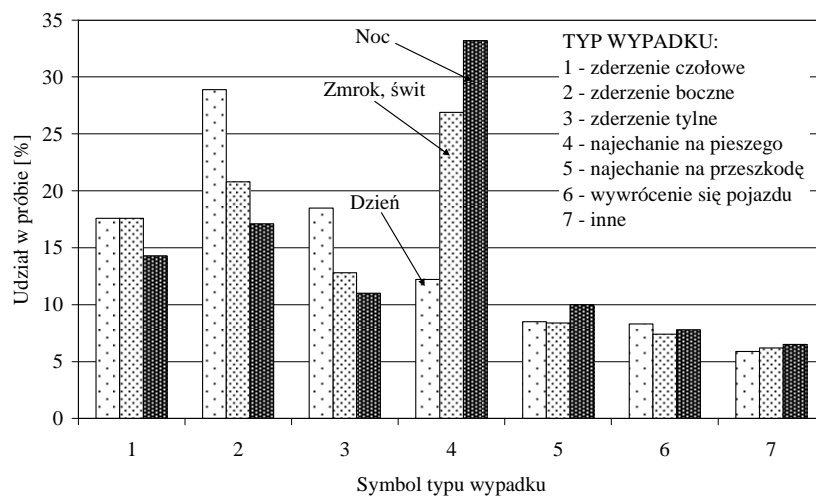
- warunki równowagi pojazdów na krzywiznach drogowych,
- warunki postrzegania otoczenia przez kierowców i wymagania w stosunku do widoczności drogi.

W analizach wpływu prędkości i jej ograniczeń na bezpieczeństwo ruchu uwzględnia się głównie wartości takich parametrów rozkładu chwilowej prędkości, jak średnia, wybrane kwantyle oraz współczynnik zmienności. W przypadku opisywanych badań jednym z elementów analiz prędkości była ocena zmienności jej wartości średnich i kwantyla 85% w powiązaniu ze zmieniającymi się warunkami oświetlenia w okresie doby.

3. WYBRANE WYNIKI ANALIZ

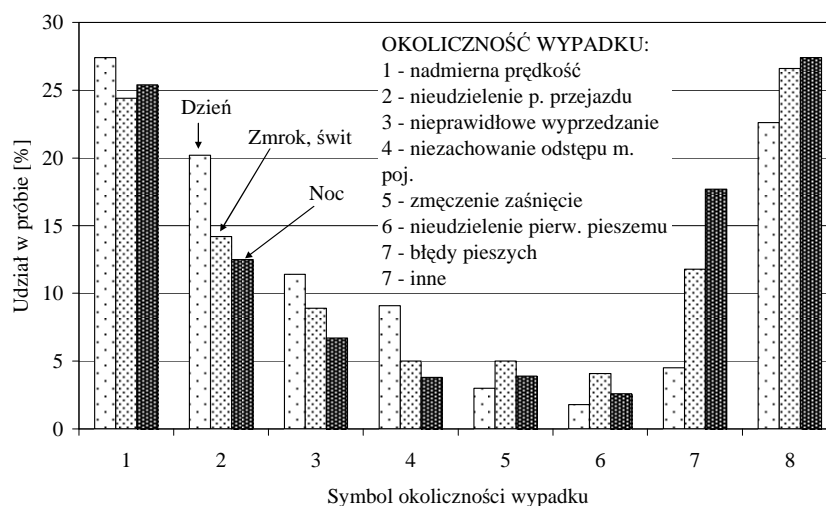
3.1 Porównania danych o wypadkach

Statystyczne analizy danych o wypadkach wykonano dla zbiorów z lat 2005 – 2009 korzystając z krajowej bazy SEWIK. W pierwszym kroku wykonano ogólne porównanie struktury wypadków dla różnych pór doby z wyróżnieniem „dnia”, „nocy”, „zmroku” i „świtu”, zgodnie z oznaczeniem w kartach wypadkowych (rys. 1). Stwierdzono, że w okresie niedostatecznego oświetlenia istotnie wzrasta udział wypadków z pieszymi, a maleje udział wypadków typu zderzenie boczne i najechanie na tył pojazdu, co może być tłumaczone zmniejszonym wystawieniem na ryzyko w tych grupach wypadków.



