



RAFAŁ LUSA¹⁾
PAWEŁ SKIERCZYŃSKI²⁾
JOANNA PRASALSKA-NIKONIUK³⁾
JOLANTA KRASZEWSKA⁴⁾

EVALUATION OF THE IMPACT OF ROAD SIGN MATERIAL ON THE OCCURRENCE OF DEW

OCENA WPŁYWU MATERIAŁU TARCZY ZNAKU DROGOWEGO NA WYSTĘPOWANIE EFEKTU ROSZENIA

STRESZCZENIE. W określonych warunkach pogodowych na znakach występuje kondensacja pary wodnej (efekt roszenia), co przekłada się na pogorszenie właściwości retrorefleksyjnych folii odblaskowych. Efekt roszenia widoczny jest w postaci czarnych plam, przez co treść znaku może być nieczytelna. Celem badań była próba ograniczenia występowania efektu roszenia poprzez zastosowanie materiałów o różnych przewodnościach cieplnych oraz określenie wpływu rodzaju materiału na intensywność i szybkość występowania kondensacji. Badania przeprowadzono na poligonie badawczym na tarczach znaków wykonanych z różnych materiałów. Na każdym znaku wydzielono 4 różne obszary, na których zastosowano 2 typy folii odblaskowych (w 3 kolorach) z folią antyroszeniową i bez. Dokumentowano zmianę występowania efektu roszenia, wykonując seryjne zdjęcie każdego znaku. Dodatkowo zmierzono luminancję, współczynnik odbłasku i rozkład temperatury oraz dokonano analizy ich zmian w czasie. Wyniki badań potwierdziły, że na wybranym do badań poligonie badawczym wpływ rozwiązań materiałowych na intensywność występowania efektu roszenia jest niewielki.

SŁOWA KLUCZOWE: efekt roszenia, folie odblaskowe, współczynnik odbłasku, znaki drogowe.

ABSTRACT. Under specific conditions water vapor condenses on traffic signs (dew), resulting in deterioration of retroreflective properties of the reflective film. The dew is visible in the form of black patches, which may render the sign illegible. The objective of the presented research was to limit dew formation through the use of materials with various thermal conductivity and determine the impact of material on intensity and speed of condensation. The tests were performed at a field test site, using traffic sign blanks made of various materials. Each sign was divided into 4 sections, using 2 types of retroreflective films (in 3 colors) with or without anti-dew film. The occurrence of dew was recorded by performing serial photographs of each sign. Luminance, coefficient of retroreflection and temperature distribution were measured and analyzed in terms of their changes in time. The results of the research confirmed that at the chosen field test site the impact of the materials on the intensity of dew formation was insubstantial.

KEYWORDS: coefficient of retroreflection, dew, retroreflective films, road signs.

DOI: 10.7409/rabdim.021.007

¹⁾ Instytut Badawczy Dróg i Mostów, ul. Instytutowa 1, 03-302 Warszawa, rlusa@ibdim.edu.pl (✉)

²⁾ Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa; pskierczyński@ibdim.edu.pl

³⁾ Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa; jprasalska@ibdim.edu.pl

⁴⁾ Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa; jkraszewska@ibdim.edu.pl

1. WSTĘP

Podstawową cechą znaków drogowych jest ich widoczność i czytelność [1]. Szczególnie istotne jest to w przypadku dużych, nieoświetlonych tablic na drogach szybkiego ruchu. Treść znaku przekazywana w sposób czytelny i jednoznaczny ma wpływ na skrócenie czasu odwrócenia wzroku kierowcy od drogi, ogranicza ilość nagłych zmian kierunku ruchu i hamowań. Dlatego ważne jest, aby znaki drogowe były czyste i dobrze widoczne w każdych warunkach pogodowych [2, 3]. Niestety, nie zawsze tak jest. Na obszarach zalesionych, z dużą ilością zbiorników wodnych w pobliżu drogi, w miejscach o podwyższonej wilgotności może pojawić się kondensacja pary wodnej na znakach. Kondensacja występuje przy bezchmurnej pogodzie, przy znacznych różnicach temperatury w dzień i w nocy, dużej wilgotności powietrza oraz gdy zostanie osiągnięta temperatura punktu rosy [4-6]. Na Rys. 1 przedstawiono zależność temperatury punktu rosy od temperatury powietrza i wilgotności. Efekt tworzenia się rosy opisany został w artykułach [7, 8].

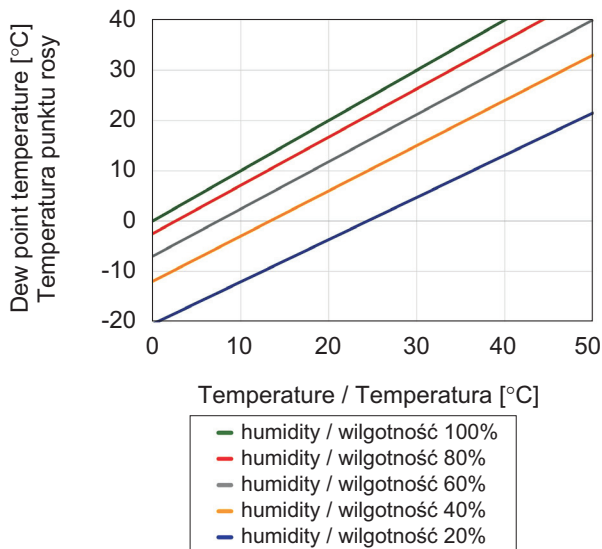


Fig. 1. Dew point chart

Rys. 1. Wykres punktu rosy

Kondensacja pary wodnej na znaku rozpoczyna się w miejscach szybko oddających ciepło [9]. Są to pola tarczy znaku pomiędzy elementami konstrukcji wsporczej. Efekt rosenia widoczny jest na znakach w postaci ciemnych obszarów. Widoczność znaku w dzień (bez efektu rosenia) oraz w nocy (z efektem rosenia) przedstawiono na Rys. 2. Powodem powstawania czarnych plam jest rozpraszanie światła reflektorów samochodowych na cząsteczkach wody, przez co odbite światło nie wraca do oczu kierowcy. Efekt rosenia na znakach może zmniejszyć odblaskowość znaku o 60% [10-12].

