

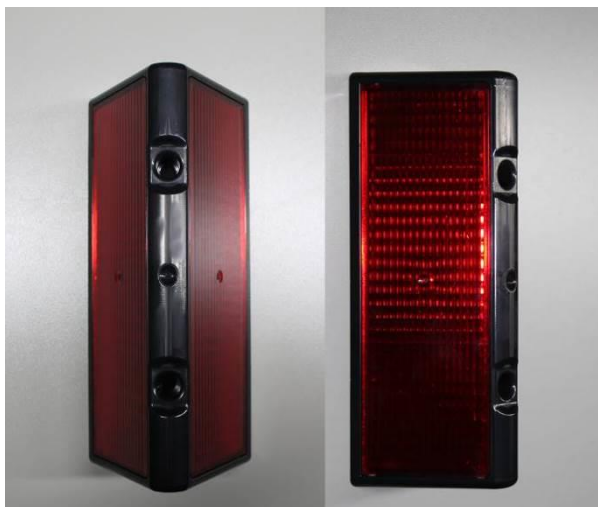
## PRAKTYCZNE ASPEKTY ZASTOSOWANIA MATRYCOWEGO MIERNIKA LUMINANCJI DO POMIARU CHARAKTERYSTYK OPTYCZNYCH NA PRZYKŁADZIE OPTYCZNYCH ODPLASZACZY ZWIERZĄT

*W artykule omówione zostały metody pomiaru charakteru przestrzennego odbicia światła przez elementy odblaskowe służące zapobieganiu kolizjom z udziałem dzikich zwierząt. Do pomiarów wykorzystano goniofotometr oraz matrycowy miernik luminancji wraz z ekranem projekcyjnym do projekcji tylnej. Przeprowadzono walidację dwóch wspomnianych metod. Zaproponowano niezależny sposób pomiarów odplaszaczy optycznych jak i ujęto praktyczne korzyści wynikające z zastosowania matrycowego miernika luminancji do badań fotometrycznych.*

### WSTĘP

Kolizje z udziałem dzikich zwierząt należą do jednych z najbardziej nieprzewidywalnych zdarzeń. Według policyjnych statystyk w roku 2016 zarejestrowano 182 wypadki, których przyczyną było najeżdżenie na zwierzę, co stanowi 0,5% wszystkich przyczyn wypadków drogowych [1].

Problem dzikiej zwierzyny na szlakach komunikacyjnych jest obecny nie tylko w transporcie drogowym, ale i kolejowym. Różne sposoby zapobiegania kolizjom z udziałem dzikich zwierząt opisano w publikacjach [2, 3]. Rozróżnia się metody pasywne i aktywne. Metoda pasywna polega na uniemożliwieniu dzikiej zwierzynie wejścia na drogę, przez budowę ogrodzeń i specjalnych przepustów umożliwiających przemarsz zwierząt w poprzek drogi. Metoda ta jest najbardziej skuteczna jednak nie zawsze jest ekonomicznie uzasadniona. Do metod aktywnych należą metody: optyczne (urządzenia odblaskowe), akustyczne (gwizdki ultradźwiękowe) i chemiczne (substancje zapachowe).



Rys. 1. Optyczne odplaszacze zwierząt „wilcze oczy”

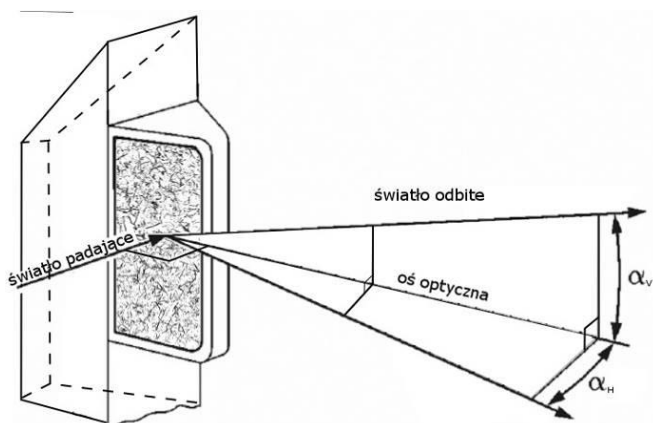
Optyczne odplaszacze zwierząt („wilcze oczy”) instaluje się na słupkach pikietażowych drogi – Rys. 1.

