

mgr Paweł Skierczyński¹⁾*)

ORCID: 0000-0002-0912-5163

mgr inż. Rafał Lusa¹⁾

ORCID: 0000-0002-7686-6324

mgr inż. Joanna Prasalska-Nikoniuk¹⁾

ORCID: 0000-0003-4216-2238

Solvent-based paints used for temporary road marking with high reflectivity

Farby rozpuszczalnikowe stosowane do tymczasowego oznakowania dróg o wysokiej odbliaskowości

DOI: 10.15199/33/2024.12.13

Abstract. The paper presents national experiences with the test results of reflectivity of temporary road markings applied in temporary traffic organisation. It presents the results of studies on the coefficient of retroreflected luminance RL of temporary markings applied on the national test section of the Road and Bridge Research Institute. The markings were made using solvent-based paints with different types of glass beads used for sprinkling in order to achieve good visibility at night.

The test results obtained allowed it to be concluded that it was possible to carry out the yellow temporary road markings throughout the entire period of anticipated operation. The retroreflected luminance value of one of the evaluated solutions met the requirement of the highest class R5 ($\geq 300 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$) according to PN-EN 1436:2018-02.

Keywords: road markings; temporary road markings; visibility of road markings at night; reflectivity of road markings; coefficient of retroreflected luminance R_L

Horizontal road markings are an important piece of road equipment which has a direct impact on driver safety. Horizontal road markings serve, among other things, to inform drivers about:

- lane routing,
- determining the carriageway gauge,
- the ban on overtaking,
- the pedestrian crossing,
- the priority right.

Horizontal markings should be visible in all weather conditions. Temporary road markings are a special type of road markings that, due to their function in temporary traffic organisation, in addition to a high level of visibility during day and night and a high level of skid resistance of vehicles, cyclists and pedestrians should be characterised by ease of removal [1]. In Poland, solvent-based paints and reflective tapes are commonly used for temporary markings. Due to the economic aspect, solvent-based paints are most often used, especially on roads with the lower technical classes in accordance with the

Streszczenie. Artykuł przedstawia krajowe wyniki badania odbliaskowości tymczasowego poziomego oznakowania dróg, stosowanego w czasowej organizacji ruchu, w tym badania współczynnika odbliasku R_L oznakowania tymczasowego, zaplanowanego na odcinku doświadczalnym Instytutu Badawczego Dróg i Mostów. Oznakowanie wykonano przy użyciu farb rozpuszczalnikowych z wykorzystaniem różnego typu kulek szklanych, stosowanych do posypywania powierzchni w celu uzyskania dobrej widoczności w warunkach nocnych.

Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że możliwe jest wykonanie tymczasowego oznakowania poziomego barwy żółtej o wysokiej odbliaskowości w całym okresie przewidywanej eksploatacji. Wartość współczynnika odbliasku jednego z ocenianych rozwiązań spełniała wymaganie najwyższej klasy R5 ($\geq 300 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$) wg PN-EN 1436:2018-02.

Słowa kluczowe: oznakowanie poziome dróg; oznakowanie tymczasowe; widoczność oznakowań poziomych w nocy; odbliaskowość oznakowań poziomych; współczynnik odbliasku.

Oznakowanie poziome jest ważnym elementem wyposażenia drogi, mającym bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo kierowców. Oznakowanie poziome dróg służy m.in. do informowania kierowców:

- o przebiegu pasa ruchu,
- wyznaczeniu skrajni jezdni,
- o zakazie wyprzedzania,
- o przejściu dla pieszych,
- o pierwszeństwie przejazdu.

Oznakowanie poziome powinno być widoczne w każdych warunkach pogodowych. Szczególnym typem tego oznakowania poziomego jest oznakowanie tymczasowe, które ze względu na funkcję w czasowej organizacji ruchu drogowego, oprócz dobrej widoczności w dzień i w nocy oraz wymaganej odporności na poślizg samochodu, rowerzysty i pieszego powinno charakteryzować się łatwością usuwania [1]. W Polsce do wykonywania oznakowania tymczasowego powszechnie stosowane są farby rozpuszczalnikowe oraz taśmy odbliaskowe. Ze względu na aspekt ekonomiczny najczęściej stosowane są farby rozpuszczalnikowe, szczególnie na drogach niższych klas technicznych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-bu-

¹⁾ Instytut Badawczy Dróg i Mostów

^{*)} Correspondence address: pskierczyński@ibdim.edu.pl

Regulation of the Minister of Infrastructure of 24 June 2022 on technical and construction regulations for public roads [2], i.e.: G – Main roads, Z – Service roads, L – Local roads and D – Access road.

Skid resistance is particularly important for large marking areas such as pedestrian crossings; bicycle crossings; conditional stop lines; and symbols.

Markings are considered safe when there the risk of skidding corresponds to a skid resistance value of ≥ 45 SRT for car wheels and ≥ 40 SRT for pedestrian traffic [3÷5] (SRT – Skid Resistance Tester value according to PN-EN 1436-2018-02).

A critical parameter of horizontal markings, which has a major impact on the safety of road use, is their **visibility at night**, described by the **coefficient of retroreflected luminance R_L** [6]. In Poland, temporary markings should be made in yellow and have a minimum coefficient of retroreflected luminance R_L of $100 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$. More than 85% of drivers over the age of 60 indicate this value of coefficient of retroreflected luminance as minimal or sufficient [7]. The level of coefficient of retroreflected luminance R_L has a direct impact on the number of traffic incidents. Studies show that on roads with horizontal marking with a high coefficient of retroreflected luminance R_L , the number of traffic incidents at night is low [8, 9]. Achieving a high level of coefficient of retroreflected luminance R_L for yellow markings is much more difficult than for white [10]. The light absorption of yellow is greater than that of white, so the reflectivity of yellow markings is 20-30% less than that of white markings [11]. The making of high-reflectivity markings depends on the quality of the base material (paint), the selection of suitable glass beads for sprinkling on its surface and the quality of the workmanship [12].