1. INTRODUCTION

The basic features of road signs are their visibility and legibility [1]. These characteristics are particularly significant in the case of large unlit signs situated by high-speed roads. The content of the sign should be legible and unambiguous, in order to reduce the period of distraction of the drivers and limit sudden changes of direction or braking. Therefore, all road signs should be clean and visible under all weather conditions [2, 3]. Unfortunately, this is not always the case. In forested areas, with numerous bodies of water in the vicinity of the road and heightened humidity, water vapor may condensate on traffic signs. Condensation occurs during cloudless weather, at significant day and nighttime temperature differences, high air humidity and when the dew point temperature is reached [4-6]. Fig. 1 presents the relationship between the dew point temperature, air temperature and humidity. The effect of dew formation has been described in the articles [7, 8].

Condensation of water vapor on a road sign is initiated on the surfaces that emit heat quickly [9], that is the areas between the members of the support structure. The dew is visible on the sign in the form of dark patches. Visibility of the sign in the daytime (without dew) and at night (with dew) is presented in Fig. 2. The apparently black patches are caused by the fact that the light from vehicle headlights is scattered on water droplets and is not reflected back toward the driver. The dew effect occurring on road signs may reduce the retroreflectivity of the sign by 60% [10-12]. If the temperature decreases below 0°C after dew has occurred, the water will freeze and the surface will be covered by hoarfrost [13]. A deposit of frost may reduce the retroreflectivity of a sign by 79% [10-12].

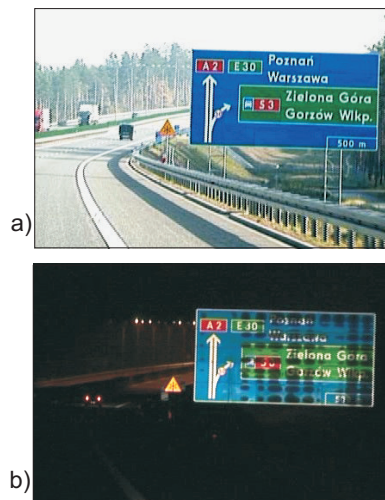


Fig. 2. Visibility of the traffic sign during the day (a) and at night with dew (b)
Rys. 2. Widoczność znaku drogowego w dzień (a) oraz w nocy z występującym efektem rosenia (b)

Kiedy po wystąpieniu efektu rosznienia temperatura spadnie poniżej 0°C, nastąpi zamarznięcie warstwy wody, a na powierzchni znaku pojawi się szron [13]. Efekt szronienia może zmniejszać odbłaskowość znaku o 79% [10-12].

Możliwe jest ograniczenie występowania efektu rosznienia, między innymi poprzez stosowanie folii antyroszeniowych, znaków podświetlanych, oświetlanych, ogrzewanych oraz innych sposobów dostarczania ciepła do znaku [14]. Folie antyroszeniowe mają specjalną powłokę, najczęściej hydrofilową, dzięki której warstwa wody na znaku rozprzaskana jest równomiernie. Uzyskuje się przez to mniejsze rozpraszanie światła. Zastosowanie folii antyroszeniowych wymaga przestrzegania zaleceń producenta folii, w tym bieżącego utrzymania znaków (mycie). Trwałość folii antyroszeniowej jest niższa niż folii odbłaskowej. Powyższe uwarunkowania sprawiają, że stosowanie folii antyroszeniowych nie daje zadowalających efektów, dlatego pojawiła się potrzeba dalszych badań nad sposobem ograniczenia występowania efektu rosznienia.

W Polsce efekt rosznienia znaków występuje głównie na wiosnę i na jesieni, kiedy to pojawiają się sprzyjające warunki, m.in. duża wilgotność powietrza i duża różnica wartości temperatury w dzień i w nocy. Produkty kondensacji pary wodnej zawartej w atmosferze (hydrometeory) na skutek adiabatycznego ochładzania się powietrza unoszą się w powietrzu oraz osiadają na różnych podłożach, w tym na powierzchni znaku drogowego. Przyczepność kondensatu do powierzchni znaku drogowego zależy od jej gładkości, czystości (obecności potencjalnych jąder kondensacji) i temperatury. W pobliżu dróg jezdnych występuje zwiększona ilość zanieczyszczeń, co przekłada się na większą liczbę cząsteczek będących potencjalnym źródłem jąder kondensacji. Efekt rosznienia jest zjawiskiem bardzo złożonym i kłopotliwym do ilościowego zmierzenia, szczególnie w warunkach naturalnych. Trudno jest określić ilość rosy, jaka powstanie w danym dniu. Wartość ta ulega zmianom w poszczególnych dniach, w zależności od warunków pogodowych.

Badania udowodniły, że zastosowanie warstwy izolującej o niskim współczynniku przewodzenia ciepła między folią odbłaskową a tarczą znaku skraca czas wystąpienia efektu rosznienia o od 7% do 20% w stosunku do znaków bez warstwy izolującej [13, 15]. Widoczność znaku ma wpływ na bezpieczeństwo zdrowia i życia użytkowników dróg. Mimo że tylko około 3% wszystkich wypadków powodowanych jest przez niewłaściwe urządzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego [16], warto monitorować każdy czynnik wpływający na ograniczenie ilości zdarzeń drogowych, liczby rannych i zabitych oraz wysokości kosztów społecznych [17]. Stąd też idea,

Various methods of dew reduction are available, including the use of anti-dew films, heating, internal or external illumination of the signs, as well as other means of transferring heat to the sign [14]. Anti-dew films are covered with special layer – most often hydrophilic – that provides even distribution of water on the surface of the sign and, consequently, reduced scattering of light. The use of anti-dew films requires adherence to the guidelines of the producer, including regular maintenance (washing). Anti-dew films are less durable than reflective films. Due to these factors, application of anti-dew films does not provide satisfying effect. Therefore, further research devoted to reduction of dew is needed.

In Poland dew on road signs is most frequent in the spring and autumn, when the conditions, including high air humidity and high day/night temperature variability, favor its occurrence. Products of condensation of water vapor from the atmosphere (hydrometeors) float in the air due to adiabatic cooling and settle on various surfaces, including road signs. The adhesion of the condensate to the surface of the road sign depends on its smoothness, cleanliness (existence of potential condensation nuclei) and temperature. The increased quantity of dust in the vicinity of roads leads to the presence of a greater number of particles that may become potential condensation nuclei. Formation of dew is a very complex phenomenon, which is difficult to measure quantitatively, especially under natural conditions. It is difficult to determine the quantity of dew that will form on a given day. This value varies depending on the weather conditions.

