

**TOMASZ E. BURGHARDT**

dr, M. Swarovski GmbH, Industrie-  
straße 10, 3300 Amstetten, Austria,  
e-mail: tomasz.burghardt@swarco.  
com, +43 664 8878 4307

**ANTON PASHKEVICH**

dr inż., Politechnika Krakowska,  
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków,  
tel. +48 12 628 3096, e-mail:  
apashkevich@pk.edu.pl

**MARCIN PIEGZA**

inż., student Wydziału Inżynierii  
Łądowej, Politechnika Krakowska,  
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

# Percepcja przez kierowców poziomego oznakowania dróg o wysokiej odblaskowości<sup>1</sup>

**Streszczenie:** Ryzyko wypadku w nocy na drogach nieoświetlonych jest znacznie wyższe niż na tych samych drogach w dzień. Odblaskowość poziomego oznakowania dróg jest jednym z czynników poprawiających bezpieczeństwo na takich drogach. Początkowa odblaskowość sięgająca 350 mcd/m<sup>2</sup>/lx jest uzyskiwana przy pomocy standardowych mikrokul szklanych. Na odcinku testowym zastosowano oznakowanie o bardzo wysokiej odblaskowości, sięgającej dzięki mikrokułom SolidPlus prawie 600 mcd/m<sup>2</sup>/lx a na mokro ponad 100 mcd/m<sup>2</sup>/lx. Badania ankietowe, mające na celu zbadanie zauważalności takiego oznakowania przeprowadzono wśród kierujących pojazdami, którzy w nocy podróżowali odcinkiem testowym. Spośród 156 respondentów, 64% kierujących zauważyło wprowadzenie oznakowania poziomego o zwiększonej odblaskowości. Najczęściej zauważały je osoby jeżdżące dużo i często, niezależnie od płci. Najprawdopodobniej w związku ze znacznie mniejszymi przejeżdżanymi dystansami, kobiety zauważały wyższą odblaskowość rzadziej (54%) niż mężczyźni (73%). Zwiększoną odblaskowość na mokro zauważyło aż 88% mężczyzn i 81% kobiet. Bardzo niewielu spośród respondentów było świadomych zwiększonego zagrożenia w czasie jazdy nocnej: tylko 20% mężczyzn i 25% kobiet uznało ryzyko w czasie jazdy nocnej jako wysokie lub bardzo wysokie, podczas gdy aż 52% mężczyzn i 30% kobiet uznało je za niewielkie lub żadne. Odpowiedzi te świadczą o niedostatecznej edukacji kierowców.

**Słowa kluczowe:** bezpieczeństwo ruchu drogowego, oznakowanie poziome, odblaskowość

## Wprowadzenie

Wypadki drogowe są spowodowane głównie słabością systemu „człowiek – pojazd – droga”. Najczęściej w tym systemie decydującym czynnikiem sprawczym jest człowiek, a powodem większości zdarzeń drogowych jest brak obserwacji drogi [1, 2]. Percepcja wzrokowego postrzegania drogi jest mechanizmem złożonym: kierowca w czasie jazdy tworzy model otaczającego go środowiska a następnie reaguje zgodnie z wytworzonym modelem i pamięcią podobnych sytuacji, wedle wyuczonych procedur [3].

Jazda po zmroku jest znacznie bardziej niebezpieczna niż w dzień: ryzyko wypadku jest większe w proporcji do przejeżdżanych odległości i natężenia ruchu a wypadki są znacznie groźniejsze [4, 5]. Jednym z czynników decydujących o trudności jazdy po zmroku jest brak właściwych i pełnych informacji o przebiegu drogi, co ogranicza jej rolę prowadzącą, dlatego bardzo ważne jest jej poziome oznakowanie, które

wyznacza tor jazdy dla kierowcy. Poziome oznakowanie dróg jest jednym z najbardziej efektywnych środków bezpieczeństwa a wyliczony stosunek zysków do kosztów wynosi średnio 60:1 [6]. Widoczność oznakowania poziomego w nocy jest uzyskiwana za pomocą mikrokul szklanych, które dają odblaskowość (retrorefleksję), odbieraną przez kierowców starających się wyznaczyć koniec widoczności drogi [7]. Przeprowadzona niedawno w Stanach Zjednoczonych analiza wypadkowości dowiodła, że zwiększenie odblaskowości o 100 mcd/m<sup>2</sup>/lx może spowodować obniżenie ilości nocnych wypadków na suchej drodze na odcinkach poza skrzyżowaniami do 23% [8].

Standardowe mikrokuły są produkowane ze zmielonej stłuczki szklanej, więc charakteryzują się indeksem załamania światła (*refractive index*, RI) 1,5. Ich użycie jako posypki do farby białej pozwala na uzyskanie odblaskowości sięgającej w warunkach drogowych około 350 mcd/m<sup>2</sup>/lx, co wydaje się wystarczające w większości przypadków. Jednym ze współczesnych rozwiązań technologicznych są mikrokuły szklane produkowane z wyselekcjonowanych surowców podstawowych, które dzięki doskonałemu wykończeniu powierzchni i podwyższeniu RI do około 1,6 pozwalają na uzyskanie odblaskowości sięgającej nawet 1000 mcd/m<sup>2</sup>/lx. Tego rodzaju mikrokuły pozwalają dodatkowo na uzyskanie znacznie zwiększonej odblaskowości na mokro. Mikrokuły szklane zabezpieczają powierzchnię farby czy innych materiałów znakujących przed ścieraniem, więc są krytycznym czynnikiem wpływającym na trwałość oznakowania.