In Poland, the requirements for horizontal marking are set out in the Regulation of the Minister of Infrastructure on detailed technical conditions for road signs and signals and road traffic safety devices and the conditions for their placement on roads [13]. The regulation sets out the minimum requirements for permanent (white) markings on individual road types:

- motorways;
- expressways and other roads.

However, no specific parameters have been defined for day-time and night-time visibility and skid resistance of temporary horizontal road markings. The requirements are specified individually for each project by the road manager in the Technical Specifications for the Execution and Acceptance of Construction Work (STWiORB). As a rule, STWiORB are prepared using the General Technical Specification (OST) [14]. The General Technical Specification specifies the requirements for the retroreflected luminance R_L coefficient of temporary markings depending on the service life:

- $150 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ new markings (from 14 to 30 days after implementation)
- $100 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ in-service markings (1 to 6 months after implementation).

It should be emphasised that a team appointed by the Director of the General Directorate of National Roads and Mo-

dowlanych dotyczących dróg publicznych [2], tj.: G – Główna, Z – Zbiorcza, L – Lokalna i D – Dojazdowa.

Odporność na poślizg ma szczególne znaczenie w przypadku dużych powierzchni oznakowania, takich jak: przejścia dla pieszych; przejazdy rowerowe; linie warunkowego zatrzymania; oraz symbole.

Oznakowanie jest uznawane za bezpieczne wtedy, kiedy ryzyko poślizgnięcia się odpowiada wartości wskaźnika szorstkości ≥ 45 SRT w przypadku kół samochodów oraz ≥ 40 SRT w przypadku ruchu pieszych [3÷5] (SRT – Skid Resistance Tester value wg normy PN-EN 1436-2018-02).

Parametrem krytycznym oznakowania poziomego, mającym główny wpływ na bezpieczeństwo użytkowania dróg, jest jego **widoczność w warunkach nocnych**, opisywana za pomocą **współczynnika odbłasku R_L** [6]. W Polsce tymczasowe oznakowanie powinno być wykonywane o barwie żółtej i charakteryzować się minimalną wartością współczynnika odbłasku R_L na poziomie $100 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$. Ponad 85% kierowców powyżej sześćdziesiątego roku życia wskazuje tę wartość współczynnika odbłasku jako minimalną lub wystarczającą [7]. Poziom współczynnika odbłasku R_L ma bezpośredni wpływ na liczbę zdarzeń drogowych. Badania pokazują, że na drogach z oznakowaniem poziomym o dużym współczynniku odbłasku R_L występuje mała liczba zdarzeń drogowych w nocy [8, 9]. Uzyskanie dużego poziomu współczynnika odbłasku R_L oznakowania żółtego jest znacznie trudniejsze niż w przypadku barwy białej [10]. Absorpcja światła przez barwę żółtą jest większa niż przez barwę białą, dlatego odbłaskowość oznakowania żółtego jest o 20–30% mniejsza od odbłaskowości oznakowania białego [11]. Wykonanie oznakowania o dużej odbłaskowości zależy od jakości materiału bazowego (farby), doboru odpowiednich kulek szklanych do posypywania jego powierzchni oraz poprawności wykonania [12].

W Polsce wymagania dotyczące oznakowania poziomego określone są w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczenia na drogach [13]. W rozporządzeniu tym zostały określone minimalne wymagania dotyczące oznakowania stałego (białego) na poszczególnych rodzajach dróg:

- autostradach;
- drogach ekspresowych oraz pozostałych drogach.

Nie zdefiniowano natomiast szczegółowych parametrów dotyczących widoczności w dzień i w nocy oraz odporności na poślizg tymczasowego oznakowania poziomego dróg. Wymagania określane są indywidualnie, jednostkowo w przypadku każdej inwestycji przez zarządcę drogi w Specyfikacji Technicznej Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych (STWiORB). Z reguły STWiORB opracowywane są z wykorzystaniem Ogólnej Specyfikacji Technicznej (OST) [14]. W OST określono wymagania dotyczące współczynnika odbłasku R_L oznakowań tymczasowych w zależności od okresu użytkowania:

- $150 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ oznakowania nowych (od 14. do 30. dnia po wykonaniu)
- $100 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ oznakowania eksploatowanych (od 1. do 6. miesiąca po wykonaniu).

torways in 2022 has prepared a draft update of the aforementioned regulation, which specifies the requirements of the coefficient of retroreflected luminance R_L for temporary horizontal road markings:

- $150 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ for motorway and expressway markings (throughout lifetime)
- $100 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ for markings on other roads (throughout lifetime).

The aim of the research presented in this paper is to show the feasibility of temporary high-reflectivity horizontal markings over their lifetime. This is made possible by selecting appropriate materials.