Tests have shown that the use of insulation layer with low heat conductivity between the reflective film and the sign blank shortens the time of existence of dew by 7% to 20% in relation to signs without the insulation layer [13, 15]. Visibility of the sign affects the safety of health and life of road users. While only about 3% of all road accidents are caused by faulty road safety infrastructure [16], it is still advantageous to monitor every factor that may contribute to reduction in the number of collisions, injuries and fatalities, as well as the resultant social cost [17]. This are the grounds for the idea to investigate the impact of the material of the sign blank on the occurrence of dew in real conditions.

Test methodology in the research works [4, 10, 12, 13, 15] was based on measurements of coefficient of retroreflection R_A [$\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$] according to CIE 54.2 [18] and PN-EN 12899-1 [19]. The quantity of dew in laboratory conditions was determined by weighing the plates before

aby zbadać w warunkach rzeczywistych wpływ materiału tarczy znaku na występowanie efektu roszenia.

Metodyka badań zastosowana w pracach badawczych [4, 10, 12, 13, 15] opierała się na pomiarze współczynnika odbłasku R_A [$\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$] mierzonego według CIE 54.2 [18] i PN-EN 12899-1 [19]. Do pomiaru ilości rosy w warunkach laboratoryjnych stosowano ważenie płytek przed i po wystąpieniu roszenia [13]. W pracach [2, 6, 10] występowanie efektu roszenia oceniono na podstawie zdjęć.

2. MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Do badań wytypowano 5 tarcz znaków o różnych współczynnikach przewodzenia ciepła: stal ocynkowaną, aluminium, spienione PCV, sklejkę drewnianą oraz znak warstwowy (warstwa styropianu pomiędzy arkuszami blachy stalowej ocynkowanej). Badania wykonano na poligonie badawczym znajdującym się na terenie IBDiM w Warszawie. W sąsiedztwie obszaru eksperymentu znajdują się nasypy kolejowe, budynki oraz drzewa.

Celem wyeliminowania ewentualnych błędów spowodowanych różnicą ilości rosy w poszczególnych dniach, w ramach przeprowadzonego eksperymentu porównano wyniki badań zebrane podczas jednej nocy. Podstawowym zagadnieniem badawczym było sprawdzenie, czy widzialność znaków w niekorzystnych warunkach pogodowych zmienia się w czasie w zależności od materiału, z którego wykonana jest tarcza znaku.

W pierwszej kolejności skupiono się na stwierdzeniu, czy efekt roszenia w ogóle występuje. Następnie zbadano, czy intensywność efektu roszenia oceniona na podstawie pomiarów współczynnika odbłasku R_A i luminancji L jest zauważalnie różna w zależności od rodzaju materiału. Pomiary współczynnika odbłasku R_A wykonano za pomocą retroreflektometru GRX firmy Delta. Ponieważ metodyka pomiaru współczynnika odbłasku R_A z zastosowaniem urządzeń ręcznych (przenośnych) zakłada przyłożenie urządzenia do powierzchni mierzonego obiektu, zastosowanie retroreflektometru GRX do wykonania pomiarów zroszonych powierzchni tablic drogowych byłoby niemożliwe bez modyfikacji metody pomiaru. Przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych próby mające wykazać, jaki wpływ na wartość współczynnika odbłasku R_A ma wykonanie pomiaru bez kontaktu z powierzchnią mierzoną. Pomiar bezkontaktowy wykonano w jak najmniejszej odległości od mierzonej powierzchni oraz z jak najdokładniejszym zachowaniem geometrii pomiaru. Stwierdzono, że wartości współczynnika odbłasku R_A uzyskane w sposób kontaktowy i bezkontaktowy nie różnią się między sobą o więcej niż 5%. Pomiary wykonano zgodnie z [18] przy kącie oświetlenia 5° oraz

and after occurrence of dew [13]. In the works [2, 6, 10] the intensity of dew formation was assessed based on photographs.

2. MATERIALS AND TEST METHODS

The tests were performed using 5 chosen sign blank materials with various thermal conductivity: galvanized steel, aluminum, expanded PVC, plywood and composite sign (a layer of polystyrene foam between two sheets of galvanized steel). The research was performed at the Road and Bridge Research Institute (IBDiM) test field in Warsaw. The test site was situated in the vicinity of railroad embankments, buildings and trees.

In order to eliminate potential errors resulting from varying quantities of dew forming in successive days, the comparisons were made using the results obtained during a single night. The basic objective of the research was to determine if the sign visibility under adverse weather conditions changes in time depending on the material used for the sign blank.

Initially, it was necessary to determine whether dew occurs at all. Afterwards, the authors verified if the change in dew formation intensity indicated by measurements of coefficient of retroreflection R_A and luminance L are noticeably different for various materials. The measurements of surface coefficient of retroreflection R_A were performed using a GRX retroreflectorimeter manufactured by Delta. Since the R_A measurement methodology using manual (portable) devices assumes contact between the device and the surface of the object subjected to measurement, direct use of the GRX retroreflectorimeter with road signs covered with dew is impossible. Laboratory tests were performed in order to determine if measurement without contact between the device and the tested surface has a significant effect on the obtained results. Contactless measurements were taken, maintaining the lowest possible distance between the device and the surface as well as the most precise measurement geometry. It was determined that the values of coefficient of retroreflection R_A obtained from contact and contactless measurements differ by no more than 5%. The measurements were performed according to [18] at entrance angle of 5° and three viewing angles: 0.2° , 0.33° , 2.0° . Illuminant A was used as the source of light.

During luminance measurements and photographing, each sign board was illuminated using a 500 W halogen lamp. The lamps were mounted in front of the signs, at the height of approx. 2 m above ground and the distance of 30 m from the sign. A Sony Alpha 7s II camera with 70-200 mm lens

trzech kątach obserwacji: $0,2^\circ$, $0,33^\circ$, $2,0^\circ$. Źródłem światła był iluminant A.

