



TOMASZ E. BURGHARDT

M. Swarovski Gesellschaft m.b.H.
tomasz.burghardt@swarco.com



ANTON PASHKEVICH

Politechnika Krakowska
apashkevich@pk.edu.pl



MARIO FIOČIĆ

University of Zagreb
mario.fioalic@fpz.hr

Podwyższona trwałość i wysoka odblaskowość poziomego oznakowania dróg – doświadczenia ze Szwajcarii i z Chorwacji

Poziome oznakowanie dróg jest jednym z najważniejszych czynników infrastrukturalnych wpływających na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Jest to związane z jego rolą wyznaczającą tor jazdy dla kierowcy. Badania naukowe dowiodły bezspornie, że obecność linii krawędziowych i segregacyjnej w sposób znaczący poprawia utrzymanie pasa ruchu, co wpływa na zmniejszenie liczby wypadków [1]. Poziome oznakowanie dróg jest jednym z najtańszych i najskuteczniejszych rozwiązań poprawiających bezpieczeństwo ruchu drogowego. Szczegółowa analiza statystyczna pokazała, że przeciętne korzyści finansowe płynące z redukcji liczby wypadków drogowych są sześćdziesięciokrotnie większe od kosztów wykonania i utrzymania oznakowania poziomego [2].

Największe ryzyko wypadku drogowego istnieje w porze nocnej na drogach nieoświetlonych. Na takich drogach liczba wypadków jest nieproporcjonalnie wysoka w porównaniu do natężenia ruchu a liczba osób zabitych przypadających na jeden wypadek jest znacznie większa niż w ciągu dnia [3].

W tabeli 1 przedstawiono liczbę wypadków drogowych i ich ofiar śmiertelnych w Polsce w roku 2016, z podziałem na porę dnia i oświetlenie drogi. W porze nocnej na drogach nieoświetlonych miało miejsce 8,1% wypadków, ale pochłonęły one aż 22,6% wszystkich ofiar śmiertelnych. Średnio w porze nocnej przypadała jedna ofiara śmiertelna na 4 wypadki drogowe, podczas gdy w porze dziennej była to jedna osoba zabita na 14 wypadków [4]. Obliczono, że koszty wypadków i kolizji drogowych w Polsce w roku 2015 wyniosły aż 48,2 mld złotych, czyli 2,7% naszego produktu krajowego brutto [5].

W nocy poziome oznakowanie dróg jest widoczne dzięki odblaskowości, uzyskiwanej przy pomocy posypki mikrokul szklanych. Właśnie odblaskowość jest odbierana

Tabela 1. Zestawienie danych o wypadkach drogowych w Polsce w 2016 roku (opracowanie na podstawie [4])

Oświetlenie	Wypadki	Zabici	Zabici na 1 000 wypadków	
W dzień	23 432 (69,6%)	1 654 (54,7%)	70,6	
W okresie zmroku i świtu	2 364 (7,0%)	269 (8,9%)	113,8	
W nocy	Drogi oświetlone	5 150 (15,3%)	419 (13,8%)	81,4
	Drogi nieoświetlone	2 718 (8,1%)	684 (22,6%)	251,7
Suma	33 664	3 026	89,9	

przez kierowców jadących w ciemności, gdy dostępność innych informacji wizualnych jest ograniczona [6]. Analizy statystyczne przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych dowiodły, że zwiększenie powierzchniowego współczynnika odbłasku R_L poziomego oznakowania dróg o 100 $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ może się przełożyć na obniżenie liczby wypadków w porze nocnej na odcinkach dróg pomiędzy skrzyżowaniami nawet o 23% [7]. Badania opinii kierowców na temat percepcji odblaskowości znacznie wyższej niż standardowa potwierdziły, że jest ona zauważana i odbierana bardzo pozytywnie [8].