Normy odblaskowości poziomego oznakowania dróg w Polsce (tabela 1) są uzależnione od klasy drogi i ustalone na mocy ustawy. W żadnym wypadku wymagana retrorefleksja nie przekracza 200 mcd/m<sup>2</sup>/lx, więc jest znacząco niższa niż łatwo osiągalna przy pomocy nowych technologii. Warto dodać, że zarządcy dróg, poprzez specyfikacje techniczne przetargów, zwykle wymagają nieznacznie wyższych początkowych wartości, ale jednocześnie pozwalają na spadek odblaskowości po kilkumiesięcznym użytkowaniu do poziomów niższych niż ustawowe.

Do wad oznakowania poziomego należy zaliczyć konieczność jego okresowego odnawiania spowodowanego utratą odblaskowości, która jest następstwem wypadania lub uszkodzenia mikrokul szklanych. Dodatkowo, oznakowanie poziome jest słabo widoczne w czasie deszczu. Jest to szczególnie dotkliwe dla kierujących pojazdami

<sup>1</sup> ©Transport Miejski i Regionalny, 2017. Wkład autorów w publikację: T. E. Burghardt 34%, A. Pashkevich 33%, M. Piegza 33%.

Tabela 1

Normy odblaskowości w Polsce	
Autostrady	200 mcd/m <sup>2</sup> /lx
Drogi ekspresowe	150 mcd/m <sup>2</sup> /lx
Pozostałe drogi	100 mcd/m <sup>2</sup> /lx
Oświetlone drogi miejskie	—

Źródło: Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dn. 3 lipca 2003 r., załącznik nr 2: Szczegółowe warunki techniczne dla znaków drogowych poziomych i warunki ich umieszczania na drogach (Dz. U. nr 220, poz. 2181).

w porze nocnej, gdy mikrokule pokryte warstwą wody nie są w stanie zapewnić odblaskowości a zmniejszona widoczność spowodowana opadami atmosferycznymi dodatkowo utrudnia kierowanie utrzymanie toru jazdy. Częściowo można uniknąć tego problemu poprzez stosowanie znakowania grubowarstwowego strukturalnego, umożliwiającego lepszy odpływ wody albo poprzez użycie mikrokul o zwiększonym RI. Pokrywanie oznakowania przez śnieg, brud czy błoto również utrudniają jego postrzeganie, dlatego drogi powinny być utrzymywane w czystości a w zimie odpowiednio odśnieżane. Niestety, zimowe utrzymanie dróg powoduje mechaniczne uszkodzenie mikrokul, przez co następuje znacznie zwiększony spadek odblaskowości, mogący sięgnąć ponad 6 mcd/m<sup>2</sup>/lx na jeden przejazd pługu [9].

## Bezpieczeństwo ruchu drogowego w Polsce

Polska jest krajem o bardzo niskim poziomie bezpieczeństwa ruchu drogowego w porównaniu z innymi państwami Unii Europejskiej. Dodatkowo, pomimo relatywnie niewielkiej ilości wypadków, ich skutki są bardzo ciężkie: w Polsce na każde 1000 wypadków 92 osoby tracą życie, a dla porównania w Austrii czy Niemczech tylko 11 osób [10]. Na przestrzeni ostatniej dekady nastąpił systematyczny spadek liczby wypadków, liczby ciężko rannych i zabitych, ale wartości te są ciągle przerażające: w 2016 roku w 33 664 wypadkach na polskich drogach straciło życie 3026 osób a 40 766 zostało rannych (w tym 12 109 ciężko) [11]. Koszty wypadków i kolizji drogowych w roku 2015 wyniosły aż 48,2 mld złotych, czyli 2,7% produktu krajowego brutto [12].

Podział wypadków pod względem czasu zdarzenia jest istotny ze względu na późniejszą analizę ich przyczyn a także służy rozpoznawaniu czynników i środków mających wpływ na bezpieczeństwo. Tabela 2 przedstawia liczbę wy-

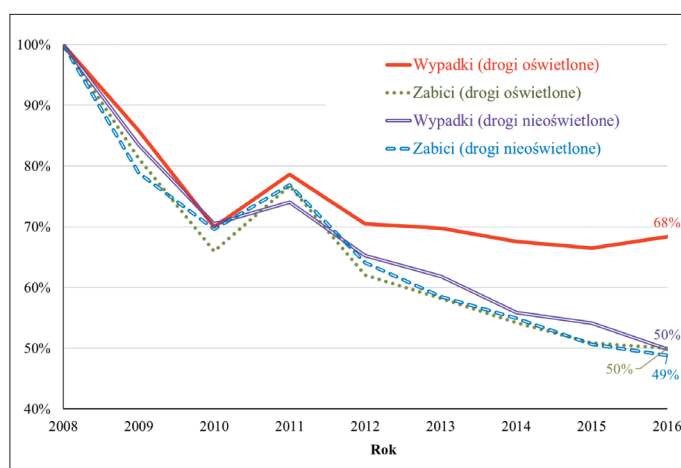
Tabela 2

Liczba wypadków drogowych w Polsce w 2016 r. z podziałem na skutki, porę dnia i oświetlenie drogi							
Oświetlenie		Wypadki		Zabici		Ranni	
		Ogółem	%	Ogółem	%	Ogółem	%
W ciągu dnia		23 432	69,6	1 654	54,7	28 690	70,4
W okresie zmroku, świtu		2 364	7,0	269	8,9	2 802	6,9
Pora nocna	Drogi oświetlone	5 150	15,3	419	13,8	6 055	14,9
	Drogi nieoświetlone	2 718	8,1	684	22,6	3 219	7,9
Suma		33 664	100	3 026	100	40 766	100