Rys. 1. Struktura typów wypadków dla różnych pór doby

W kolejnym kroku oceniono strukturę okoliczności wypadków dla różnych pór doby (rys. 2). Uzyskano w tym przypadku wyniki zgodne z oczekiwaniami, tj. zwiększenie udziału błędów w zachowaniach pieszych w okresie złych warunków oświetlenia oraz zmniejszenie okoliczności wypadków powiązanych bezpośrednio z intensywnością ruchu (nieudzielenie pierwszeństwa przejazdu, niezachowanie bezpiecznej odległości, nieprawidłowe wyprzedzanie).



Rys. 2. Struktura okoliczności wypadków dla różnych pór doby

Poza ogólnymi analizami wykonano także dla całej sieci dróg porównania struktury wypadków i ich okoliczności w zależności od lokalizacji drogi i związanej z tym formy jej użytkowania. W tym przypadku stwierdzono, że w przypadku terenów zabudowanych udział wypadków z pieszymi w „nocy” wzrasta z ok. 23% do 44% w stosunku do „dnia”, a na terenach niezabudowanych wzrost ten wynosi z 4,4% do aż 26,3%. Wśród okoliczności wypadków zarówno na terenach zabudowanych, jak i poza tymi terenami dominuje w „nocy” niedostosowanie prędkości do warunków ruchu (odpowiednio 21,8% i 27,7%).

W bardziej dokładnej analizie uwzględniono również występowanie w „nocy” sztucznego oświetlenia. Oceniano w tym przypadku odcinki dróg krajowych poza terenami zabudowy i odcinki przechodzące przez miejscowości. Stwierdzono, że występowanie sztucznego oświetlenia wpływa na strukturę wypadków zarówno na odcinkach dróg zamiejskich, jak i na przejściach drogowych przez miejscowości. Sztuczne oświetlenie zmniejsza udział wypadków typu najechania na przeszkodę zarówno na odcinkach zamiejskich, jak i w miejscowościach. W odniesieniu do wypadków z pieszymi korzystny wpływ sztucznego oświetlenia w „nocy” wyraźnie ujawnił się tylko na odcinkach dróg krajowych poza terenami zabudowy. Należy jednak zauważyć, że rola sztucznego oświetlenia w odniesieniu do struktury wypadków musi być oceniana w powiązaniu ze specyfiką rozwiązań drogowych. Zwykle oświetlane są fragmenty sieci o dużej ekspozycji na ryzyko i nie można w prosty sposób wnioskować o wpływie oświetlenia na bezpieczeństwo ruchu. Konieczne w tym przypadku są oszacowania wskaźników wypadkowych lub porównania ilorazu proporcji wypadków. Badania w tym zakresie są kontynuowane przez autora z uwzględnieniem zmiennej długości okresu „nocy” w ciągu roku, tj. przy wykorzystaniu danych o godzinach wschodu i zachodu słońca wraz z wprowadzeniem do analiz okresu przejściowego pomiędzy „dniem” i „nocą”.

W ramach szczegółowych analiz podjęto próbę wykorzystania wskaźnika ilorazu proporcji wypadków do ilościowej oceny zmian zagrożenia wypadkami przy zmieniających się warunkach oświetlenia. Przeprowadzono analizę dla trzech przypadków, tj. okresu porannego i okresów wieczornych. Wyniki tych ocen zestawiono w tabl. 1.