Utrzymywanie wysokiej odblaskowości jest więc konieczne. W Polsce wymagania dotyczące odblaskowości zostały ustalone na mocy rozporządzenia Ministra Infrastruktury i są uzależnione od klasy drogi (tabela 2). Zwykle zarządcy dróg, w specyfikacjach technicznych przetargów, wymagają nieznacznie wyższych wartości początkowych, ale dopuszczają spadek odblaskowości do poziomów niższych niż dozwolone w rozporządzeniu. Wymagania te, nawet w wypadku autostrad, są na znacznie niższym poziomie niż pozwalają na to obecne możliwości technologiczne.

Tabela 2. Wymagania odblaskowości oznakowania poziomego w Polsce (wg [18])

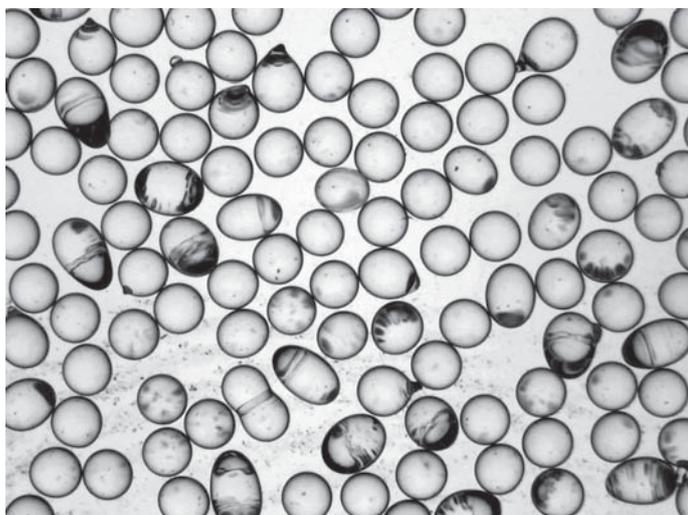
Klasa drogi	Wartość R_L
Autostrady	200 $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$
Drogi ekspresowe	150 $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$
Pozostałe drogi	100 $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$
Oświetlone drogi miejskie	–

Mikrokule szklane

Odblaskowość poziomego oznakowania dróg uzyskuje się przez posypkę mikrokul szklanych. Mikrokule zabezpieczają powierzchnię farby czy innych materiałów znakujących przed ścieraniem, więc są jednym z głównych czynników wpływających na trwałość oznakowania. Mikrokule są pokrywane powłokami chemicznymi zapewniającymi odpowiednią adhezję do farb oraz, jeśli jest to konieczne, mieszane z materiałami antypoślizgowymi. Standardy jakościowe mikrokul szklanych i materiałów antypoślizgowych są określone w normie PN-EN 1423:2012.

Typowe mikrokule, zwykle o średnicy 100–850 μm , uzyskuje się ze zmielonej stłuczki szklanej. Szkło okienne jest kruszone do odpowiedniej grubości a następnie poddawane krótkotrwałej obróbce termicznej w specjalnych pionowych piecach, gdzie w temperaturze około 1200°C z nieregularnych kawałeczków powstają kuliste elementy. Indeks załamania światła uzyskanych w ten sposób mikrokul wynosi 1,5. Ważną normą dotyczącą mikrokul jest ich krągłość, która powinna być powyżej 80%. Zawartość metali ciężkich takich jak antymon, arsen czy ołów nie powinna przekraczać 200 mg/kg. Wykorzystanie tego rodzaju mikrokul do posypki farby białej pozwala na uzyskanie początkowej odblaskowości o współczynniku odbłasku R_L sięgającemu około 350 $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$. Na fotografii nr 1 zaprezentowano mikroskopowy obraz frakcji 630–700 μm standardowych mikrokul szklanych o wysokiej jakości. Widoczne są okazjonalne niedoskonałości kształtu i pojedyncze przypadki przylegających odłamków.