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Komendy Głównej Policji [11].

padków w Polsce w roku 2016 z podziałem na porę dnia [11]. Ryzyko wypadku śmiertelnego w porze nocnej jest znacznie większe niż w porze dziennej: w nocy miało miejsce 23,4% wypadków, ale przypadło na nie aż 36,5% wszystkich ofiar śmiertelnych. Dalsza analiza pokazuje, że w porze nocnej na drogach nieoświetlonych miało miejsce tylko 34,5% z tych wypadków, ale pochłonęły one aż 62,0% ofiar śmiertelnych.

W latach 2008 – 2016 nastąpił nieco większy spadek liczby wypadków na drogach nieoświetlonych niż na drogach oświetlonych (rysunek 1), co wydaje się być spowodowane poprawą infrastruktury drogowej. Jednocześnie należy podkreślić, że spadek liczby osób zabitych pozostaje niezależny od rodzaju drogi. Dotkliwość wypadków w porze nocnej na drogach nieoświetlonych pozostaje na stałym poziomie i wyniosła w analizowanym okresie 0,24–0,27 zabitych oraz 1,17–1,26 rannych na jeden wypadek.



Rys. 1. Procentowy spadek liczby wypadków w Polsce na drogach oświetlonych i nieoświetlonych (rok 2008 – 100%) w godzinach nocnych.

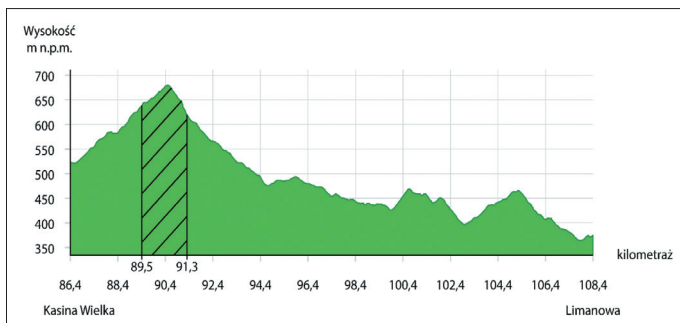
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Komendy Głównej Policji [11].

Ponieważ drogi oświetlone znajdują się głównie na obszarach zabudowanych, można przyjąć, iż ryzyko wypadku z ofiarami śmiertelnymi jest związane z obszarami niezabudowanymi. Jest to bez wątpienia spowodowane większą prędkością, zarówno dozwoloną jak i osiąganą na terenach niezabudowanych, ale analiza wskazała także na znaczący wpływ rodzaju i szerokości pobocza oraz obecności lub braku chodników [13]. Jednocześnie należy podkreślić wpływ czynników społecznych: akceptację notorycznego łamania przepisów ruchu drogowego poprzez wyprzedzanie w miejscach niedozwolonych i ignorowanie ograniczeń prędkości, przyzwolenie na jazdę pod wpływem alkoholu, czy też traktowanie słabiej chronionych użytkowników drogi jako przeszkód [14]. Można przyjąć, że to właśnie bardzo niski poziom kultury jazdy i przyzwolenie społeczne na niewłaściwe zachowania kierowców są jednym z najważniejszych powodów bardzo wysokiej liczby osób ginących w wypadkach na polskich drogach [15]. Dodatkowo, na drogach zamiejsczych często dochodzi do nieprawidłowych zachowań pieszych, którzy często stają się ofiarami wypadków z własnej winy [5, 11].

## Oznakowanie poziome o wysokiej odblaskowości

Dwukilometrowy odcinek drogi krajowej 28, pomiędzy Mszą Dolną a Limanową, oznakowano farbą wodorocieńczalną Limboroute W15 (Swarco Limburger Lackfabrik GmbH; Diez, Niemcy) z posypką mikrokul szklanych SolidPlus (M. Swarovski GmbH; Amstetten, Austria). Farbę wodorocieńczalną wybrano nie tylko ze względów ekologicznych, ale także ze względu na jej dużą trwałość [16, 17]. Różne rodzaje farb do znakowania poziomego dróg i ich wpływ na środowisko naturalne zostały niedawno omówione [18, 19]. Znakowaniem kontrolnym był standardowy system składający się z typowej używanej w Polsce farby rozcieńczalnikowej i standardowych mikrokul szklanych. Odcinek testowy to kręta droga dwupasmowa o szerokości 6,3 m, bez opaski i w większości ograniczona barierami. Występuje tam znaczące wzniesienie, przełęcz Gruszowiec (660 m n.p.m.) z podjazdami do 9%. Profil wertykalny odcinka wraz z odpowiednim kilometrażem drogi krajowej 28 przedstawia rysunek 2. Na całości odcinka testowego obowiązuje zakaz wyprzedzania. Często są wyjazdy z rozproszonych posesji, zwykle utwardzone żwirem, po obu stronach jezdni; brak jest chodników. Obowiązuje ograniczenie prędkości do 90 km/h. Średni ruch dobowy wynosi 5885 pojazdów, w tym 7,2% pojazdów ciężkich.