Podczas pomiarów luminancji oraz wykonywania zdjęć każdą tablicę znaku oświetlono lampą halogenową o mocy 500 W. Lampy zostały ustawione na wysokości około 2 m i w odległości 30 m, na osi prostopadłej do każdej tablicy. Przed każdą tablicą znaku ustawiono aparat fotograficzny Sony Alpha 7s II z obiektywem 70-200 mm, który wykonywał zdjęcie co 30 s. Dzięki temu uzyskano zapis zmiany widoczności znaków spowodowanej efektem rosznienia. Dodatkowo wykonano zdjęcia kamerą termowizyjną Flir T-420bx, dzięki czemu możliwe było zaobserwowanie rozkładu temperatury na tablicy znaku. Z wcześniejszych obserwacji badawczych wynika, że w miejscach, gdzie znajduje się konstrukcja wsporcza, znak ma wyższą temperaturę niż w miejscach odsłoniętych.

Na każdym badanym znaku zastosowane zostały dwa rodzaje folii:

- w górnej części znaku – folia pryzmatyczna typ III,
- w dolnej części znaku – folia kulkowa typ I.

Na prawej stronie znaku (zarówno na folii typu I, jak i typu III) naklejono folię antyroszeniową. Lewa strona znaku została zabezpieczona folią transparentną. Na każdym znaku otrzymano 4 różne kombinacje folii, co obrazuje Rys. 3:

- ćwiartka górna lewa: folia pryzmatyczna typ III + folia transparentna,
- ćwiartka górna prawa: folia pryzmatyczna typ III + folia antyroszeniowa,
- ćwiartka dolna lewa: folia kulkowa typ I + folia transparentna,
- ćwiartka dolna prawa: folia kulkowa typ I + folia antyroszeniowa.

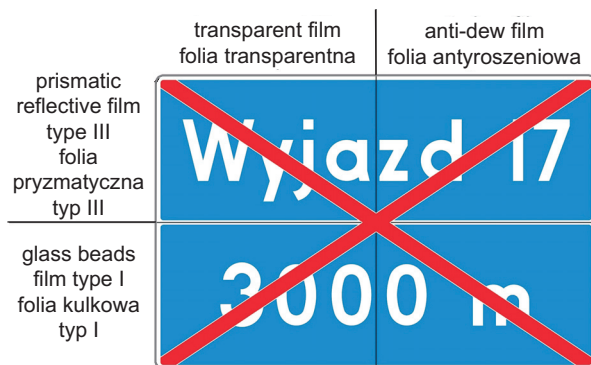


Fig. 3. Division of signs into test areas
Rys. 3. Podział znaków na obszary badawcze

Z tyłu każdej tablicy zamontowane zostały rury mające imitować konstrukcję wsporczą znaku. Ich układ pokazano na Rys. 4a. Rozwiązanie takie pozwoliło uzyskać różne szybko-

was placed in front of each sign and a photograph of the sign was taken every 30 seconds, which enabled recording of the changes in sign visibility due to dew formation. Additional images were recorded using a Flir T-420bx thermal camera, which enabled observation of temperature distribution on the sign board. As previous research observations have shown, areas in the vicinity of support structure members have higher temperature than the more exposed areas between them.

Two types of reflective sheeting were used on each tested sign:

- in the upper half of the sign – type III prismatic film,
- in the lower half of the sign – type I glass bead film.

The right half of the sign (both on type I and type III reflective films) was covered with anti-dew film. The left side was protected with transparent film. Therefore, 4 film combinations were obtained on each sign, as shown in Fig. 3

- upper left quarter: type III prismatic film + transparent film,
- upper right quarter: type III prismatic film + anti-dew film,
- lower left quarter: type I glass bead film + transparent film,
- lower right quarter: type I glass bead film + anti-dew film.

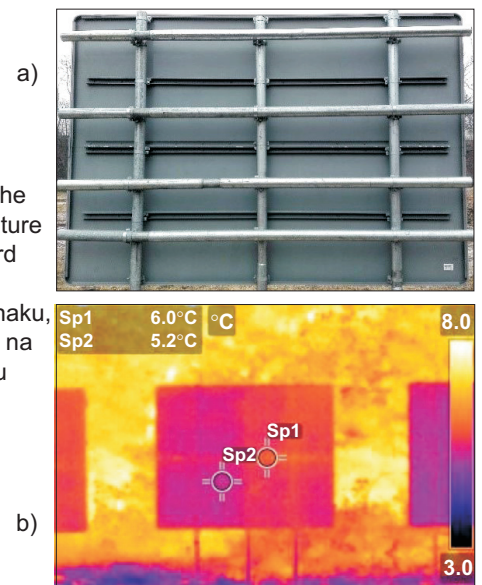


Fig. 4. a) The back of the sign board, b) temperature distribution on the board after formation of dew
Rys. 4. a) Tył tablicy znaku, b) rozkład temperatury na zroszonej tablicy znaku

Pipes imitating the members of a support structure were mounted at the back of each board. Their arrangement is visible in Fig. 4a. Such a solution enabled obtaining of

ści wychładzania znaku, dzięki czemu na tablicy zaobserwowano różnice w temperaturze. Z uwagi na to, że teren poligonu badawczego nie jest obszarem otwartym (nasyp kolejowy, budynki, drzewa) oraz w pobliżu brak jest zbiorników wodnych, uzyskano niewielką różnicę wartości temperatury, co obrazuje Rys. 4b.

3. WYNIKI BADAŃ

Badania, których wyniki przedstawiono w Tabl. 1-4, zostały wykonane dnia 24.11.2017 r. w godzinach od 23:00 do 2:45. Podczas wykonywania pomiarów temperatura powietrza wynosiła od 0,5°C do 1,5°C, zaś wilgotność względna od 87% do 90%. Wyniki współczynnika odbłasku R_A są średnią arytmetyczną z 3 oznaczeń.