Odblaski odbijają i rozpraszają światło wyemitowane z nadjeżdżającego pojazdu w kierunku przyległych do drogi terenów, odstraszając w ten sposób zbliżającą się do drogi leśną zwierzynę. Rozmieszczone wzdłuż drogi odblaski tworzą optyczną psycho-barierę dla dzikich zwierząt. Sposób instalacji, wymagania mechaniczne i środowiskowe, oraz właściwości fotometryczne odblasków (wartości współczynnika odblasku dla danego kierunku) opisane są w dokumencie RVS 04.03.13 Wildschultz z września 2007 r. [4]. W dokumencie nie określono metody badań fotometrycznych określono jedynie kierunki oświetlenia oraz odbicia wiązki światła od urządzenia odblaskowego.

Różnego rodzaju odplaszacze optyczne stosuje się na świecie od około 50 lat. W tym czasie wykonano wiele badań skuteczności tych urządzeń, podsumowaniem przeprowadzonych badań i analiz jest artykuł niemieckich naukowców [5]. Niewielu badaczy wykonało badania fotometryczne zastosowanych odblasków [6]. Badania fotometryczne odplaszaczy zwierząt w warunkach laboratoryjnych wymagają zastosowania układu pomiarowego z ruchomym oświetlaczem albo ruchomym fotometrem, a wykonanie dokładnych pomiarów rozsyłu światłości tą metodą jest czasochłonne. W dalszej części artykułu zaprezentowana zostanie metoda pozwalająca na uzyskanie dokładnych wyników w krótkim czasie.

### 1. METODY POMIARU

Zgodnie z dokumentem [4] odblask podczas pomiarów powinien być oświetlany równoległą wiązką światła, o równomiernym natężeniu oświetlenia  $E$  pod kątem prostym do osi odniesienia w płaszczyźnie poziomej (Rys. 2). Wykonuje się pomiar natężenie oświetlenia  $E$  na powierzchni odblasku, a także światłość  $I$  w funkcji kątów obserwacji  $(\alpha_H, \alpha_V)$ .



**Rys. 2.** Kierunek padania światła podczas badań „wilczych oczu”

Do oceny ilościowej światła odbitego w kierunku  $(\alpha_H, \alpha_V)$  od odbłasku wprowadza się współczynnik odbłasku [7]:

$$R(\alpha_H, \alpha_V) = \frac{I(\alpha_H, \alpha_V)}{E} \left[ \frac{mcd}{lx} \right] \quad (1)$$

gdzie

- $I(\alpha_H, \alpha_V)$  – zmierzona światłość w danym kierunku,
- $E$  – średnie natężenie oświetlenia na powierzchni odbłasku,
- $\alpha_H$  – odległość kątową w osi poziomej od osi odniesienia,
- $\alpha_V$  – odległość kątową w osi pionowej od osi odniesienia,

**Badania rozsyłu światła odbitego przez odbłaski z użyciem goniofotometru**

Pomiary światłości  $I(\alpha_H, \alpha_V)$  wykonuje się przy użyciu goniofotometru pamiętając przy tym, że odbłask powinien być oświetlany zawsze światłem padającym prostopadłe do jego osi optycznej. W praktyce jest to trudne do zrealizowania, gdyż przy każdej zmianie poziomego kąta obrotu gonioimetru  $\alpha_H$  niezbędne jest przesunięcie układu oświetlającego odbłask, co sprawia że czas badań znacznie się wydłuża, a wyniki pomiarów uzyskuje się w ograniczonej liczbie punktów pomiarowych. Wartością mierzoną na głowicy fotometrycznej jest natężenie oświetlenia  $E$ , a światłość wylicza się z prawa odwrotności kwadratu odległości [8]:

$$I_{GF}(\alpha_H, \alpha_V) = E \times r^2, \quad (2)$$

gdzie  $r$  to odległość fotometru od środka fotometrycznego układu optycznego.