Wszystkie parametry oznakowania, zarówno doświadczalnego jak i standardowego, przekraczały minimalne wymagania (tabela 3). Wysoka odblaskowość, zarówno na sucho



Rys. 2. Profil wysokości drogi krajowej 28 na odcinku Kasina Wielka – Limanowa (ukośnym cieniowaniem zaznaczono odcinek testowy).

Źródło: opracowanie własne na podstawie: <http://www.geocontext.org/publ/2010/04/profiler/pl/>

Tabela 3

Wyniki pomiarów oznakowania poziomego						
System	Eksperymentalny			Standardowy		
	1 miesiąc	3 miesiące	Zmiana [%]	1 miesiąc	3 miesiące	Zmiana [%]
Okres pomiaru						
Odblaskowość ( $R_t$ ) [mcd/m <sup>2</sup> /lx]	567 (23)	527 (26)	-7,1	366 (14)	311 (20)	-15,0
Luminacja w świetle rozproszonym ( $Q_d$ ) [mcd/m <sup>2</sup> /lx]	197 (3)	182 (3)	-7,6	197 (4)	176 (6)	-10,7
Odblaskowość na mokro ( $R_W$ ) [mcd/m <sup>2</sup> /lx]	128 (20)	114 (27)	-10,9	73 (8)	34 (11)	-53,4
Szorstkość (SRT)	56 (1)	nie mierzone	–	54 (1)	nie mierzone	–

W tabeli podano dane uśrednione dla wszystkich linii (wykonano 5 pomiarów na linię). W nawiasach podano standardowe odchylenia

Źródło: opracowanie własne

jak i na mokro, uzyskana w systemie doświadczalnym musi zostać podkreślona: odblaskowość ta została uzyskana dzięki nieznacznemu zwiększeniu RI i jednocześnie bardzo wysokiej jakości wykończenia powierzchni mikrokul SolidPlus. Po trzech miesiącach ponowiono pomiary i stwierdzono nieznaczny spadek odblaskowości w wypadku systemu eksperymentalnego i dwa razy większą redukcję odblaskowości systemu standardowego. Warto zauważyć, że system standardowy stracił w tym okresie prawie całkowicie odblaskowość na mokro (spadek o 53,4%, do mniej niż 35 mcd/m<sup>2</sup>/lx), podczas gdy system doświadczalny ciągle był ją w stanie dostarczyć.

## Metodologia: badania ankietowe

Wykorzystywanie badań ankietowych jest jedną ze standardowych metod pomiaru a ich ważność została udowodniona [20]. Celem przedstawionych tutaj badań było sprawdzenie czy oznakowanie o wysokiej odblaskowości zostanie zauważone przez kierowców podróżujących nocą oraz ich opinie na jego temat. Odpowiedzi na ankietę zostały zebrane wśród okolicznych mieszkańców, kierowców z lokalnej firmy transportowej, pracowników urzędów, uczniów klasy maturalnej liceum w Limanowej oraz osób odwiedzających bar znajdujący się na przełęczy Gruszowiec. Ankiety były anonimowe, ale zebrane zostały ogólne informacje demograficzne. Wstępne wyniki zostały wcześniej zaprezentowane [21].

Po odrzuceniu ankiet wypełnionych przez osoby nie posiadające prawa jazdy oraz przez osoby, które nie podróżowały nocą przez odcinek testowy do dalszej analizy zostało zakwalifikowanych 156 kwestionariuszy wypełnionych przez 82 mężczyzn (53%) i 74 kobiety (47%). Ponieważ niektórzy respondenci nie odpowiedzieli na wszystkie pytania, dane przedstawione poniżej zwykle odnoszą się do różnej ilości osób.

Tabela 4 przedstawia grupę respondentów z podziałem wg płci, wieku i średnio przejeżdżanych rocznie odległości. Widoczna jest nadreprezentacja osób młodych, co było związane z przeprowadzeniem ankiety wśród uczniów. Średni wiek respondentów wyniósł 30 lat a standardowe odchylenie 14 lat (mężczyźni 35 lat, standardowe odchylenie 17 lat, a kobiety 26 lat, standardowe odchylenie 9 lat). Ważnym wyznacznikiem doświadczenia kierowców jest średni dystans rocznie przez nich przejeżdżany. Wśród respondentów wyraźnie zaznaczyła się różnica pomiędzy

Tabela 4

Respondenci: wiek, płeć i średnio rocznie przejeżdżane odległości						
Wiek [lat]	Mężczyźni		Kobiety		Kobiety i mężczyźni	
	Ilość osób	Średnie roczne przejazdy [km]	Ilość osób	Średnie roczne przejazdy [km]	Ilość osób	Średnie roczne przejazdy [km]
18-21	20	3 157	25	3 738	45	3 480
22-29	21	21 036	14	16 833	35	19 355
30-49	15	33 200	13	13 854	28	24 218
50-64	13	46 218	2	50 500	15	46 789
>64	4	37 000	0	–	4	37 000
Razem	73	23 996	54	11 300	127	18 598

Źródło: opracowanie własne

plciami: kobiety zgłaszały przejeżdżanie znacznie mniejszych odległości niż mężczyźni, średnio odpowiednio 11 300 km (mediana 2 250 km) i 23 996 km (mediana 10 000 km). W szczególności brak doświadczenia widoczny był w najmłodszej grupie wiekowej, gdzie różnice między płciami były nieznaczące, ale roczny pokonany dystans średnio wyniósł tylko 3480 km.