Table 1. Coefficient of retroreflection R_A [$\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$] of type III prismatic reflective film with transparent film (upper left quarter)

Tablica 1. Współczynnik odbłasku R_A [$\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$] folii pryzmatycznej typu III z folią transparentną (ćwiartka lewa górna)

	Composite sign Znak warstwowy			Aluminum sign Znak z blachy aluminiowej			Plywood sign Znak ze sklejki			Expanded PVC sign Znak ze spienionego PCV			Steel sign Znak z blachy stalowej		
Entrance angle [°] Kąt oświetlenia	5			5			5			5			5		
Viewing angle [°] Kąt obserwacji	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0
Blue Niebieski	3.0	2.7	1.0	3.7	3.0	0.7	2.7	2.0	0.3	1.3	1.3	0.0	2.0	1.3	0.0
Red Czerwony	7.3	6.0	3.7	10.0	7.7	2.0	7.0	5.3	1.3	3.3	3.0	1.0	4.7	3.7	1.3
White Biały	25.7	18.0	8.3	54.7	33.7	4.0	22.7	15.7	3.7	16.0	10.7	3.0	18.7	13.0	4.0

Table 2. Coefficient of retroreflection R_A [$\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$] of type III prismatic reflective film with anti-dew film (upper right quarter)

Tablica 2. Współczynnik odbłasku R_A [$\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$] folii pryzmatycznej typu III z folią antyroszeniową (ćwiartka prawa górna)

	Composite sign Znak warstwowy			Aluminum sign Znak z blachy aluminiowej			Plywood sign Znak ze sklejki			Expanded PVC sign Znak ze spienionego PCV			Steel sign Znak z blachy stalowej		
Entrance angle [°] Kąt oświetlenia	5			5			5			5			5		
Viewing angle [°] Kąt obserwacji	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0
Blue Niebieski	27.3	23.3	2.0	20.3	17.0	2.0	20.7	16.7	2.3	31.3	24.7	1.7	25.0	21.0	2.0
Red Czerwony	75.3	56.0	7.0	58.3	45.7	8.0	59.3	45.3	7.3	78.7	58.7	7.0	67.7	50.7	7.3
White Biały	462.0	245.7	12.0	330.0	214.3	16.0	374.7	213.3	15.7	521.3	275.0	10.3	365.7	216.0	12.7

different sign cooling rates, which resulted in observable differences in sign temperature. Due to the fact that the test site was not an open area (railroad embankment, buildings and trees) and there were no bodies of water in its vicinity, the obtained temperature differences were insubstantial, as shown in Fig. 4b.

3. TEST RESULTS

Tables 1-4 present the results of tests performed on the 24th of November 2017, between 23:00 and 2:45. Air temperature ranged from 0.5°C to 1.5°C and relative humidity ranged from 87% to 90% during the measurements. Every presented value of coefficient of retroreflection R_A is an arithmetic mean from 3 measurements.

Table 3. Coefficient of retroreflection R_A [$\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$] of type I glass bead reflective film with transparent film (lower left quarter)Tablica 3. Współczynnik odbłasku R_A [$\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$] folii kulkowej typu I z folią transparentną (ćwiartka dolna lewa)

	Composite sign Znak warstwowy			Aluminum sign Znak z blachy aluminiowej			Plywood sign Znak ze sklejki			Expanded PVC sign Znak ze spienionego PCV			Steel sign Znak z blachy stalowej		
Entrance angle [°] Kąt oświetlenia	5			5			5			5			5		
Viewing angle [°] Kąt obserwacji	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0
Blue Niebieski	2.0	2.0	0.0	1.0	1.0	0.3	1.7	1.7	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0
Red Czerwony	10.7	9.7	2.0	4.0	3.7	1.0	9.0	8.0	1.0	4.7	4.3	1.3	3.0	3.0	1.0
White Biały	36.3	31.0	4.3	18.3	15.3	2.0	28.7	24.7	3.7	15.0	13.0	2.7	11.0	10.0	2.0

Table 4. Coefficient of retroreflection R_A [$\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$] of type I glass bead reflective film with anti-dew film (lower right quarter)Tablica 4. Współczynnik odbłasku R_A [$\text{cd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$] folii kulkowej typu I z folią antyroszeniową (ćwiartka dolna prawa)

	Composite sign Znak warstwowy			Aluminum sign Znak z blachy aluminiowej			Plywood sign Znak ze sklejki			Expanded PVC sign Znak ze spienionego PCV			Steel sign Znak z blachy stalowej		
Entrance angle [°] Kąt oświetlenia	5			5			5			5			5		
Viewing angle [°] Kąt obserwacji	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0	0.2	0.33	2.0
Blue Niebieski	6.0	5.0	0.3	5.7	4.7	1.3	6.0	5.0	0.7	6.0	5.0	0.3	4.7	4.3	0.3
Red Czerwony	25.3	21.3	2.3	24.0	21.0	2.3	24.0	20.7	2.7	26.7	22.7	2.3	20.3	18.3	2.3
White Biały	105.0	82.3	6.0	94.3	75.7	6.3	65.0	51.7	5.3	107.3	84.7	6.0	73.7	60.7	5.7

Na Rys. 5 przedstawiono wyniki pomiarów luminancji badanych znaków. Ocena intensywności rosznienia znaków poszczególnych rodzajów została wykonana okiem nieuzbrojonym, a dla potrzeby zobrazowania różnic w intensywności rosznienia wykonano zdjęcia przedstawione na Rys. 6.

4. DYSKUSJA

Głównym celem pracy badawczej było sprawdzenie, czy materiał, z którego wykonana jest tablica znaku, ma wpływ na intensywność, szybkość i czas występowania efektu rosznienia. Zbadano 5 rodzajów znaków: znak warstwowy, znak aluminiowy, znak ze sklejki drewnianej, znak z tworzywa sztucznego (spienione PCV) oraz znak stalowy. Zakres badań obejmował pomiar współczynnika odbłasku R_A , luminancji L oraz rozkładu temperatury, jak również ocenę wizualną. Uzyskane różnice wartości współczynnika odbłasku R_A pomiędzy odpowiadającymi sobie obszarami znaków (Tabl. 1-4) nie przekładają się na poprawę widzialności znaku ocenianej

Luminance results of the tested signs are presented in Fig. 5. Evaluation of dew formation intensity on particular types of signs was performed with the naked eye, and photographs shown in Fig. 6 were taken in order to visualize the differences.