**Pomiary rozsyłu światła odbitego z wykorzystaniem matrycowego miernika luminancji**

Przestrzenne rozsyły światłości układów świetlnooptycznych można także badać z wykorzystaniem matrycowego miernika luminancji. Do tego celu wykorzystuje się ekran odbiciowy bądź transmisyjny, na który pada światło odbite od badanego obiektu. Zmierzona luminancja ekranu jest następnie przeliczona na światłość przy wykorzystaniu podstawowych zależności geometrycznych i praw fotometrycznych [9,10]:

$$I_{MLM}(\alpha_H, \alpha_V) \propto \frac{L(x_i, y_j) \times r(x_i, y_j)^2}{\tau} \times \frac{1}{f(\varphi)} \quad (3)$$

przy czym:

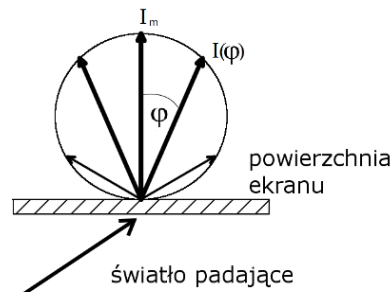
- $r(x_i, y_j)$  – odległość między elementem powierzchni ekranu  $dS_{ij}$  o współrzędnej  $x_i$  i  $y_j$  mającego odwzorowanie optyczne w pikselu

miernika matrycowego o współrzędnej  $(i, j)$  a środkiem fotometrycznym odbłasku,

$L(x_i, y_j)$  – luminancja skończonego elementu powierzchni ekranu  $dS_{ij}$  w  $cd/m^2$ ;

$\tau$  – współczynnik transmisji ekranu projekcyjnego,

$f(\varphi)$  – funkcja rozpraszania światła zależna od kąta obserwacji  $\varphi$  - Rys. 3 ( $f(\varphi) = I_{max} \cos(\varphi)$  dla rozpraszacza Lambertowskiego).



**Rys. 3.** Rozpraszanie światła na ekranie transmisyjnym

Szczegóły obliczeń i uzyskane wzory dla ekranu odbiciowego zostały zaprezentowane w rozprawie [10].

Współczynnik transmisji  $\tau$  wylicza się ze wzoru [11]:

$$\tau = \frac{\int_0^{\infty} S(\lambda) \times \tau(\lambda) \times V(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} S(\lambda) \times V(\lambda) d\lambda}, \quad (4)$$

gdzie

- $\tau(\lambda)$  – monochromatyczny współczynnik transmisji,
- $S(\lambda)$  – rozkład widmowy względny światła odbitego od odbłasku,
- $V(\lambda)$  – czułość względna oka ludzkiego.

Przy użyciu matrycowego miernika luminancji również konieczne jest przesuwanie układu oświetlającego odbłask o jego kąt obrotu na gonioimetrze, jednak zakres kątów pomiarowych jest znacznie większy i zależy od odległości badanego obiektu od ekranu, powierzchni ekranu oraz pola widzenia (obiektywu) miernika matrycowego.

**2. PRZEBIEG BADAŃ**

Pomiary dwóch odbłasków: barwy białej i czerwonej, odbijających światło w płaszczyźnie poziomej wykonywano dwoma wcześniej omówionymi sposobami.