## Wyniki i dyskusja

Odpowiedź na pytanie wstępne, czy jazda w nocy jest związana z większym ryzykiem i jak ocenia Pan/i stopień tego ryzyka? (tabela 5) pokazało, że bardzo niewielu respondentów jest świadomych znacznie zwiększonego ryzyka, co jest zadziwiające w świetle danych statystycznych [11]. Szczególnie należy zwrócić uwagę na najmłodszą grupę wiekową, gdzie nikt nie uznał jazdy nocnej za związaną z bardzo wysokim ryzykiem a aż 14% respondentów stwierdziło całkowity brak ryzyka; różnica pomiędzy płciami była nieznacząca. Ponieważ członkowie tej grupy przejeżdżają rocznie zbyt niewielkie odległości (tabela 4) aby oprzeć swoje opinie na doświadczeniu praktycznym, odpowiedzi takie muszą być więc związane z bardzo niskim poziomem szkolenia kierowców w sprawach bezpieczeństwa ruchu drogowego. Analiza wg płci pokazała, że kobiety prawie tak samo rzadko jak mężczyźni (odpowiednio 24% i 20%) uznali, że kierowanie pojazdem w nocy jest związane z wysokim lub bardzo wysokim ryzykiem, podczas gdy aż 52% mężczyzn i 30% kobiet uznało ryzyko za niewielkie lub nieistniejące (tabela 5). Wśród grupy kierowców doświadczonych, w wieku powyżej 30 lat również występowała przewaga osób nie będących świadomym zwiększonego ryzyka jazdy po zmroku.

Odpowiedzi na pytania dotyczące częstości podróży przez odcinek testowy po zmroku i zauważanie zwiększonej odblaskowości oznakowania poziomego są podane w tabeli 6. Znacząca część respondentów (średnio 64%) zauważyła wprowadzenie znakowania o podwyższonej odblaskowości, zgodnie z naszymi przewidywaniami. Warte podkreślenia jest zależność pomiędzy częstością podróży a obserwacją nowej instalacji poprawiającej bezpieczeństwo ruchu drogowego, co jest potwierdzeniem pomiarów laboratoryjnych, w których pokazano, że osoby stale podróżujące daną trasą bywają mniej uważne, ale jednocześnie częściej zauważają to, co ma wpływ na bezpieczeństwo ruchu [22]. Mniejsza ilość kobiet zauważyła zwiększoną odblaskowość niż mężczyzn, odpowiednio 54% i 73%. Na podstawie tych wyników nie można było stwierdzić, czy taka rozbieżność jest spowodowana naturalną odmiennością pomiędzy płciami, czy też różnicami w doświadczeniu (por. tabela 4).

Korelacja odpowiedzi dotyczących zauważenia nowego oznakowania z okresem posiadania prawa jazdy pokazała, że 80% mężczyzn i 69% kobiet posiadających prawo jazdy od 6 do 20 lat zauważyło zwiększoną odblaskowość (tabela 7). W wypadku kierowców posiadających prawo jazdy krócej niż 6 lat tylko 67% mężczyzn i 50% kobiet potwierdziło zauważenie nowego oznakowania. Można przypuszc-

zać, że to ich brak doświadczenia wpływa na zmniejszenie świadomych obserwacji czynników bezpieczeństwa ruchu drogowego. Zauważalność zwiększonej odblaskowości wśród kierowców posiadających prawo jazdy od ponad 20 lat

Tabela 5

Czy jazda w nocy jest związana z większym ryzykiem i jak ocenia Pan/i stopień tego ryzyka?						
Wiek [lat]	Płeć	Bez ryzyka	Niewielkie ryzyko	Umiarkowane ryzyko	Wysokie ryzyko	Bardzo wysokie ryzyko
18-21	M	4 (16%)	9 (36%)	9 (36%)	3 (12%)	0 (0%)
	K	5 (13%)	8 (20%)	16 (40%)	11 (28%)	0 (0%)
	M+K	9 (14%)	17 (26%)	25 (38%)	14 (22%)	0 (0%)
22-29	M	7 (35%)	3 (15%)	6 (30%)	2 (10%)	2 (10%)
	K	4 (22%)	0 (0%)	10 (56%)	3 (17%)	1 (6%)
	M+K	11 (29%)	3 (8%)	16 (42%)	5 (13%)	3 (8%)
30-49	M	5 (36%)	1 (7%)	4 (29%)	3 (21%)	1 (7%)
	K	2 (15%)	2 (15%)	7 (54%)	2 (15%)	0 (0%)
	M+K	7 (26%)	3 (11%)	11 (41%)	5 (19%)	1 (4%)
50-64	M	4 (36%)	2 (18%)	2 (18%)	2 (18%)	1 (9%)
	K	0 (0%)	1 (50%)	0 (0%)	1 (50%)	0 (0%)
	M+K	4 (31%)	3 (23%)	2 (15%)	3 (23%)	1 (8%)
>64	M	4 (80%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (20%)
	K	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	M+K	4 (80%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (20%)
Razem	M	24 (32%)	15 (20%)	21 (28%)	10 (13%)	5 (7%)
	K	11 (15%)	11 (15%)	33 (45%)	17 (23%)	1 (1%)
	M+K	35 (24%)	26 (18%)	54 (37%)	27 (18%)	6 (4%)