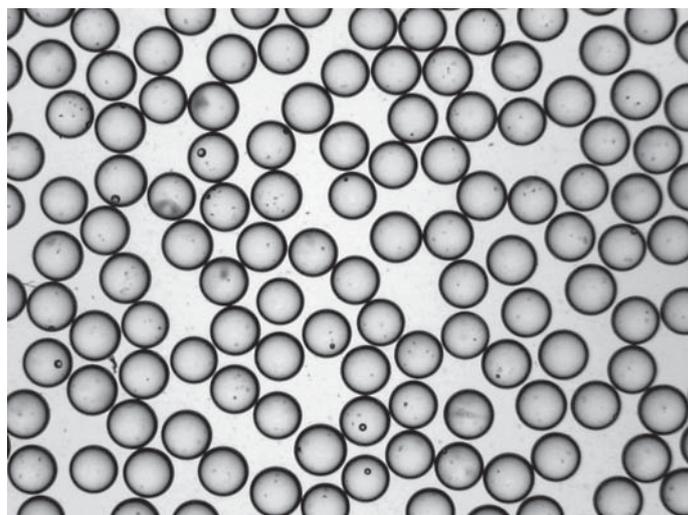
Zdarzają się mikrokule o niskiej jakości, nieprawidłowo uformowane, z przyczepionymi odłamkami i często z pęcherzykami powietrza albo z obniżoną przejrzystością. Mikrokule niskiej jakości nie powinny być używane, gdyż nie dają możliwości uzyskania odpowiedniej odblaskowości. Zdarza się także, iż mikrokule takie nie spełniają także norm dotyczących zawartości metali ciężkich, co znacząco zwiększa ich negatywne oddziaływanie na środowisko naturalne [9].



Fot. 1. Standardowe mikrokule szklane o wysokiej jakości, frakcja 630–700 μm (źródło: M. Swarovski Gesellschaft m.b.H.)

Współczesnym rozwiązaniem technologicznym jest podwyższenie współczynnika załamania światła, do około 1,6. Taka modyfikacja nie zmienia klasyfikacji mikrokul, które wg normy PN-EN 1423:2012 ciągle należą do klasy A, ale znacząco wpływa na uzyskiwaną odblaskowość i inne parametry. W celu uzyskania pożądanego efektu, mikrokule mają w swoim składzie chemicznym związki tytanu, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie zwiększonej odporności na ścieranie oraz podwyższenie odblaskowości. Produkcja tego rodzaju mikrokul możliwa jest wyłącznie z surowców podstawowych, a przy ściśle kontrolowanych parametrach produkcji ich krągłość przekracza zwykle 90%. Użycie mikrokul tego rodzaju jako posypki pozwala na uzyskanie odblaskowości początkowej o powierzchniowym współczynniku odbłasku R_L sięgającemu przy farbie białej nawet powyżej 1000 $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$. Znaczącą jest także odblaskowość przy farbie żółtej, co jest ważnym czynnikiem zwiększającym bezpieczeństwo w rejonach robót drogowych. Dodatkową zaletą nieznacznie podwyższonego współczynnika załamania światła jest możliwość uzyskania odblaskowości na mokro o parametrach zwykle przekraczających 100 $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$. Dzięki zwiększonej odporności na ścieranie, mikrokule tego rodzaju są bardziej trwałe w warunkach drogowych. Na fotografii nr 2 zaprezentowano mikroskopowy obraz frakcji 630–700 μm takich mikrokul szklanych, sprzedawanych pod nazwą handlową **SOLIDPLUS**. Widoczna jest ich znakomita krągłość i doskonałe wykończenie powierzchni. Widoczne smugi i kropki to nie wady powierzchni, ale odbicia światła.

Warto dodać, że mikrokule o wysokim indeksie załamania światła (1,9, czyli należące do klasy C według normy PN-EN 1423:2012) są w stanie dostarczyć odblaskowość o powierzchniowym współczynniku odbłasku R_L sięgającemu na drodze ponad 2000 $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$, ale ich koszt jest bardzo wysoki a trwałość nieproporcjonalnie niska, głównie z powodu niewielkiej odporności na zarysowania. Mikrokule o wysokim indeksie załamania światła są często używane do oznakowania pasów startowych lotnisk i do innych niszowych aplikacji.