Tab. 1. Zestawienie danych i wyników obliczeń ilorazu proporcji wypadków [2]

	Godzina poranna			Wieczór			Wieczór		
	Okres	L. wypadków		Okres	L. wypadków		Okres	L. wypadków	
		11.05 31.07	12.11 31.01		11.05 31.07	12.11 31.01		1.05 31.08	1.11 28.02
Godziny analizy	5:00 6:00	360	296	17:00 19:00	1313	1689	18:00 19:00	900	1059
Godziny odniesienia	8:00 15:00	4219	3286	8:00 15:00	4219	3286	8:00 15:00	6306	4797
Iloraz proporcji (3)	1,06			1,65			1,55		
Przedział ufności	0,91 ÷ 1,24			1,54 ÷ 1,77			1,42 ÷ 1,69		

Na podstawie porównań danych o wypadkach z okresów o dobrych warunkach oświetlenia (maj - sierpień) i złych (listopad - luty) stwierdzono, że w godzinach wieczornych rośnie prawdopodobieństwo wypadków o ok. 60% w stosunku do pory dnia. Jako mało znaczący wzrost ryzyka stwierdzono dla przypadku danych z godziny porannej 5:00 ÷ 6:00, kiedy także występowały ograniczone warunki widoczności (listopad - luty).

W podobny sposób, jak powyżej szacowano także wzrost ryzyka wypadków w warunkach nocnych ograniczeń widoczności przy uwzględnieniu różnych typów wypadków. Oszacowane wartości ilorazu proporcji wypadków opisującego wzrost ryzyka dla wybranych typów wypadków były następujące:

- zderzenie czołowe - 1,36
- wywrócenie się pojazdu - 2,50
- najechanie na pieszego - 2,79
- najechanie na drzewo - 2,82
- najechanie na obiekt - 3,6.

Wymienione powyżej przypadki dużych wartości wskaźnika wzrostu zagrożenia można wiązać z ograniczeniami percepcji drogi jako bezpośredniej lub pośredniej przyczyny wypadku.

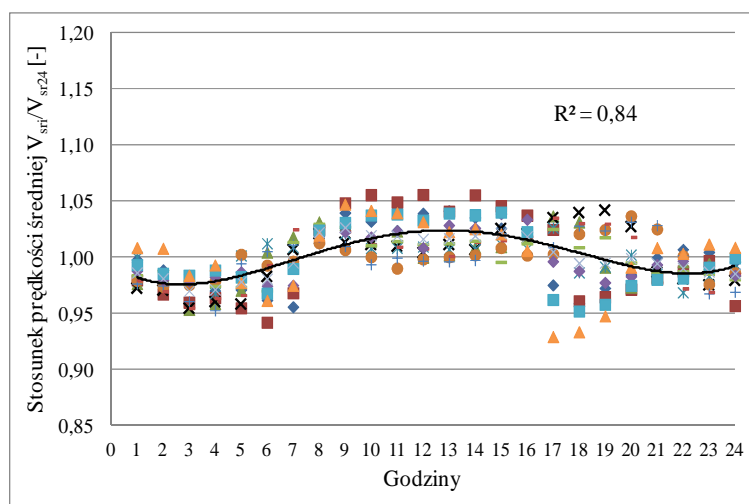
Przedstawione porównania danych o wypadkach potwierdzają tezę o zwiększonym zagrożeniu wypadkami w nocy.