Źródło: opracowanie własne

Tabela 6

Częstość podróży po zmroku przez odcinek testowy i obserwacje odblaskowości oznakowania poziomego z podziałem wg płci respondentów									
Jak często jechał/a Pan/i po zmroku przez testowy odcinek?	Częstość podróży			Czy zauważył/a Pan/i zwiększoną odblaskowość oznakowania poziomego?					
	M	K	M+K	Tak			Nie		
Płeć	M	K	M+K	M	K	M+K	M	K	M+K
Codziennie	13	7	20	10	5	15	3	2	5
4-5 razy w tygodniu	7	6	13	5	3	8	2	3	5
2-3 razy w tygodniu	20	15	35	15	7	22	5	8	13
Raz w tygodniu	14	11	25	8	9	17	6	2	8
Rzadziej niż raz w tygodniu	25	33	58	20	15	35	5	18	23
Razem	79	72	151	58	39	97	21	33	54

Źródło: opracowanie własne

Tabela 7

Staż jako kierowcy wśród osób, które zauważyły zwiększoną odblaskowość, z podziałem wg wieku, płci i długości posiadania prawa jazdy									
Posiadanie prawa jazdy	Krócej niż 6 lat			6-20 lat			Powyżej 20 lat		
	M	K	M+K	M	K	M+K	M	K	M+K
Wiek (w nawiasach odchylenie standardowe) [lat]	23 (10)	22 (4)	23 (8)	38 (10)	37 (7)	37 (9)	53 (8)	40 (0)	52 (8)
Wszyscy	26 (67%)	27 (50%)	53 (57%)	16 (80%)	9 (69%)	25 (76%)	12 (75%)	1 (33%)	13 (68%)

Źródło: opracowanie własne

spadła, co można próbować uzasadniać zarówno ich złymi nawykami jak i mniejszą zdolnością percepcji, ale ze względu na niewielką próbę (tylko 19 kierujących) wskazanie właściwego powodu nie wydaje się możliwe.

Wyniki analizy, w której podzielono respondentów na podstawie ilości rocznie przejeżdżanych kilometrów (tabela 8) pozwalają na wywnioskowanie, że właściwym wyznacznikiem zdolności do obserwacji parametrów drogi poprawiających bezpieczeństwo ruchu drogowego są zarówno staż jako kierowca jak i przejeżdżane rocznie dystanse. Osoby, które pomimo posiadania prawa jazdy przez mniej niż 6 lat jeżdżą bardzo dużo zauważały zwiększoną retrorefleksję równie często jak osoby z większym stażem. Kierowcy mający prawo jazdy od dawna, ale jeżdżący niewiele, rzadko zauważali nowe oznakowanie, chociaż należy

Tabela 8

Zauważalność oznakowania o zwiększonej odblaskowości przez kierowców z różnym stażem i różnym doświadczeniem praktycznym						
Posiadanie prawa jazdy	Krócej niż 6 lat		6-20 lat		Ponad 20 lat	
Rocznie przejeżdżana odległość	Zauważono	Nie zauważono	Zauważono	Nie zauważono	Zauważono	Nie zauważono
poniżej 2000 km	21 (55%)	17 (45%)	3 (100%)	0 (0%)	2 (67%)	1 (33%)
2000–10 000 km	14 (67%)	7 (33%)	8 (73%)	3 (27%)	2 (50%)	2 (50%)
10 000–30 000 km	5 (63%)	3 (38%)	8 (73%)	3 (27%)	4 (80%)	1 (20%)
powyżej 30 000 km	3 (75%)	1 (25%)	6 (86%)	1 (14%)	5 (71%)	2 (29%)
Razem:	43 (61%)	28 (39%)	25 (78%)	7 (22%)	13 (68%)	6 (32%)

Źródło: opracowanie własne

zaznaczyć, iż ich próba była niewielka. Nie zmierzono statystycznie znaczących różnic pomiędzy płciami, co świadczy o wpływie doświadczenia a nie płci na zdolność do świadomego zaobserwowania zwiększonej odblaskowości.

Ponieważ mikrokule użyte w systemie eksperymentalnym dostarczyły zwiększonej odblaskowości zarówno w warunkach suchych jak i na mokro (tabela 3), sprawdzono, czy użytkownicy dróg rzeczywiście zaobserwowali tę odblaskowość w czasie nocnej jazdy w deszczu czy mżawce. Zgodnie z oczekiwaniami, bardzo znacząca część respondentów zaobserwowała poprawę widoczności (tabela 9): 88% mężczyzn i 81% kobiet zauważyło poprawę widoczności, czyli znacznie więcej niż w wypadku odblaskowości na sucho (tabela 6). Wielu respondentów nie odpowiedziało, z czego można wnioskować, że nie podróżowali testowym odcinkiem w taką pogodę.