Fot. 2. Mikrokule szklane **SOLIDPLUS**, frakcja 630–700 μm (źródło: M. Swarovski Gesellschaft m.b.H.)

Poziome oznakowanie dróg

Do poziomego oznakowania dróg w większości używa się farb, w Polsce głównie opartych na rozpuszczalnikach organicznych. Farby takie są nakładane warstwą około 400 μm (czyli około 0,6 kg/m² przy farbie o gęstości 1,5 g/cm³), z czego po odparowaniu rozpuszczalnika pozostaje około 250 μm . Odparowujący rozpuszczalnik, mieszanina lotnych związków organicznych, powoduje w atmosferze powstawanie ozonu troposferycznego i zwiększanie smogu [10]. Dodatkowo, cienka warstwa oraz niekiedy niskiej jakości farba powodują konieczność corocznej odnowy. Użycie farb wodorozcieńczalnych o najwyższej jakości jest jednym z ekologicznych rozwiązań pozwalających na znaczące zwiększenie trwałości oznakowania cienkowarstwowego na niektórych drogach [11]. Różne inne materiały do poziomego oznakowania dróg zostały niedawno omówione [12].

Na autostradach, drogach ekspresowych i niektórych drogach głównych przeważnie używa się znakowania grubowarstwowego, opartego na masach chemoutwardzalnych na zimno albo nakładanych na gorąco masach termoplastycznych. Znakowanie grubowarstwowe zwykle charakteryzuje się obecnością struktury chaotycznej albo powtarzalnej, która dodatkowo daje efekt wibroakustyczny w razie najechania na nią. Grubość warstwy znakowania strukturalnego zwykle wynosi 2–5 mm, ale bardziej miarodajne jest podawanie nałożonej ilości materiału: 2,0–3,0 kg/m². Olbrzymią zaletą oznakowania strukturalnego jest, oprócz wspomnianego efektu wibroakustycznego, możliwość uzyskania odbłaskowości na mokro (RW) dzięki ułatwionemu odpływowi wody. Zalety te powodują, że znakowanie strukturalne znacząco wpływa na poprawę bezpieczeństwa ruchu drogowego. Jego wadą jest raczej wysoki koszt materiałów i aplikacji, przez co stosowanie takiego rozwiązania na drogach o niewielkim natężeniu ruchu w większości przypadków nie jest stosowane.

Doświadczenia ze Szwajcarii

Oznakowanie doświadczałne zostało wykonane na odcinku 400 m na obu liniach krawędziowych i linii segregacyjnej jednej nitki autostrady o średnim dobowym natężeniu ruchu 36 067 pojazdów. Masa chemoutwardzalna na zimno, Luxorit Structura Premium (Roberit AG; Windish, Szwajcaria) została nałożona w sposób chaotyczny w ilości $\pm 2,20$ kg/m², a do posypki użyto mikrokule szklane o współczynniku załamania światła 1,6, frakcję 300–850 μm , SOLIDPLUS 100 300–850 T18 (M. Swarovski GmbH; Amstetten, Austria) w ilości $\pm 0,45$ kg/m². Pomiary odbłaskowości były wykonywane przez zewnętrzną firmę, przy użyciu zamontowanego na pojeździe retroreflektometru ZDR6020 (Zehntner GmbH; Sissach, Szwajcaria), z uśrednianiem danych co 50 m, zgodnie ze szwajcarskimi normami SN 640 877:2012, SN 640 877-1:2012 oraz SN EN 1436:2001+A1:2008. W tabeli 3 zaprezentowano uśrednione wyniki pomiarów odbłaskowości – powierzchniowych współczynników odbłasku R_L dotyczących wszystkich trzech linii (standardowe odchylenia podano w na-

wiasach), a na rysunku 1 zobrazowano graficznie wyniki oraz porównano odbłaskowości z oznakowaniem cienkowarstwowym zawierającym takiej samej klasy mikrokule szklane.