Test method

Road measurements by experts from the Road and Bridge Research Institute were carried out on a national test section located in central Poland on national road 92 from km 366+550 to km 367+250 near the town of Kutno (Figure 1, Photo 1). The experimental section is designed to test the durability of horizontal road marking materials. The traffic volume (General Traffic Measurement 2020-2021), measured along the entire road section, is 8767 real vehicles per day, resulting in 4384 real vehicles per lane per day. The roll-over i.e. the number of wheel passages on the markings, was determined by measuring the distribution of wheel passages in the lane cross-section. The pavement texture measured with calibrated sand according to PN-EN 13036:2010 [15] is 0.63 mm (class RG2 according to PN-EN 1824:2021-05 [16]) within the lane and 0.55 mm (class RG1 to PN-EN 1824:2021-05 [16]) on the shoulder. The experimental section consists of sections where horizontal marking materials are tested. Each section contains ten two-metre lines parallel to the direction of travel (nine lines within the lane section are numbered 1 to 9, coun-

Należy podkreślić, że powołany przez Dyrektora Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w 2022 r. zespół przygotował projekt aktualizacji ww. rozporządzenia, w którym zostały określone wymagania współczynnika odbłasku R_L dla tymczasowych oznakowań poziomych dróg:

- $150 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ dla oznakowań na autostradach i drogach ekspresowych (cały okres użytkowania)
- $100 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ dla oznakowań na pozostałych drogach (cały okres użytkowania).

Celem zaprezentowanych w artykule badań jest wskazanie możliwości wykonania tymczasowego oznakowania poziomego o wysokiej odbłaskowości w całym okresie użytkowania. Jest to możliwe przez dobór odpowiednich materiałów.

Metoda badań

Pomiary drogowe wykonane przez ekspertów Instytutu Badawczego Dróg i Mostów zostały przeprowadzone na krajowym odcinku doświadczalnym zlokalizowanym w centralnej Polsce na drodze krajowej nr 92 od km 366+550 do km 367+250 niedaleko miejscowości Kutno (rysunek 1, fotografia 1). Odcinek doświadczalny jest przeznaczony do testowania trwałości materiałów do poziomego oznakowania dróg. Natężenie ruchu (Generalny Pomiar Ruchu 2020–2021), mierzone w całym przekroju drogi, wynosi 8767 pojazdów rzeczywistych na dobę, co daje 4384 pojazdów rzeczywistych na pas na dobę. Przejedność, czyli liczba najazdów kół na oznakowanie, została wyznaczona na podstawie pomiaru rozkładu najazdów kół w przekroju pasa ruchu. Tekstura nawierzchni mierzona piaskiem kalibrowanym wg PN-EN 13036:2010 [15] wynosi 0,63 mm (klasa RG2 wg PN-EN 1824:2021-05 [16]) w pasie ruchu i 0,55 mm (klasa RG1 wg PN-EN 1824:2021-05 [16]) na poboczu. Odcinek doświadczalny składa się z sekcji, na których są testowane materiały do oznakowania poziomego. Każda sekcja zawiera dziesięć dwumetrowych

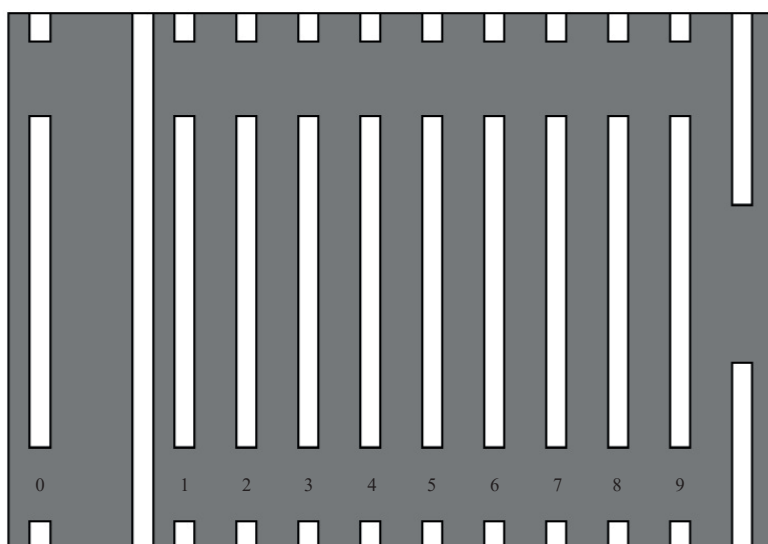


Fig. 1. Section diagram of the National Experimental Section on national road No. 92 with the single line of road marking

Rys. 1. Schemat sekcji Krajowego Odcinka Doświadczalnego na drodze krajowej nr 92 z podziałem na poszczególne linie oznakowania poziomego



Photo 1. National Test Section on national road No. 92 from km 366+550 to km 367+250

Fot. 1. Krajowy Odcinek Doświadczalny na drodze krajowej nr 92 od km 366+550 do km 367+250

ting from the shoulder and one reference line on the shoulder – Figure 1 and Photo 1).

The evaluation of the durability of horizontal road marking products is carried out on the basis of the performance characteristics obtained from the measurement on the lines spread across the lane cross-section. Testing of the temporary markings lasts 3–6 months, until a roll-over class of T0, T1 or T2 according to PN-EN 1824:2021-05 [16] is achieved, which corresponds to < 50 000 vehicle wheel passages per marking; 50 000 to 60 000 vehicle wheel passages per marking and 80 000 to 120 000 vehicle wheel passages per marking. After this period, the performance characteristics of the product are determined, such as daytime visibility, night-time visibility and skid resistance, as a function of the roll-over class.