Minimalna widoczność oznakowania przy dopuszczalnej prędkości 90 km/h powinna wynosić 62,5 m (przyjmując 2,5 s jako wymagany czas reakcji). Badania pokazały, że taką widoczność można w praktyce uzyskać, gdy odblaskowość w czasie deszczu (uwzględniając efekt zmniejszonej widoczności spowodowanej opadem atmosferycznym) wynosi powyżej 68 mcd/m<sup>2</sup>/lx [23]. Dlatego odblaskowość uzyskana przy zastosowaniu eksperymentalnego znakowania powinna być nie tylko pozytywnie odbierana przez kierujących, ale przede wszystkim poprawić bezpieczeństwo

Tabela 9

Obserwacja zwiększonej widoczności nowego oznakowania w czasie jazdy nocnej w deszczu czy mżawce, z podziałem na częstość podróży i płeć respondentów										
Jak często jechał/a Pan/i po zmroku przez testowy odcinek w deszczu czy mżawki?	Częstość podróży			Tak			Nie			
	Płeć	K	M	K+M	K	M	K+M	K	M	K+M
Ponad 4 razy w tygodniu		9	17	26	8	15	23	1	2	3
1-3 razy w tygodniu		20	28	48	14	22	36	6	6	12
Rzadziej niż raz w tygodniu		24	22	46	21	22	43	3	0	3
Razem		53	67	120	43	59	102	10	8	18

Źródło: opracowanie własne

ruchu w niekorzystnych warunkach pogodowych. Nie znaleziono opublikowanych wyników badań naukowych korelujących odblaskowość na mokro z ilością i skutkami wypadków drogowych, ale należy przypuszczać, że efekty powinny być podobne albo większe niż zmierzono w stosunku do odblaskowości na sucho [8].

Na koniec, zapytano czy zastosowanie oznakowania poziomego o wysokiej odblaskowości będzie miało wpływ na zwiększenie bezpieczeństwa ruchu drogowego: 132 osoby (85%) przyznało, iż takie rozwiązanie powinno rzeczywiście poprawić bezpieczeństwo, podczas gdy tylko 9 osób (6%) miało przeciwną opinię a 15 respondentów (10%) nie miało zdania. Odpowiedzi te mogą świadczyć o podświadomym odczuciu zwiększonego bezpieczeństwa na wyraźnie oznakowanych drogach [24].

## Podsumowanie

Poziom bezpieczeństwa ruchu drogowego w Polsce, pomimo systematycznej poprawy w ciągu ostatniej dekady, jest ciągle bardzo niski. Szczególnie poważne są wypadki mające miejsce w porze nocnej na drogach nieoświetlonych. Do infrastruktury poprawiającej bezpieczeństwo ruchu drogowego należy poziome oznakowanie dróg, które w nocy jest widoczne dzięki odblaskowości uzyskiwanej przy pomocy mikrokul szklanych. W celach badawczych na dwukilometrowym odcinku dwupasmowej krętej drogi krajowej zastosowano system oznakowania poziomego o wysokiej odblaskowości. Pomiar instrumentalny pokazały, że odblaskowość po trzech miesiącach użytkowania wyniosła na sucho średnio ponad 500 mcd/m<sup>2</sup>/lx przy normie 100 mcd/m<sup>2</sup>/lx a na mokro powyżej 100 mcd/m<sup>2</sup>/lx. System kontrolny stracił w tym okresie całą odblaskowość na mokro. Efekt ten uzyskano dzięki zastosowaniu mikrokul szklanych SolidPlus.

Przedstawione tutaj badania ankietowe przeprowadzone na grupie 156 kierowców, którzy podróżowali po zmroku testowym odcinkiem pokazały, że 64% z nich zauważyło wprowadzenie oznakowania poziomego o zwiększonej odblaskowości. Najczęściej obserwację tę odnotowano pośród osób jeżdżących odcinkiem testowym codziennie oraz

kierowców jeżdżących dużo (powyżej 10 000 km rocznie) i posiadających prawo jazdy od 6–20 lat, co może być spowodowane ich większą spostrzegawczością czynników wpływających na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Wstępna analiza odpowiedzi według płci respondentów pokazała, że 73% mężczyzn, ale tylko 54% kobiet zauważyło nowe oznakowanie. Jednakże, dalsza analiza pokazała, że różnice pomiędzy płciami można przypisać znacznie mniejszym dystansom średnio przejeżdżanym przez kobiety: po podziale respondentów według średnio pokonywanych dystansów różnica między płciami okazała się nieznacząca.

Poprawę widoczności oznakowania w czasie deszczu czy mżawki zauważyło aż 88% mężczyzn i 81% kobiet. Taka dobra percepcja jest najprawdopodobniej spowodowana ponad trzykrotnym wzrostem odbłaskowości w porównaniu z systemem kontrolnym. Badania pokazały, że użytkownicy dróg wskazywali odbłaskowość około 100 mcd/m<sup>2</sup>/lx jako akceptowalne minimum, co w niesprzyjających warunkach pogodowych zostało dostarczone tylko przez mikrokule użyte w systemie eksperymentalnym [25].

Odpowiadający na ankiety nie byli świadomi znacznego zwiększenia ryzyka związanego z jazdą po zmroku, co świadczy o niedostatecznym szkoleniu kierowców.