3.2. Miary pośrednie

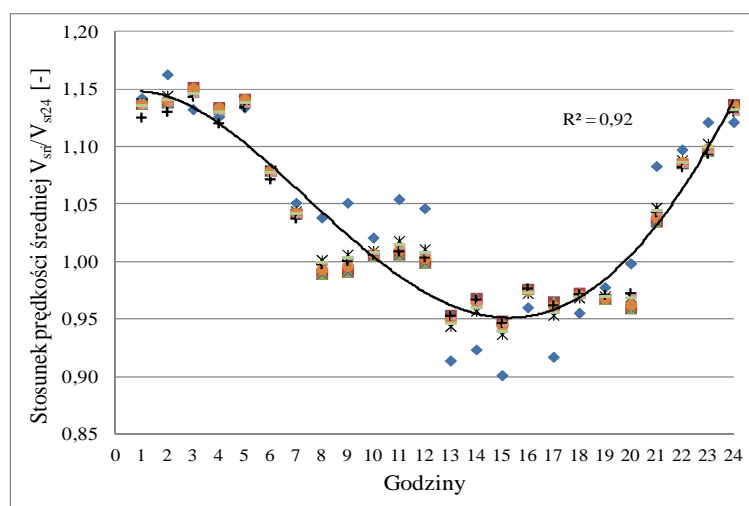
Przedmiotem analiz w przypadku miar pośrednich były prędkości i odstępki między pojazdami, zarejestrowane w ramach systematycznych badań ruchu na zlecenie Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego w latach 2002 – 2008. Łącznie zrealizowano 28 serii 24-godzinnych automatycznych pomiarów. W każdej z serii było to 32 stałe punkty pomiarowe i 16 punktów o zmiennej lokalizacji. Uzyskane w ten sposób dane służyły

głównie do oceny stopnia przestrzegania ograniczeń prędkości, ale mogą być także wykorzystane do innych analiz.

We własnych **analizach prędkości** wykorzystano dane z 93 lokalizacji na zamiejskich drogach krajowych i 32 na przejściach drogowych przez małe miejscowości. Głównym celem analiz była identyfikacja zmienności prędkości w przekroju doby wraz ze zmianami warunków naturalnego oświetlenia (rys. 3 i 4) [9].



Rys. 3. Zmiany wartości współczynnika V_{sr}/V_{sr24} na drogach zamiejskich w różnych miesiącach – przekrój z poboczami bitumicznymi

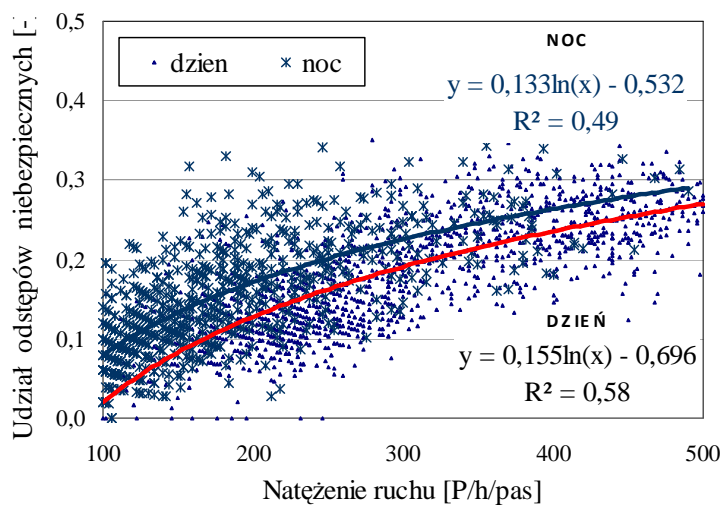


Rys. 4. Zmiany wartości współczynnika V_{sr}/V_{sr24} na przejściach drogowych przez miejscowości

Zmienność prędkości opisywana jest przez iloraz prędkości średniej w danej godzinie V_{sri} i prędkości średniej obliczonej dla całej doby V_{sr24} . Wyniki analiz wskazują na różny sposób zachowania się kierujących pojazdami w zależności od lokalizacji drogi. Na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości prędkość średnia w potokach ruchu w nocy wzrasta, a na drogach zamiejskich maleje. Podobne zjawisko stwierdzono analizując prędkość pojazdów w ruchu swobodnym. Może to oznaczać, że na drogach zamiejskich kierujący pojazdami podejmują działania dla kompensacji pogorszenia warunków percepcji drogi w nocy. Z kolei wzrost prędkości w ciągu nocy na przejściach drogowych przez miejscowości może mieć wyjaśnienie w ograniczeniu aktywności w tym czasie w otoczeniu drogi, co kierujący oceniają subiektywnie jako zmniejszenie ryzyka ruchu.