Tabela 3. Pomiary odbłaskowości w Szwajcarii (znakowanie grubowarstwowe strukturalne); opracowanie własne na podstawie danych z M. Swarovski GmbH oraz z Roberit AG

Pomiar	Powierzchniowy współczynnik odbłasku R_L [$\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$]	Spadek odbłaskowości (względem początkowej)	Pozostała odbłaskowość	Spadek odbłaskowości (rok do roku)
Początkowy	952 (148)	–	100%	–
1 rok	543 (158)	43%	57%	43%
2 lata	532 (176)	44%	56%	2%
3 lata	433 (109)	55%	45%	19%
4 lata	315 (71)	67%	33%	27%

Na odcinku doświadczałnym uzyskano bardzo wysoką początkową odbłaskowość, co jest normalne przy prawidłowo osadzonych mikrokulach tego rodzaju. Po początkowym spadku odbłaskowości o 43% dalsze roczne spadki nie były tak dramatyczne. Rezultaty po czterech latach użytkowania (czyli po okresie, gdy przez odcinek testowy przejechało ponad 26 milionów pojazdów) były znakomite: powierzchniowy współczynnik odbłasku R_L wyniósł średnio 315 $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$, czyli odbłaskowość była na poziomie zwykle osiąganym początkowo przy zastosowaniu standardowych mikrokul szklanych. Nie jest wiadome czy znaczący spadek odbłaskowości w ciągu pierwszego roku użytkowania był zjawiskiem naturalnym, czy też związanym ze zwiększoną liczbą pługów śnieżnych. Analizy dowiodły, że jedno odśnieżanie może być odpowiedzialne za utratę nawet 6 $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ [13].

Doświadczenia z Chorwacji

Szczegółowe wyniki z przedstawionych pomiarów dokonanych w Chorwacji zostały przedstawione w [11]. W artykule podane są wybrane dane zbiorcze umożliwiające porównanie odbłaskowości uzyskanej w znakowaniu cienkowarstwowym i grubowarstwowym z tymi samymi mikrokulami szklanymi. Oznakowanie doświadczałne zostało wykonane na dwóch 100-metrowych odcinkach linii segregacyjnej na drodze głównej dwupasmowej w okolicach Zagrzebia, o średnim dobowym natężeniu ruchu 7636 pojazdów. Farby wodorozcieńczalne Limboroute® W15 oraz Limboroute® W13 (Swarco Limburger Lackfabrik GmbH; Diez, Niemcy) zostały nałożone warstwą ± 550 μm ($\pm 0,85$ kg/m²), pomimo planowanej aplikacji tylko ± 400 μm (czyli $\pm 0,65$ kg/m²). Odbłaskowość uzyskano dzięki posypce mikrokul szklanych o zwiększonym współczynniku załamania światła, zawierających 30% materiałów antypoślizgowych, SOLIDPLUS 100 200-800 T15 M30 (M. Swarovski GmbH; Amstetten, Austria) w ilości $\pm 0,40$ kg/m². Pomiary odbłaskowości były dokonywane przez Uniwersytet w Zagrzebiu

przy użyciu takiego samego sprzętu i parametrów jakie zastosowano w Szwajcarii.