Wyniki niniejszych badań pokazują, że oznakowanie o zwiększonej odbłaskowości, które jest łatwo osiągalne przy użyciu nowych technologii jest pozytywnie odbierane i uważane przez kierowców. Można stwierdzić, że doświadczenie kierowcy jest wyznacznikiem obserwacji nowego oznakowania. Należy przypuszczać, na podstawie badań pokazujących wpływ odbłaskowości oznakowania standardowego na spadek ilości wypadków, że tego rodzaju oznakowanie przyczyniłoby się znacząco do poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego w porze nocnej na drogach nieoświetlonych. Uzyskanie znaczącej odbłaskowości w warunkach opadów atmosferycznych powinno być dodatkowym czynnikiem poprawiającym bezpieczeństwo. Niestety, obecnie brak jest wystarczających danych, aby naukowo potwierdzić wpływ oznakowania poziomego o wysokiej odbłaskowości na bezpieczeństwo ruchu drogowego, gdyż tego rodzaju rozwiązania rzadko goszczą na drogach.

## Literatura

- Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria Ruchu Drogowego. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2008.
- Lee J. D., *Fifty years of driving safety research*, Human Factors 50, 2008.
- Gaca S., Kieć M., Zielinkiewicz A., *Identyfikacja determinant bezpieczeństwa ruchu w warunkach nocnych ograniczeń widoczności. Sprawozdanie merytoryczne*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków, 2012.
- Plainis S., Murray I. J., Pallikaris I. G., *Road traffic casualties: understanding the night-time death toll*, Injury Prevention 12, 2006.
- Gaca S., *Badania zagrożeń wypadkami drogowymi w nocy*, Logistyka 6, 2011.
- Miller T. R., *Benefit–cost analysis of lane marking*, Transport Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1334, 1992.
- Zwahlen H., Schnell T., *Visibility of road markings as a function of age, retroreflectivity under low-beam and high-beam illumination at night*, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1692, 1999.
- Carlson P., Park E., Kang D., *Investigation of longitudinal pavement marking retroreflectivity and safety*, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2337, 2013.
- Mitrović A., Šćukanec A., Babić D., *Impact of Winter Maintenance on Retroreflection of Road Markings*, Proceedings of International Scientific Conference on Science and Transport Development; Zagreb, Croatia, 12.04.2016.
- Road Safety evolution in the EU*, European Commission, Directorate General for Mobility and Transport, 2016.
- Wypadki drogowe w Polsce w 2016 roku*, Wydział Opiniodawczo-Analityczny Biura Ruchu Drogowego Komendy Głównej Policji, 2017.
- Wycena kosztów wypadków i kolizji drogowych na sieci dróg w Polsce na koniec roku 2015, z wyodrębnieniem średnich kosztów społeczno-ekonomicznych wypadków na transeuropejskiej sieci transportowej*, Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, 2016.
- Nowakowska M., *Logistic models in crash severity classification based on road characteristics*, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2148, 2010.
- Wachnicka J., *Badania czynników wpływających na bezpieczeństwo ruchu drogowego w województwach*, Transport Miejski i Regionalny 4, 2012.
- Neal A., Griffin M. A., *A study of the lagged relationships among safety climate, safety motivation, safety behavior, and accidents at the individual and group levels*, Journal of Applied Psychology 91, 2006.
- Burghardt T. E., Pashkevich A., Żakowska L., *Influence of Volatile Organic Compounds Emissions from Road Marking Paints on Ground-Level Ozone Formation. Case Study of Kraków, Poland*, Transportation Research Procedia 14, 2016.
- Burghardt T. E., Babić D., Babić D., *Application of waterborne road marking paint in Croatia: Two years of road exposure*, Proceedings of International Conference on Traffic and Transport Engineering; Belgrade, Serbia, 24–25.11.2016.
- Babić D., Burghardt T. E., Babić D., *Application and Characteristics of Waterborne Road Markings Paint*, International Journal for Traffic and Transport Engineering 5, 2015.
- Burghardt T. E., Pashkevich A., Żakowska L., *Contribution of solvents from road marking paints to tropospheric ozone formation*, Budownictwo i Architektura 15, 2016.
- Shaughnessey J. J., Zechmeister E. B., Zechmeister J. S., *Research Methods in Psychology*, 9th Ed. New York, NY: The McGraw-Hill Companies, Inc, 2012.
- Pashkevich A., Burghardt T. E., Żakowska L., Nowak M., Koterbicki M., Piegza M., *Highly Retroreflective Horizontal Road Markings: Drivers' Perception*, Proceedings of International Conference on Traffic Development, Logistics and Sustainable Transport "New Solutions and Innovations in Logistics and Transportation"; Opatija, Croatia, 1–2.06.2017.
- Charlton S. G., Starkey N. J., *Driving on familiar roads: Automaticity and inattention blindness*, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior 19, 2013.
- Burns D., Hodson N., Haunschild D., May D., *Pavement marking photometric performance and visibility under dry, wet, and rainy conditions: Pilot field study*, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1973, 2006.
- Żakowska L., *Dynamic road view research for road safety and aesthetics evaluation*, „Journal of Geometry and Graphics” 1, 1997.
- Loetterle F., Beck R., Carlson J., *Public perception of pavement-marking brightness*, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1715, 2000.