4. DISCUSSION

The main objective of the presented research was to verify whether the material of the sign blank affects the intensity, speed and time of formation of dew. Five types of signs were tested: composite sign, aluminum sign, plywood sign, plastic (expanded PVC) sign and steel sign. The scope of the research encompassed measurement of coefficient of retroreflection R_A , luminance L and temperature distribution, as well as visual assessment. The registered differences in values of coefficient of retroreflection R_A between respective quarters of the signs (Tables 1-4) do not affect the perception of visibility of the sign by an

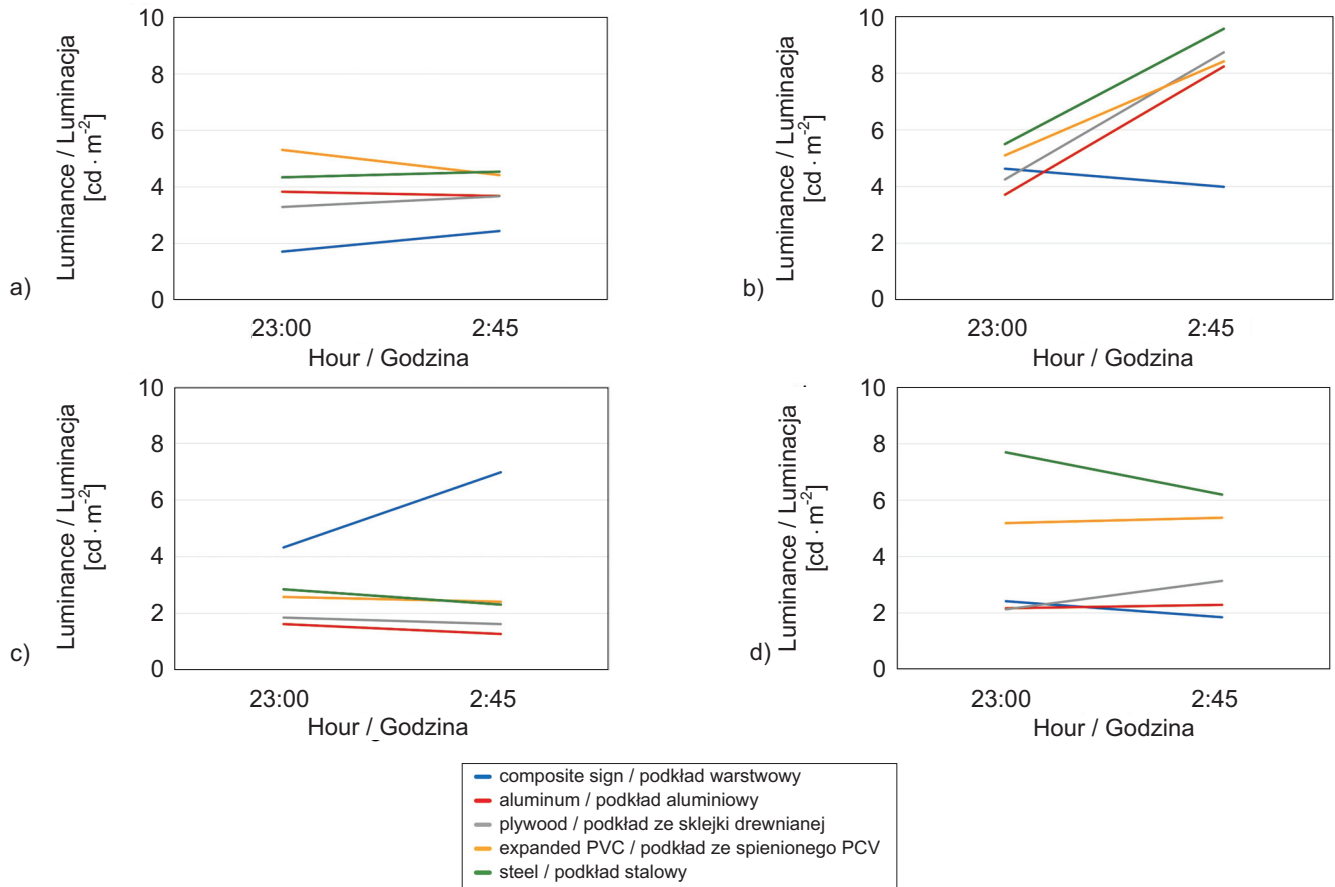


Fig. 5. Luminance of signs: a) type III prismatic reflective film + transparent film (upper left quarter), b) type III prismatic reflective film + anti-dew film (upper right quarter), c) type I glass bead reflective film + transparent film (bottom left quarter), d) type I glass bead reflective film + anti-dew film (bottom right quarter)

Fig. 5. Luminancja znaków: a) folia pryzmatyczna typ III + folia transparentna (ćwiartka lewa górna), b) folia pryzmatyczna typ III + folia antyroszeniowa (ćwiartka prawa górna), c) folia kulkowa typ I + folia transparentna (ćwiartka dolna lewa), d) folia kulkowa typ I + folia antyroszeniowa (ćwiartka dolna prawa)