Tabela 4. **Pomiary odblaskowości w Chorwacji** (znakowanie cienkowarstwowe); opracowanie własne, na podstawie danych z M. Swarovski GmbH oraz z Uniwersytetu w Zagrzebiu

Pomiar	Powierzchniowy współczynnik odblasku R_L [$\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$]	Spadek odblaskowości (względem początkowej)	Pozostała odblaskowość	Spadek odblaskowości (rok do roku)
Początkowy	611 (108)	–	100%	–
1 rok	598 (89)	2%	98%	2%
2 lata	411 (81)	31%	67%	33%

W tabeli 4 zamieszczono wyniki pomiarów, uśrednione dla obu farb, w nawiasach podano standardowe odchylenia. Na rysunku 1 porównano wyniki dotyczące obu rodzajów oznakowania. Początkowo uzyskana odblaskowość była znacznie niższa niż w wypadku znakowania strukturalnego, co było najprawdopodobniej spowodowane zbyt głębokim zatopieniem mikrokul w farbie, które nie pozwoliło na właściwą ekspozycję mikrokul i uzyskanie maksymalnej odblaskowości. Bardzo nieznaczny spadek odblaskowości w ciągu pierwszego roku użytkowania potwierdza tę tezę. Po dwóch latach eksploatacji, oznakowanie straciło tylko 1/3 początkowej odblaskowości, co pozwoliło na uzyskanie powierzchniowego współczynnika odblasku R_L o wartości ponad 400 $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$, czyli więcej niż jest możliwe do uzyskania przy nowym znakowaniu i standardowych mikrokulach. Różnice pomiędzy badanymi farbami wodorozcieńczalnymi były nieznaczne, ale przy użytych mikrokulach nieznaczne [11]. Większych różnic należało się spodziewać w ciągu dalszego użytkowania oznakowania. Podobne wyniki trwałości uzyskano przy pomiarach linii poprzecznych, gdzie możliwy był w dokładny pomiar liczby pojazdów, które najechały na oznakowanie [14]. Niestety, badania musiały zostać zakończone po dwóch latach ze względu na wymagania lokalnego zarządcy drogi. Zaznaczyć należy, że ze względu na łagodne bałkańskie zimy, zniszcze-

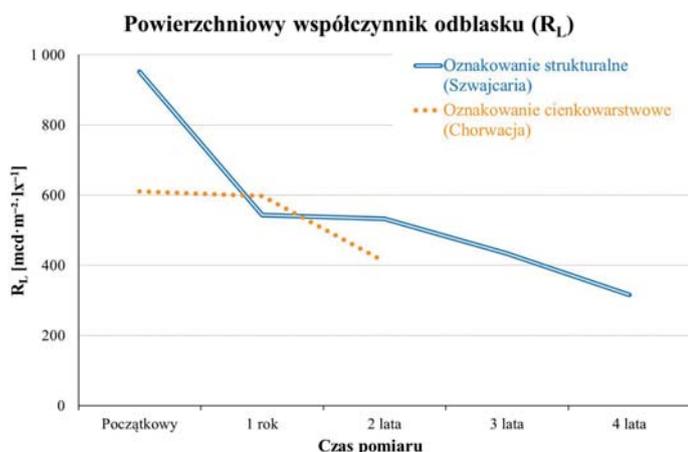
nia spowodowane odśnieżaniem zostały zminimalizowane. W warunkach intensywnej akcji zimowego utrzymania, przy ponad 220 przejazdach pługów śnieżnych, utrzymanie tak wysokiej odblaskowości nie było możliwe z powodu mechanicznego uszkodzenia mikrokul [15].

Podsumowanie

Dzięki zastosowaniu wysokiej jakości masy chemoutwardzalnej na zimno z posypką mikrokul szklanych najwyższej klasy możliwe było uzyskanie pięcioletniego systemu oznakowania spełniającego na autostradzie szwajcarskie normy odblaskowości. Początkowy powierzchniowy współczynnik odblasku R_L przekraczający średnio 950 $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ po czterech latach użytkowania, przy średnim natężeniu ruchu przekraczającym 36 tysięcy pojazdów na dobę, spadł do 315 $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ (pozostało 33% początkowej wartości). Tak wysoka trwałość systemu mogła zostać uzyskana tylko dzięki bardzo wysokiej początkowej odblaskowości i odporności mikrokul na zarysowania. Podobnie doskonałe wyniki, wysoką odblaskowość i nie mniej niż dwuletnią trwałość, otrzymano w Chorwacji, przy znakowaniu cienkowarstwowym farbami wodorozcieńczalnymi, z posypką takich samych mikrokul.