Study materials

Five yellow-coloured acrylic solvent-based paints with a high solid content, manufactured by three companies, were selected for analysis. The paint recipe is a trade secret of the manufacturers. The selected physical properties were obtained from laboratory tests carried out at the Road Marking Department of the Road and Bridge Research Institute, as well as publicly available documents such as:

- product data sheet,
- material safety data sheet,
- national technical assessment.

Each paint was applied at a separate section of the national experimental section using different glass beads. The number of these beads applied to the marking surface was 0.30 g/m²–0.45 g/m². The physical properties of the materials used for the test applications are presented in Tables 1 and 2.

linii równoległych do kierunku jazdy (9 linii w przekroju pasa ruchu jest numerowanych od 1 do 9, licząc od strony pobocza i jedna linia referencyjna na poboczu – rysunek 1 i fotografia 1).

Ocenę trwałości wyrobów do poziomego oznakowania dróg wykonuje się na podstawie właściwości użytkowych uzyskanych z pomiaru na liniach rozmieszczonych w przekroju pasa ruchu. Badanie oznakowania tymczasowego trwa 3–6 miesięcy, do uzyskania klasy przejeźdności T0, T1 lub T2 wg PN-EN 1824:2021-05 [16], co odpowiada odpowiednio < 50 000 najazdów kół pojazdów na oznakowanie; od 50 000 do 60 000 najazdów kół pojazdów na oznakowanie i od 80 000 do 120 000 najazdów kół pojazdów na oznakowanie. Po tym okresie są określane właściwości użytkowe wyrobu, takie jak: widzialność w dzień, widzialność w nocy oraz odporność na poślizg, w funkcji klasy przejeźdności.

Materiały do badań

Do analizy wybrano 5 akrylowych farb rozpuszczalnikowych barwy żółtej, o dużej zawartości substancji stałych, wyprodukowanych przez 3 firmy. Receptura farb jest tajemnicą handlową producentów. Wybrane właściwości fizyczne uzyskano na podstawie badań laboratoryjnych wykonanych w Zakładzie Oznakowania Dróg Instytutu Badawczego Dróg i Mostów, a także ogólnie dostępnych dokumentów, takich jak:

- karta techniczna,
- karta charakterystyki
- Krajowa Ocena Techniczna.

Każda farba została zaaplikowana na oddzielnej sekcji krajowego odcinka doświadczalnego z użyciem różnych kulek szklanych. Liczba tych kulek zastosowanych na powierzchni oznakowania wynosiła 0,30 g/m²–0,45 g/m². Właściwości fizyczne zastosowanych materiałów do wykonania aplikacji testowych przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Table 1. Selected physical properties of test marking paints

Tabela 1. Wybrane właściwości fizyczne farb do wykonania oznakowań testowych

Property / Właściwość	Paint A / Farba A	Paint B / Farba B	Paint C / Farba C	Paint D / Farba D	Paint E / Farba E
Density [g/cm ³] Gęstość [g/cm ³]	1,59	1,53	1,55	1,54	1,51
Viscosity [KU] Lepkość [KU]	85	83	83	88	82
Non-volatile substance content [%] Zawartość substancji nielotnych [%]	76,4	75,9	75,8	76,0	75,1
Pigment and filler content [%] Zawartość pigmentów i wypełniaczy [%]	60,4	58,6	59,2	58,0	56,8
Binder content [%] Zawartość spoiwa [%]	16,0	17,3	16,6	18,0	18,3
WA content [%] Zawartość WA [%]	4,6	4,9	5,5	1,1	4,5

Table 2. Selected technical properties of glass beads for making test markings

Tabela 2. Wybrane właściwości techniczne kulek szklanych do wykonania oznakowań testowych

Property / Właściwość	Beads I Paint A / Kulki I Farba A	Beads II Paint B / Kulki II Farba B	Beads III Paint C / Kulki III Farba C	Beads IV Paint D / Kulki IV Farba D	Beads V Paint E / Kulki V Farba E	Beads VI Paint E / Kulki VI Farba E
Grain size [μm] / Uziarnienie [μm]	600-125	710-125	850-300	850-125	850-125	850-300
Refractive index Współczynnik załamania światła	1,54-1,65	1,54	1,54 (80%) 1,65 (20%)	1,54	1,54	1,65
Surface treatment Obróbka powierzchniowa	adhesive-flotation- hydrophobic adhezyjno-flotacyjno- hydrofobowa	adhesive adhezyjna	adhesive adhezyjna	adhesive adhezyjna	adhesive adhezyjna	adhesive adhezyjna
Roughener [%] Uszorstniacz [%]	—	—	—	—	—	—

Test methods, results and discussion

Test methods in accordance with PN-EN 1436:2018-02 [17] were used to determine the performance of the temporary horizontal markings.

The performance characteristics, i.e. daytime and night-time visibility and skid resistance, were measured for all the yellow horizontal markings evaluated. This paper focuses on the analysis of reflectivity, which is determined by measuring the coefficient of retroreflected luminance R_L . The coefficient of retroreflected luminance R_L , which determines the visibility of the markings at night, was measured using a DELTA LTL-XL retroreflector. The coefficient of retroreflected luminance R_L is defined as the quotient of the luminous intensity (I) to the product of the sample area (A) and the intensity of light perpendicular to its source (E_{\perp}):

$$R_L = \frac{I}{A \cdot E_{\perp}} = \frac{L}{E_{\perp}}$$

The final form of the formula is taken as the ratio of the observed luminance of the sample (L) and the intensity of the light perpendicular to its source (E_{\perp}) [17, 18]. The unit of coefficient of retroreflected luminance R_L is [$\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$].