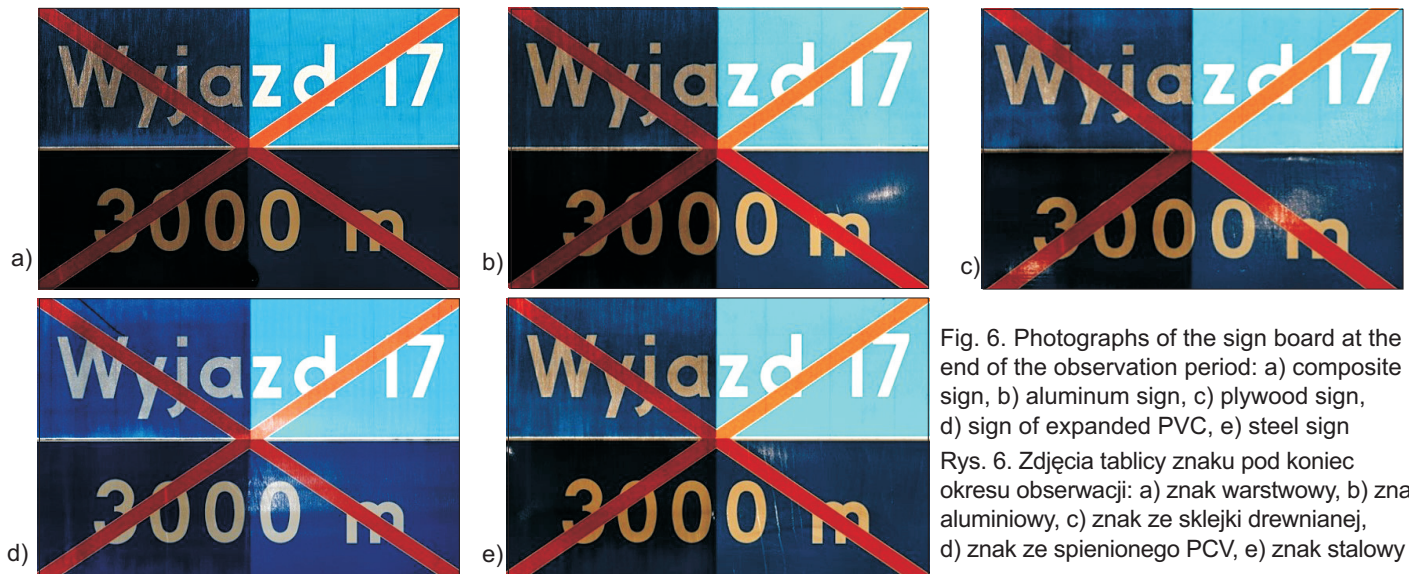


Fig. 6. Photographs of the sign board at the end of the observation period: a) composite sign, b) aluminum sign, c) plywood sign, d) sign of expanded PVC, e) steel sign
Rys. 6. Zdjęcia tablicy znaku pod koniec okresu obserwacji: a) znak warstwowy, b) znak aluminiowy, c) znak ze sklejk drewnianej, d) znak ze spienionego PCV, e) znak stalowy

przez obserwatora. Największe różnice w wartości współczynnika odbłasku R_A (do 300%) stwierdzono w przypadku części znaków z licem bez folii antyroszeniowej. Dotyczy to zarówno obszaru z folią odblaskową kulkową, jak i folią odblaskową pryzmatyczną. Należy natomiast zauważyć, że na tych obszarach, gdzie zastosowano folię antyroszeniową, stwierdzono mniejszy wpływ materiału tarczy znaku na zmianę wartości współczynnika odbłasku R_A (do 70%). Istotną jest także zdecydowanie (kilkunastokrotnie) wyższa wartość współczynnika odbłasku R_A na obszarach z folią antyroszeniową (Rys. 6 – prawa część znaku) w porównaniu do obszaru znaku bez folii antyroszeniowej (Rys. 6 – lewa część znaku). Wartość współczynnika odbłasku R_A w sposób pośredni odzwierciedla poziom występowania efektu rosznienia. Porównując między sobą wyniki dla danego rodzaju folii, koloru i kąta badania uzyskane na różnych podłożach stwierdzono, że w większości przypadków najwyższe wyniki współczynnika odbłasku R_A występują na podkładzie warstwowym i ze spienionego PCV, najniższe zaś na znaku z blachy stalowej ocynkowanej. Stwierdzono, że różnice w wartościach współczynnika odbłasku R_A wynikające z efektu rosznienia nie mają istotnego wpływu na poprawę czytelności znaku. Zaobserwowano także, że zdecydowany wpływ na wartość współczynnika odbłasku R_A ma zastosowanie folii antyroszeniowej.

Uzyskane wyniki pomiarów luminancji L oraz charakterystyka jej zmian prawdopodobnie obarczone są błędami wynikającymi z zastosowania niestabilnego źródła światła oraz nieprecyzyjnego ustawienia kąta obserwacji. W warunkach nielaboratoryjnych nie jest możliwe precyzyjne odzwierciedlenie kąta oświetlenia i kąta obserwacji. Luminancja L bardzo silnie zależy od kąta obserwacji, kąta oświetlenia oraz źródła światła. Dokładniejsze pomiary uzyskano by, wykorzystując do badań matrycowy miernik luminancji. Z uzyskanej charakterystyki zmian luminancji w czasie wyraźnie widać, że charakterystyka znaku warstwowego odbiega od pozostałych. Jest to zapewne w większym stopniu związane z zastosowaną kombinacją folii niż z materiałem znaku. Wartość luminancji tarczy warstwej z folią antyroszeniową zmniejsza się w czasie, natomiast bez folii antyroszeniowej rośnie (Rys. 5). Odwrotnie jest dla pozostałych rodzajów znaków. Spowodowało to brak możliwości oceny zmiany efektu rosznienia na podstawie wyników luminancji.

5. WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że najistotniejszym elementem oceny zmiany intensywności efektu rosznienia w czasie jest obserwacja nieuzbrojonym okiem. Wykonując zdjęcie folii odblaskowej w nocy, tak naprawdę autorzy zarejestrowali światło odbite od folii. Z obserwacji wynika, że ukształtowanie i zagospodarowanie terenu sprawia, iż

observer. The greatest differences (up to 300%) in coefficient of retroreflection R_A were noted for the areas of the signs that were not covered with anti-dew film, including both the quarters with prismatic and glass bead reflective sheeting. It is noteworthy that lower influence of the sign blank material on the coefficient of retroreflection R_A (up to 70%) was registered on the areas covered with anti-dew film. It is also significant that a noticeably (over 10 times) greater value of the coefficient of retroreflection R_A was obtained on the areas covered with anti-dew film (Fig. 6 – the right side of the sign) than on the areas without anti-dew film (Fig. 6 – the left side of the sign). The value of the coefficient of retroreflection R_A is an indirect measure of the intensity of dew formation. Comparisons of the results for various combinations of film type, color and observation angle obtained on different sign materials show that the highest values of coefficient of retroreflection R_A were obtained on the composite and foamed PVC blanks, while the lowest values – for the galvanized steel blank. It was noted that the registered differences in the coefficient of retroreflection R_A resulting from the occurrence of dew do not have a pronounced influence on the legibility of the sign. It was also observed that the use of anti-dew film has a significant impact on the values of the coefficient of retroreflection R_A .