Wysoka odblaskowość przekłada się na zmniejszoną liczbę wypadków, co zostało statystycznie dowiedzione [7]. Wypadkowość jest czynnikiem kontrolującym w analizach finansowych dotyczących utrzymania dróg [2], [16]. Dodatkową zaletą stosowania tego rodzaju współczesnych rozwiązań technologicznych jest ich przyjazność dla środowiska naturalnego, gdyż zostało udowodnione w analizie cyklu życia oznakowań drogowych, iż trwałość systemu jest najważniejsza [17]. Przeprowadzona analiza kosztów wykazała także, że zwiększenie trwałości znakowania poziomego prowadzi do długoterminowych oszczędności finansowych, pomimo większych początkowych nakładów, nawet nie uwzględniając zysków osiąganych dzięki redukcji liczby wypadków [15].

Wyniki przedstawione w niniejszym artykule są dowodem, iż nie jest konieczne coroczne odnawianie oznakowania poziomego dróg, nawet na odcinkach o dużym natężeniu ruchu, jeżeli zachowane są odpowiednie parametry jakościowe wykonania oraz użyte są odpowiednie materiały a lokalne uwarunkowania nie spowodują mechanicznych zniszczeń. Administratorzy dróg powinni rozważyć wymagania większej trwałości i większej odblaskowości jako metod służących zwiększeniu bezpieczeństwa ruchu drogowego, gdyż w porównaniu do bardzo wysokich kosztów wypadków drogowych, nakłady na oznakowanie najwyższej klasy o wysokiej odblaskowości są wydatkiem nieznaczącym. Jednocześnie przedsiębiorstwa wykonujące oznakowanie poziome winny być świadome, że w przypadku kontraktów utrzymaniowych możliwe są oszczędności długoterminowe, pomimo zwiększonych jednorazowych nakładów. Mikrokuły typu SOLIDPLUS mogą być mieszane ze standardowymi, więc możliwe jest uzyskiwanie całej gamy odblaskowości i nieco zwiększonej trwałości pozwalającej na unikanie konieczności wykonywania robót gwarancyjnych. Należy jed-



Rys. 1. Trwałość oznakowania grubowarstwowego strukturalnego i cienkowarstwowego z mikrokulami szklanymi najwyższej jakości

nak pamiętać, że tylko jednoczesne użycie wysokiej jakości farb czy masy chemoutwardzalnej na zimno i mikrokul szklanych o odpowiednich charakterystykach pozwala na uzyskanie wyników tak dobrych jak przedstawione w artykule.

Podziękowania

Wyrazy podziękowania dla Matthiasa Eisenbauera (M. Swarovski GmbH) za fotografie mikrokul szklanych oraz dla prof. Anđelko Šćukanca, dr. Darko Babicia i Dario Babicia (Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu) za pracę wykonaną przy pomiarach.