The results of the coefficient of retroreflected luminance R_L measurements as a function of roll-over are shown in Figure 2, and the results of the coefficient of retroreflected luminance R_L measurements for each of the nine lines (as shown in Figure 1) are shown in Figure 3.

From the analysis of the data in Figures 2 and 3, it is clear that the most favourable results in terms of coefficient of retroreflected luminance R_L were obtained for the horizontal markings made with paint E with beads with a refractive index of 1.65 (Beads VI). On all nine lines of horizontal markings made with Paint E + Beads VI, coefficient of retroreflected luminance R_L greater than $300 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$ was achieved, i.e. at least three times the minimum requirement level of $100 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$. The results of measurements of the coefficient of retroreflected luminance R_L of horizontal markings made with the same paint E with microbeads with a refractive index of 1.54

Metody, wyniki badań i ich dyskusja

Do określenia właściwości użytkowych tymczasowego oznakowania poziomego zastosowano metody badań zgodnie z PN-EN 1436:2018-02 [17]. W przypadku wszystkich ocenianych oznakowań poziomych barwy żółtej wykonano pomiary właściwości użytkowych, tj. widoczności w dzień i w nocy oraz odporności na poślizg. W artykule skupiono się na analizie odbłaskowości, która jest określana na podstawie pomiaru współczynnika odbłasku R_L . Współczynnik odbłasku R_L określający widoczność oznakowania w nocy został zmierzony za pomocą retroreflektometru DELTA LTL-XL. Współczynnik odbłasku R_L jest definiowany jako iloraz światłości (I) do iloczynu powierzchni próbki (A) i natężenia światła prostopadłego do jego źródła (E_{\perp}):

$$R_L = \frac{I}{A \cdot E_{\perp}} = \frac{L}{E_{\perp}}$$

Ostateczna postać wzoru jest przyjmowana jako stosunek obserwowanej luminancji próbki (L) oraz natężenia światła prostopadłego do jego źródła (E_{\perp}) [17, 18]. Jednostką współczynnika odbłasku (R_L) jest [$\text{mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$].

Wyniki pomiarów współczynnika odbłasku R_L w funkcji przejeźdźności przedstawiono na rysunku 2, a na rysunku 3 wyniki pomiarów współczynnika odbłasku R_L w przypadku każdej z dziewięciu linii (zgodnie z rysunkiem 1).

Z analizy danych przedstawionych na rysunkach 2 i 3 jednoznacznie wynika, że najkorzystniejsze wyniki współczynnika odbłasku R_L uzyskano w przypadku oznakowania poziomego wykonanego farbą E z kulkami o współczynniku załamania światła 1,65 (Kulki VI). Na wszystkich dziewięciu liniach oznakowania poziomego wykonanego farbą E + Kulki VI uzyskano współczynnik odbłasku R_L większy niż $300 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$, tj. co najmniej trzykrotnie większy od minimalnego poziomu wymagań, tj. $100 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$. Wyniki pomiarów współczynnika odbłasku R_L oznakowania poziomego wykonanego tą samą farbą E z mikrokulkami o współczynniku załamania światła 1,54 (Kulki V) są również bardzo dobre (1,5–2 razy większe od minimalnego poziomu wymagań $100 \text{ mcd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-1}$).

(Beads V) are also very good (1.5-2 times the minimum requirement of $100 \text{ mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$).

It should also be emphasised that during the test period of the horizontal markings, the obtained values of coefficient of retroreflected luminance R_L , in the case of the roll-over 50,000–30,000 vehicle wheel passages on markings, did not vary significantly. The reflectivity of the markings was stable and did not change significantly depending on the traffic load.

The markings made with Paint A + Beads I and Paint C + Beads III did not meet the minimum retroreflected luminance R_L coefficient requirement of $100 \text{ mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$. Mixed glass beads with refractive indices of 1.54 and 1.65 were used to make these markings.

Taking into account the test results presented, it was concluded that the properties of the glass beads, especially their refractive index, affect the level of reflectivity of the markings. However, this is not a sufficient condition, as shown by the results obtained for A and C paints. In order to ensure a sufficient level of coefficient of retroreflected luminance R_L and the durability of this parameter, the retention of glass beads in horizontal markings is important. This is corroborated by the macroscopic picture of the marking shown in Photo 2, indicating good bead retention in the paint. The photo was taken at the line of the markings under test located in the