W przypadku **analizy odstępów między pojazdami** szacowano udziały odstępów niebezpiecznych w potokach ruchu. Udział ten był obliczany jako iloraz liczby odstępów spełniających nierówność (4) i liczby wszystkich odstępów w interwałach 15 ÷ 30 minut. Przyjmowanie stosunkowo krótkich interwałów analizy wynikało z dążenia do oceny zachowań kierujących pojazdami w podobnych warunkach ruchu.

Na rys. 5 pokazano przykład zestawienia wartości oszacowanych udziałów odstępów niebezpiecznych dla okresu „dnia” i „nocy”.



Rys. 5. Zależność udziału odstępów niebezpiecznych na drogach jednojezdniowych od natężenia ruchu i pory doby [5]

Pokazane na rys. 5 wyniki szacowania udziału odstępów niebezpiecznych uzyskano przy założeniu takiej samej wartości czasu reakcji t_r równego 1,0 s dla „dnia” i „nocy”. Wyniki analiz wskazują, że udział odstępów klasyfikowanych jako niebezpieczne zależy nie tylko od natężenia ruchu, ale także od pory doby. Jest on większy w „nocy”. Przy założeniu zwiększonej wartości czasu reakcji dla „nocy” o 0,2 s, udział odstępów niebezpiecznych w okresie „nocy” wzrastał dodatkowo o ok. 4 ÷ 5% w zależności od natężenia ruchu. Mogłoby to sugerować większe zagrożenie wypadkami najechania na tył

pojazdu w „nocy”, ale nie potwierdzają tego statystyki wypadkowe. Dlatego ten element analizy będzie kontynuowany w celu wyjaśnienia wskazanej sprzeczności. Jedno z możliwych wyjaśnień może się wiązać z innym niż przyjęto do analiz czasem reakcji w nocy. Chociaż zmęczenie i inne uwarunkowania fizjologiczne sugerują wydłużony czas reakcji człowieka w nocy, to równocześnie nie można wykluczyć, że reakcja na intensywny sygnał czerwony światła stopu w nocy, może być znacznie krótsza niż w dzień (bardzo duży kontrast i łatwiejsze wyróżnienie tego sygnału z tła w nocy).

Analizy występowania odstępów niebezpiecznych prowadzono także w odniesieniu do ruchu pojazdów na ulicach. W tym przypadku oceniano wpływ typu przekroju poprzecznego na występowanie odstępów niebezpiecznych, szczególnie w sytuacji ulic jednokierunkowych wielopasowych. Stwierdzono, że na tych ulicach udział odstępów niebezpiecznych jest istotnie większy na pasach do wyprzedzania niż na pasie skrajnym i może on osiągać wartości do 50% przy natężeniach rzędu 700 P/h/pas.

Na udział odstępów niebezpiecznych między pojazdami istotny wpływ mają warunki pogodowe. We wstępnych badaniach stwierdzono, że z reguły przy złych warunkach pogodowych kierujący pojazdami zwiększają odstęp i zmniejszają prędkość, co prowadzi do mniejszych udziałów odstępów niebezpiecznych niż w przypadku suchej nawierzchni (o 5 ÷ 10% mniej).

4. WNIOSKI

Przedstawione analizy jednoznacznie wskazują na istotny wpływ nocnych ograniczeń widoczności na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Wpływ ten wyraża się nie tylko odmienną strukturą wypadków i ich okoliczności w „nocy” w stosunku do „dnia”, ale także większymi wartościami prawdopodobieństwa wypadków w „nocy”. Nie dotyczy to jednak w takim samym stopniu wszystkich typów wypadków. Największy wzrost prawdopodobieństwa wypadków w „nocy” dotyczy najechania pojazdu na różnego typu przeszkodę, najechania na pieszego oraz wywrócenia się pojazdu.