The obtained results of luminance L and characteristics of its changes might have been affected by errors resulting from the use of unstable light source and imprecise alignment of the observation angle. Precise arrangement of the entry angle and the observation angle is impossible under non-laboratory conditions. Luminance L is strongly dependent on the observation angle, entry angle and the source of light. More precise luminance measurements would have been obtained if a matrix luminance meter had been used. As visible from the obtained luminance characteristics, the characteristics of the composite sign differ from the remaining signs. This fact is probably related to the used combination of films to a much greater extent than to the sign blank material itself. The value of luminance of the composite sign decreases in time when anti-dew film is used, but it increases without anti-dew film (Fig. 5). For the remaining sign types, the opposite is true. Therefore, investigation of changes in dew formation based on luminance results was impossible.

5. CONCLUSIONS

The results of the performed tests warrant a conclusion that the most important element in evaluation of changes of dew formation intensity in time is observation by the naked eye. By taking photographs of reflective film at

wychładzanie się znaków następuje dużo mniej intensywnie niż na odcinkach drogowych. Wpływa to na intensywność występowania efektu rosznienia widzianego przez obserwatora w postaci czarnych plam. Wykonane zdjęcia nie oddają w pełni postrzegania znaków przez obserwatora, ponieważ podobnie jak luminancja ściśle zależy od kąta oświetlenia, kąta obserwacji oraz źródła światła. Z obserwacji poszczególnych znaków wynika, że tarcze wykonane z różnych materiałów rosą się w podobnym stopniu, co widać na Rys. 6.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że wpływ materiału tarczy znaku na występowanie efektu rosznienia jest niewielki. Analizowane rozwiązania materiałowe nie spowodowały ani wyeliminowania efektu rosznienia, ani też istotnego jego ograniczenia. Zarejestrowano natomiast nieznaczne różnice w intensywności i czasie trwania zjawiska rosznienia. Wyniki przeprowadzonych testów dają podstawę do kontynuowania badań nad rosznieniem tablic drogowych, tym razem na bardziej odkrytych poligonach badawczych, gdzie intensywność występowania zjawiska rosznienia jest dużo większa.

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Kirk A.R., Hunt E.A., Brooks E.W.: Factors affecting sign retroreflectivity. Oregon Department of Transportation, Salem, 2001
- [2] de Waard D., Brookhuis K., Mesken J.: Evaluation of legibility of not properly reflecting signs. *International Journal of Industrial Ergonomics*, **35**, 7, 2005, 645-651
- [3] Khalilikhah M., Heaslip K.: Analysis of factors temporarily impacting traffic sign readability. *International Journal of Transportation Science and Technology*, **5**, 2, 2016, 60-67
- [4] Chan-Young Lee, Hee-Man Kang, Tae-Sun Chang, Hyeon-Seok Lee: A Study on Material Properties Required for Quality Standard Establishment of Anti-Dew Film for Traffic Sign. *Proceedings of the KSRE Conference 2010, Korean Society of Road Engineers*, 489-492
- [5] Hutchinson J.W., Pullen T.A.: Performance of signs under dew and frost conditions. *Transportation Research Board Record*, **681**, 1978, 16-20
- [6] Woltman H.L.: A Study of Dew and Frost Formation on Retro-Reflectors. *Highway Research Record*, **70**, 1965, 63-66
- [7] Beysens D.: The formation of dew. *Atmospheric Research*, **39**, 1-3, 1995, 215-237
- [8] Beysens D.: Dew nucleation and growth. *Comptes Rendus Physique*, **7**, 9-10, 2006, 1082-1100
- [9] Kidron G.J.: The effect of substrate properties, size, position, sheltering and shading on dew: An experimental approach in the Negev Desert. *Atmospheric Research*, **98**, 2-4, 2010, 378-386
- [10] Hildebrand E., Bergin T.: Traffic sign retroreflectivity and the canadian environment. *CITE Conference*, 2004, 24p
- [11] Hildebrand E.: Reductions in Traffic Sign Retroreflectivity Caused by Frost and Dew. *Transportation Research Record*, **1844**, 2003, 79-84, DOI: 10.3141/1844-10
- [12] Khrapova M.: Determining the influence of factors on retroreflective properties of traffic signs. *Agronomy Research*, **17**, S1, 2019, 1041-1052
- [13] Yun D., Park J., Sung J., Kang W.: A Study on Laboratory Testing and Performance Evaluation Method for the Development of an Anti-dew Road Sign. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, **10**, 2013, 1598-1613
- [14] Patent WO1997031357A1: Dew-resistant retroreflective traffic sign having a textured glass surface
- [15] Gutiérrez A., Castillo A., Gómez J.M., Gutiérrez J.M., García-Cabot A.: Traffic Signs. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Humanities and Social Sciences*, **7**, 3, 2013, 543-546
- [16] Kornalewski L., Kowalska-Sudyka M., Ledwolorz A.: Proposal of post evaluation methodology for the impact of a new road investment project on road safety. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, **19**, 3, 2020, 183-197, DOI: 10.7409/rabdim.020.012
- [17] Jażdżik-Osmólska A.: Pandora – valuation method of social costs of road accidents in Poland. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, **14**, 2, 2015, 133-142, DOI: 10.7409/rabdim.015.009
- [18] CIE 54.2-2001 Retroreflection: Definition and Measurement. *International Commission on Illumination (CIE)*, 2001
- [19] PN-EN 12899-1:2010 Stałe pionowe znaki drogowe - Część 1: Znaki stałe
- [20] Żagan W.: Podstawy techniki świetlnej. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa, 2005

night, the authors actually registered the light reflected from the film. The observations imply that the shape and development of the surrounding terrain resulted in less intensive cooling of the sign at the test site than on exposed road sections, which affected the intensity of dew perceived by an observer as black patches on the sign. The photographs that were taken do not fully reflect the perception of an observer, since the obtained images, just as luminance, strongly depend on the illumination angle, observation angle and the light source. Observation of the tested signs indicates that sign boards of various materials are affected by dew formation to very similar degree, as visible in Fig. 6.

Based on the obtained results, it was determined that the influence of the sign blank material on the intensity of dew formation is insubstantial. Dew was neither eliminated nor significantly limited by the tested material solutions. However, some minor differences in the intensity and time of occurrence of dew were registered. The results of the tests provide a basis for further research of dew on road signs, this time using more open test sites, where dew formation is much more intensive.