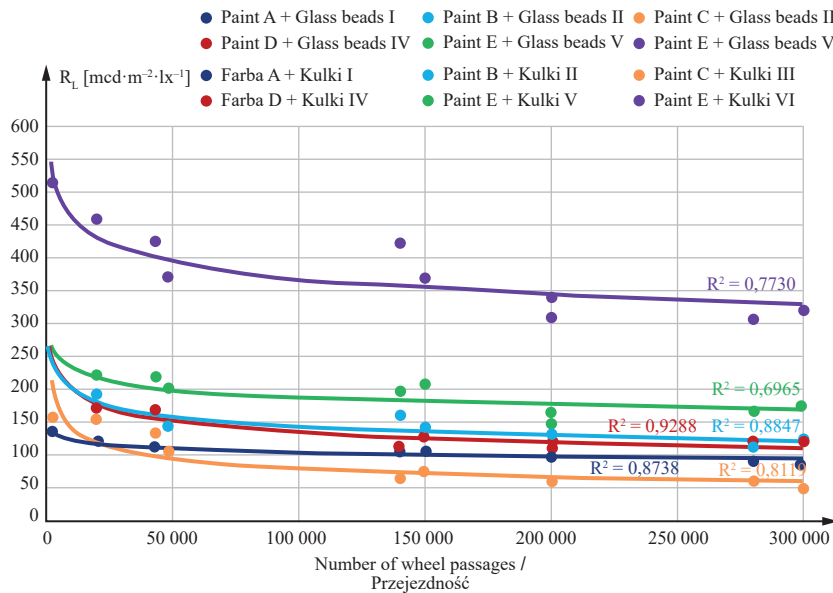


Fig. 2. Graph of the coefficient of retroreflection R_L of individual temporary road markings as a function of roll-over class (number of wheel passages on the markings)
Rys. 2. Wykres współczynnika odbłasku R_L poszczególnych tymczasowych poziomych oznakowań dróg w funkcji przejeźdźności (liczby najazdów kół na oznakowanie)

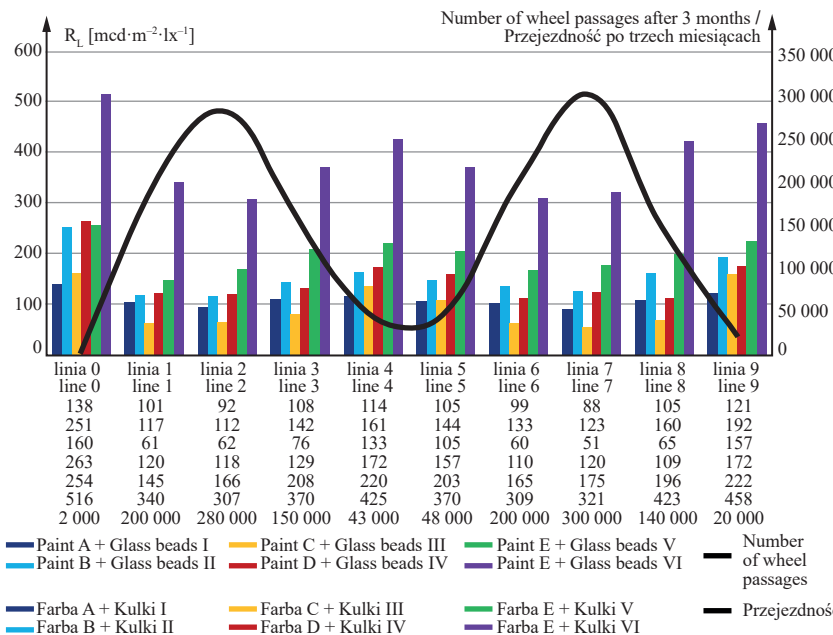


Fig. 3. Graph of the coefficient of retroreflection R_L temporary road markings on a line-by-line basis, together with the distribution of traffic capacity in the lane.
Rys. 3. Wykres współczynnika odbłasku R_L tymczasowych poziomych oznakowań dróg z podziałem na poszczególne linie oraz z rozkładem przejeźdźności w pasie ruchu

Należy także podkreślić, że w okresie testowania oznakowania poziomego uzyskane wartości współczynnika odbłasku R_L , w przypadku przejeźdźności 50 000–300 000 najazdów kół pojazdów na oznakowanie, nie różniły się znacznie. Odblaskowość oznakowania była stabilna i nie zmieniała się istotnie w zależności od obciążenia ruchem pojazdów.

Oznakowanie wykonane Farbą A + Kulki I i Farbą C + Kulki III nie spełniło minimalnego wymagania dotyczącego współczynnika odbłasku $100 \text{ mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$. Do wykonania tych oznakowań zostały zastosowane mieszanki kulek szklanych o współczynniku załamania światła 1,54 i oraz 1,65.

Biorąc pod uwagę przedstawione wyniki badań stwierdzono, że właściwości kulek szklanych, a szczególnie ich współczynnik załamania światła, wpływają na poziom odbłaskowości oznakowania. Nie jest to jednak warunek wystarczający, co potwierdzają uzyskane

wyniki w przypadku farb A i C. Aby zapewnić odpowiedni poziom współczynnika odbłasku oraz trwałość tego parametru, istotna jest retencja kulek szklanych w oznakowaniu poziomym. Potwierdzeniem tego jest obraz makroskopowy oznakowania przedstawiony na fotografii 2, wskazujący na dobrą retencję kulek w farbie. Zdjęcie wykonano na linii testowanego oznakowania znajdującej się w śladzie kół pojazdów. Na fotografii 3 przedstawiono obraz makroskopowy oznakowania o gorszej retencji kulek szklanych w farbie.

wheel trace of the vehicles. Photo 3 shows a macroscopic image of marking with inferior retention of glass beads in paint.

Summary

Correctly installed markings should be highly visible in all weather conditions, especially at night-time, have good and unambiguous message legibility and geometric dimensions appropriate to the type of road and adequate durability. Analysis of the performance of road markings, above all their retro-reflective properties, can be carried out for a specific type of marking in conjunction with a number of factors, such as:

- marking technology;
- type of reflective material;
- quality of the material from which the marking is made;
- coating thickness;
- type of subgrade marked;
- and many others, e.g. those related to traffic volume and structure, geometric parameters of the road and its location.

Seeing and recognising horizontal markings early enough is essential for traffic safety. This is particularly important for areas subject to the risk of traffic incidents involving unguarded road users and in night-time conditions, when the visibility of markings is only enabled by the light from car headlights.