Bibliografia

- [1] Steyvers, F. J.; De Waard, D. 2000. Road-edge delineation in rural areas: effects on driving behaviour. *Ergonomics*, 43(2), 223-238; DOI 10.1080/001401300184576.
- [2] Miller, T. R. 1992. Benefit-cost analysis of lane marking. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1334, 38-45.
- [3] Plainis, S.; Murray, I.; Pallikaris, I. 2006. Road traffic casualties: understanding the night-time death toll. *Injury Prevention*, 12(2), 125-138; DOI 10.1136/ip.2005.011056.
- [4] Komenda Główna Policji, 2017. *Wypadki drogowe w Polsce w 2016 roku*. Wydział Opiniodawczo-Analityczny Biura Ruchu Drogowego Komendy Głównej Policji.
- [5] Krajowa Rada Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego, 2016. *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*.
- [6] Zwahlen, H.; Schnell, T. 1999. 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, 152-163.
- [7] Carlson, P.; Park, E.; Kang, D. 2013. Investigation of longitudinal pavement marking retroreflectivity and safety. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2337, 59-66.
- [8] Burghardt, T. E.; Pashkevich, A.; Piegza, M. 2017. Percepcja przez kierowców poziomego oznakowania dróg o wysokiej odbliaskowości. *Transport Miejski i Regionalny*, 8, 5-10.
- [9] Sandhu, N. K.; Axe, L.; Ndiba, P. K.; Jahan, K. 2013. Metal and metalloid concentrations in domestic and imported glass beads used for highway marking. *Environmental Engineering Science*, 30(7), 387-392; DOI 10.1089/ees.2013.0023.
- [10] Burghardt, T. E.; Pashkevich, A.; Żakowska, L. 2016. Contribution of solvents from road marking paints to tropospheric ozone formation. *Budownictwo i Architektura*, 15, 7-18.
- [11] Babić, D.; Burghardt, T. E.; Babić, D. 2016. Application of Waterborne Road Marking Paint in Croatia: Two Years of Road Exposure. In *Proceedings of International Conference of Transport and Traffic Engineering*; Belgrade, Serbia, 24-25 November 2016: 1092-1096.
- [12] Babić, D.; Burghardt, T. E.; Babić, D. 2015. Application and Characteristics of Waterborne Road Marking Paint. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 5, 150-169; DOI 10.7708/ijtte.2015.5(2).06.
- [13] Mitrović, A.; Šćukanec, A.; Babić, D. 2016. Impact of Winter Maintenance on Retroreflection of Road Markings. In *Proceedings of International Scientific Conference "Perspectives on Croatian 3PL Industry in Acquiring International Cargo Flows"*; Zagreb, Croatia, 12.04.2016: 119-127.
- [14] Burghardt, T. E.; Šćukanec, A.; Babić, D.; Babić, D. 2017. Durability of Waterborne Road Marking Systems with Various Glass Beads. In *Proceedings of International Conference on Traffic Development, Logistics and Sustainable Transport "New Solutions and Innovations in Logistics and Transportation"*; Opatija, Croatia, 1-2 June 2017: 51-58.
- [15] Burghardt, T. E.; Pashkevich, A.; Fiolčić, M.; Żakowska, L. 2018. Horizontal Road Markings with High Retroreflectivity: Durability, Environmental, and Financial Considerations. In *Proceedings of 7th Transport Research Arena TRA 2018*; Vienna, Austria, 16-19 April 2018: in press.
- [16] Abboud, N.; Bowman, B. L. 2002. Cost-and longevity-based scheduling of paint and thermoplastic striping. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1794, 55-62; DOI 10.3141/1794-07.
- [17] Burghardt, T. E.; Pashkevich, A.; Żakowska, L. 2016. Influence of Volatile Organic Compounds Emissions from Road Marking Paints on Ground-level Ozone Formation: Case Study of Kraków, Poland. *Transportation Research Procedia*, 14, 714-723; DOI: 10.1016/j.trpro.2016.05.338.
- [18] 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).

Zapraszamy do prenumerowania DROGOWNICTWA w 2018 roku

prenumerata roczna normalna 250 zł	}	(w tym 5% VAT)
cena 1 egzemplarza 21 zł		
prenumerata roczna studencka 125 zł	}	(w tym 5% VAT)
cena 1 egzemplarza 10,50 zł		

Uprzejmie informujemy Szanownych Prenumeratorów, że egzemplarze „Drogownictwa” oraz faktury będą wysyłane po przesłaniu zamówienia na adres prenumerata.drogownictwo@sitkrp.org.pl oraz po wpłaceniu należnej kwoty na nasze konto:

38 1160 2202 0000 0000 2741 3872

**Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Zarząd Krajowy
ul. Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa**

Redakcja