Istotny wpływ na wzrost zagrożenia wypadkami w nocy ma charakter zagospodarowania w otoczeniu drogi. Badania w zakresie oceny wpływu tego czynnika w połączeniu z występowaniem sztucznego oświetlenia na terenach zabudowy nie zostały jeszcze zakończone.

Rezultaty badań zagranicznych wskazują na celowość podjęcia w warunkach krajowych także analiz wpływu warunków oświetlenia na zagrożenia wypadkami w powiązaniu z wiekiem uczestników ruchu oraz charakterem podróży.

Wstępne analizy pośrednich miar zagrożenia wypadkami nie dają jeszcze odpowiedzi, co do ich przydatności w zakresie oceny zróżnicowania tego zagrożenia pomiędzy „dniem” i „nocą”. Kolejnym etapem analiz powinno być poszukiwanie funkcyjnych zależności pomiędzy wybranymi pośrednimi miarami zagrożenia, a rejestrowanymi zdarzeniami drogowymi. Tego typu analizy są jednak utrudnione z uwagi na niepełną bazę danych o zdarzeniach drogowych, tj. braki informacji o kolizjach drogowych. Dlatego podjęta będzie próba zastąpienia tych danych przez obserwowane konflikty w ruchu drogowym.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Brühning E., Ernst G., Schmid M.: *Das Unfallgeschehen bei Nacht. Unfallhäufigkeit, Unfallrisiko, und Unfallstruktur*. Forschungsberichte der Bundasanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Nr 187, Bergisch Gladbach, 1988.
- [2] Bator T., Gałuszka A.: *Modelowanie zdarzeń drogowych w porze nocy*. Praca dyplomowa, Politechnika Krakowska, Kraków, 2011.
- [3] Durth W., Bald S.: *Risikoanalysen im Straßenwesen*. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 531, Bonn-Bad Godesberg, 1987/1991.
- [4] Elvik R., Vaa T.: *The handbook of road safety measures*. Elsevier, 2004
- [5] Gaca S., Kieć M., Zielinkiewicz A.: *Analyses od Headways for Assessment of Risk Rear-End Collision*. 3rd International Conference on Road Safety and Simulation. Proceedings CD, Purdue University/Transportation Research Board, Indianapolis, 2011.
- [6] Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M.: *Inżynieria ruchu drogowego – Teoria i praktyka*. WKŁ, Warszawa, 2008.
- [7] Keall M. D., Frith W. J., Patterson T. L.: *The contribution of alcohol to night time crash risk and other risks of night driving*. Accident Analysis & Prevention Vol. 37, 2005.
- [8] Lerner M., Albrecht M., Evers C.: *Das Unfallgeschehen bei Nacht*. Berichte der Bundasanstalt für Straßenwesen, Heft M 172, Bergisch Gladbach, 2005.
- [9] Ryczkowska P.: *Charakterystyka zmienności prędkości na drogach krajowych*. Praca dyplomowa, Politechnika Krakowska, Kraków, 2011.
- [10] Siddiqui N. A., Chu X., Guttenplan M.: *Crossing Locations, Light Conditions, and Pedestrian Injury Severity*. Journal of the Transportation Research Board, No. 1982, Washington D. C., 2006.
- [11] Sullivan J. M., Flannagan M. J.: *Characteristics of Pedestrian Risk in Darkness*. Report No. UMTRI-2001-33, 2001.
- [12] Sullivan J. M., Flannagan M. J.: *The role of ambient light level in fatal crashes inferences from daylight saving time transitions*. Accident Analysis & Prevention Vol. 34, 2002.
- [13] Wanvik P. O.: *Effects of road lighting - An analysis based on Dutch accident statistics 1987–2006*. Accident Analysis & Prevention Vol. 41, 2009.