This visibility is described by the corresponding level of reflectivity (coefficient of retroreflected luminance R_L). A necessary, but not sufficient, condition for permanent markings to have good night-time visibility is that it must be carried out correctly so that the glass beads are embedded at the correct depth in the markings. It is assumed that the optimum penetration depth of glass beads, with a standard refractive index of 1.5, should be 50%-60% of their diameter. For beads with a higher refractive index (1.9), the optimum depth is assumed to be 40%-50% of their diameter. This is associated with a higher risk of glass bead fall-out due to insufficient bonding between the glass bead and the marking [11, 19]. If the beads are not well embedded in the road marking material, they will fall out under the impact of vehicle traffic and the road marking will lose their reflective properties.

The correct visibility of horizontal road markings has a huge impact on the safety of road users, as well as on driver comfort. This is particularly important for yellow horizontal road markings used in temporary traffic organisation. Horizontal markings are expected to be visible to the driver at all times, but also, as is now becoming increasingly common, to be possible to be detected by the Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) fitted to new cars

The examples of temporary road markings applied with solvent-based paints presented in this paper prove that it is

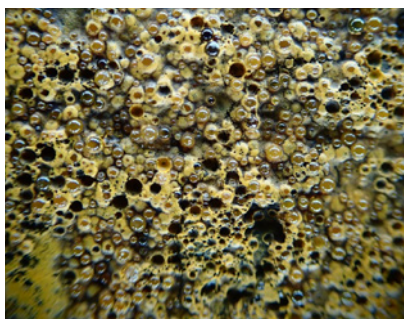


Photo 2. Macroscopic picture of Paint A + Glass beads VI after 3 months of testing (200,000 wheel passages over the road marking)

Fot. 2. Obraz makroskopowy Farby A + Kulki VI po trzech miesiącach testowania (200 000 najazdów kół na oznakowanie)

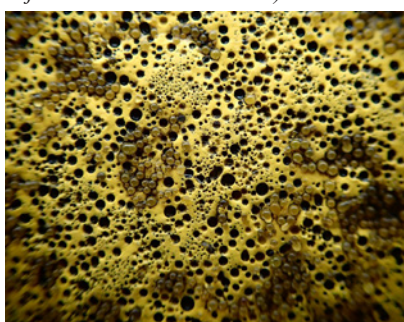


Photo 3. Macroscopic picture of Paint E + Glass beads I after 3 months of testing (200,000 wheel passages over the road marking)

Fot. 3. Obraz makroskopowy Farby E + Kulki I po trzech miesiącach testowania (200 000 najazdów kół na oznakowanie)

Podsumowanie

Poprawnie wykonane oznakowanie powinno charakteryzować się dobrą widocznością w każdych warunkach atmosferycznych, szczególnie w warunkach nocnych, a także dobrą i jednoznaczną czytelnością przekazywanej treści, odpowiednimi do rodzaju drogi wymiarami geometrycznymi oraz odpowiednią trwałością. Analizowanie parametrów oznakowania dróg, przede wszystkim jego właściwości odblaskowych, może być wykonywane w przypadku konkretnego rodzaju oznakowania w powiązaniu z wieloma czynnikami, takimi jak:

- technologia wykonania oznakowania;
- rodzaj materiału odblaskowego;
- jakość materiału, z którego oznakowanie jest wykonane;
- grubość powłoki;
- rodzaj znakowanego podłoża;
- oraz wiele innych, np. związanych z natężeniem i strukturą ruchu, parametrami geometrycznymi drogi i jej lokalizacją.

Odpowiednio wczesne dostrzeżenie i rozpoznanie oznakowania poziomego ma podstawowe znaczenie dla bezpieczeństwa ruchu. Szczególnie istotne jest to w przypadku miejsc objętych ryzykiem zdarzeń drogowych z udziałem niestrzeżonych uczestników ruchu oraz w warunkach nocnych, kiedy widoczność znaków jest

realizowana jedynie za pomocą światła od reflektorów samochodowych. Widoczność ta jest opisywana przez odpowiedni poziom odblaskowości (współczynnik odbłasku R_L).

Warunkiem koniecznym, lecz niewystarczającym do uzyskania trwałego oznakowania z dobrą widocznością w nocy, jest poprawność jego wykonania tak, aby kulki szklane były osadzone na odpowiedniej głębokości w oznakowaniu. Przyjmuje się, że optymalna głębokość zagłębienia kulek szklanych, o standardowym współczynniku załamania światła 1,5, powinna wynosić 50%-60% ich średnicy. W przypadku kulek o większym współczynniku załamania światła (1,9) przyjmuje się, że optymalne ich zagłębienie wynosi 40%-50% ich średnicy. Wiąże się to z większym ryzykiem wypadnięcia kulek szklanych z powodu niedostatecznego wiązania między kulką szklaną a oznakowaniem [11, 19]. W przypadku, gdy kulki nie zostaną dobrze osadzone w materiale, z którego zostało wykonane oznakowanie poziome, to pod wpływem ruchu samochodów wypadną, a oznakowanie wskutek tego utraci swoje właściwości odblaskowe.

Prawidłowa widoczność oznakowania poziomego dróg ma ogromny wpływ na bezpieczeństwo użytkowników dróg, jak i na komfort jazdy kierowcy. Jest to szczególnie istotne w przypadku oznakowania poziomego dróg barwy żółtej, stosowanego w czasowej organizacji ruchu drogowego. Oczekuje się, aby

possible to select component materials that ensure a high level of retroreflectivity throughout the life of the markings. It is also important to test the durability of a set of products for horizontal markings on a test road, i.e. under actual road marking operating conditions.

Conducting tests of road marking products at experimental sections makes it possible to obtain data on the performance of the products in relation to the expected service life, which will allow better management of the maintenance of the markings. This has important implications in terms of reduced social costs, reduced emissions of harmful substances and will facilitate the use of low carbon footprint horizon

Photo: authors

oznakowanie poziome było zawsze widoczne przez kierowcę, ale także, co staje się obecnie coraz powszechniejsze, możliwe do wykrycia przez systemy Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), będące na wyposażeniu nowych samochodów

Przedstawione w artykule przykłady aplikacji tymczasowego oznakowania poziomego z wykorzystaniem farb rozpuszczalnych potwierdzają, że możliwe jest dobranie materiałów składowych, zapewniających wysoki poziom odbłaskowości w całym okresie użytkowania oznakowania. Ważnym aspektem jest również przeprowadzenie testów trwałości zestawu wyrobów do oznakowania poziomego na drogowym odcinku doświadczalnym, czyli w warunkach rzeczywistego funkcjonowania oznakowania drogowego.

Prowadzenie badań wyrobów do wykonywania poziomego oznakowania dróg na odcinkach doświadczalnych umożliwi uzyskanie danych o właściwościach użytkowych wyrobów w powiązaniu z przewidywaną trwałością eksploatacyjną, co pozwoli na lepsze zarządzanie utrzymaniem oznakowań. Ma to istotne przełożenie na mniejsze koszty społeczne, ograniczenie emisji substancji szkodliwych oraz ułatwi stosowanie wyrobów do poziomego oznakowania o niskim śladzie węglowym.

Fotografie: autorzy

Received: 6.08.2024 r.

Revised: 7.11.2024 r.

Published: 20.12.2024 r.

Artykuł wpłynął do redakcji: 6.08.2024 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 7.11.2024 r.

Opublikowano: 20.12.2024 r.

Literature

- [1] Edara H B P. Temporary Pavement Markings Placement and Removal Practices in Work Zones. 2021. DOI: 10.17226/26358.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (Dz.U. 2022 poz. 1518).
- [3] Waluś K, Grynszpanowicz P. Assessment of the risk of pedestrian slipping on modern permeable surfaces, *Materiały Budowlane*, 2024; 7: pp. 78–84, DOI: 10.15199/33.2024.07.10.
- [4] Waluś K, Grynszpanowicz P, Rymśza B. Ocena odporności na poślizg zabytkowych nawierzchni chodników, *Materiały Budowlane*, Opublikowano: 2023; 4: 14–17, DOI: 10.15199/33.2023.04.03.
- [5] Burghardt TE, Köck B, Pashkevich A, Fasching A. Skid Resistance of Road Markings: Literature Review and Field Test Results, *Roads Bridg. – Drog. i Most.*, 2023; (22): 2, 141–165, DOI: 10.7409/rabdim.023.007.
- [6] Burghardt TE. et al., Visibility of various road markings for machine vision. *Case Stud. Constr. Mater.*, 2021; 15, no. February, DOI: 10.1016/j.cscm.2021.e00579.
- [7] Babić D, Fiolic M, Babić D, Gates T. Road Markings and Their Impact on Driver Behaviour and Road Safety: A Systematic Review of Current Findings, *J. Adv. Transp.*, vol. 2020, DOI: 10.1155/2020/7843743.
- [8] Avelar R, Carlson P J. Characterizing the Association Between Nighttime Crashes and Retroreflectivity of Edgelines and Centerlines on Michigan Rural Two-Lane Highways, 1–22, 2014.
- [9] Oktopianto Y, Rukman R, Analysis Of The Road Markings Reflectivity Service Life On Highways To Improve Safety, *RSF Conf. Ser. Eng. Technol.* 2022 (2), 2: 316–323, DOI: 10.31098/cset.v2i2.584.
- [10] Burghardt T E, Pashkevich A, Mosböck H. Yellow pedestrian crossings: from innovative technology for glass beads to a new retroreflectivity regulation, *Case Stud. Transp. Policy*, 2019; 7 (4):862–870 DOI: 10.1016/j.cstp.2019.07.007.
- [11] Smadi O, Hawkins N, Aldemir-Bektas B, Carlson P, Pike A, Davies C. Recommended Laboratory Test for Predicting the Initial Retroreflectivity of Pavement Markings from Glass Bead Quality. 2012.
- [12] Babić D, Babić D, Fiolic M, Ferko M. Road Markings and Signs in Road Safety, *Encyclopedia*, 2022; 2 (4):1738–1752, DOI: 10.3390/encyclopedia2040119.
- [13] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach (Dz. U. poz. 2181).
- [14] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Ogólna Specyfikacja Techniczna D-07.01.01. 2006.
- [15] PN-EN 13036-1:2010 Cechy powierzchniowe nawierzchni drogowych i lotniskowych – Metody badań – Część 1: Pomiar głębokości makrotekstury metodą objętościową.
- [16] PN-EN 1824:2021-05 Materiały do poziomego oznakowania dróg – Odcinki doświadczalne.
- [17] PN-EN 1436:2018-02 Materiały do poziomego oznakowania dróg – Wymagania dotyczące poziomych oznakowań dróg dla użytkowników oraz metody badań.
- [18] CIE 54.2-2001: Retroreflection: Definition and Measurement, *Int. Comm. Illum.*, 2001.
- [19] Szczepaniak Z. *Vademecum Poziomego Oznakowania Dróg*. Warszawa: Instytut Badawczy Drog i Mostow, 2015.