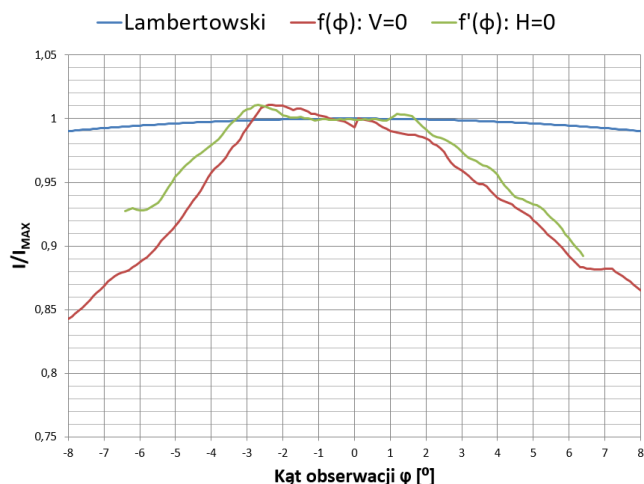
Schemat stanowiska do pomiarów charakterystyk świetlnych optycznych odplaszaczy z użyciem matrycowego miernika luminancji oraz ekranu transmisyjnego przedstawiono na rysunku 4. Projektor z żarówką halogenkową umieszczawiano w odległości od 4 do 6 metrów od odbłasków w zależności od kąta obrotu gonioimetru  $\alpha_H$ . Dodatkowo wykorzystano przesłonę o odpowiednich rozmiarach aby oświetlana została jedynie powierzchnia czynna odbłasku w celu zmniejszenia ilości światła rozproszonego w ciemni fotometrycznej. Ekran do projekcji tylnej umiejscowiony został w odległości 5,08 m od środka oświetlanego odbłasku w osi odniesienia, a matrycowy miernik luminancji LumiCam 1300 Advanced w odległości 10,18m. Przy odległości miernika od ekranu wynoszącej 5,1 m oraz ogniskowej obiektywu 28 mm zmierzono luminancję powierzchni ekranu o wymiarach w przybliżeniu 1,5 m x 1,1 m (szer. x wys.) co pozwala na analizę światłości w płaszczyźnie poziomej obejmującej ponad 16° z praktycznie dowolną rozdzielczością przy wykonaniu jednego pomiaru rozkładu luminancji.

Do otrzymania prawidłowych wyników niezbędna jest znajomość charakteru rozpraszania światła przez ekran projekcyjny, a także jego współczynnik transmisji (wzór 3).

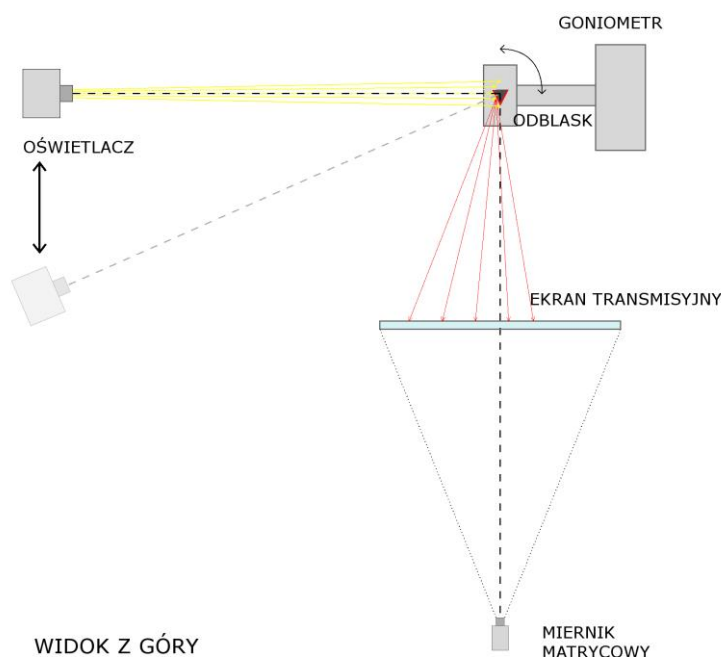
Ponieważ funkcja  $f(\varphi)$  nie jest znana dla wykorzystywanego ekranu transmisyjnego, obliczono współczynniki korekcyjne dla zmierzonych wartości przez „mapowanie” badanego ekranu. Mapowanie to polegało na pomiarze tego samego urządzenia świecącego przy użyciu goniometru z rozdzielczością  $0,1^\circ$  w dwóch osiach oraz ekranu transmisyjnego wraz z miernikiem matrycowym. Wtedy współczynniki korekcyjne są postaci ilorazu światłości zmierzonej przy użyciu fotometru do tej wyliczonej z luminancji przy użyciu miernika matrycowego:

$$c_{cor}(\alpha_H, \alpha_V) = \frac{I_{GF}(\alpha_H, \alpha_V)}{I_{MLM}(\alpha_H, \alpha_V)} \quad (5)$$

Z obliczonych współczynników korekcyjnych wyliczono funkcję  $f(\varphi)$  w osi poziomej i pionowej dla badanych zakresów kątów jako odwrotność współczynnika korekcyjnego przemnożonego przez światłość maksymalną (przyjętą w punkcie  $H=0, V=0$ ) – Rys. 5.



**Rys. 5.** Charakter rozpraszania światła przez ekran transmisyjny wykorzystanego do badań



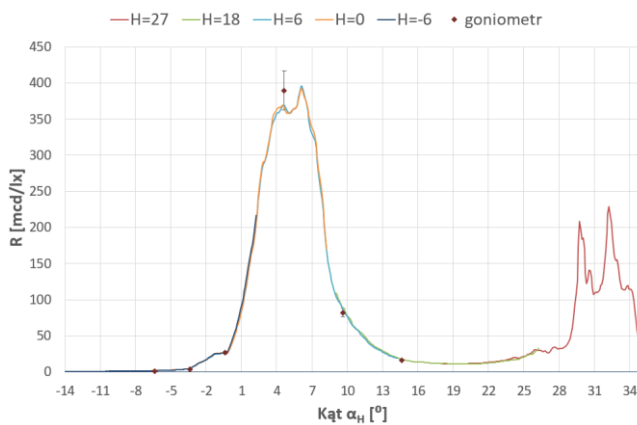
**Rys. 4.** Schemat stanowiska pomiarowego do pomiarów „wilczych oczu” z wykorzystaniem matrycowego miernika luminancji

Linia niebieską na wykresie zilustrowano rozpraszanie światła opisane Prawem Lamberta, czerwoną rozpraszanie światła przez ekran w osi poziomej, a zieloną w osi pionowej. Z wykresu wynika, że wspomniana funkcja nie jest symetryczna obrotowo, a wprowadzenie współczynników korekcyjnych światłości wyliczonych z rozkładów luminancji jest w pełni uzasadnione.

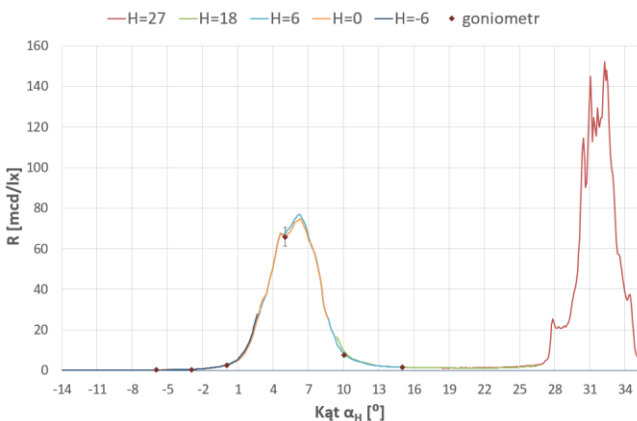
## WYNIKI POMIARÓW

Pomiary z użyciem głowicy fotometrycznej wykonano dla sześciu różnych kątów obrotu H stolika goniometru w osi poziomej a przy użyciu miernika matrycowego – dla pięciu. Dla pomiarów miernikiem luminancji współczynniki transmisji dla odbłasku białego jak i czerwonego wyliczono ze wzoru (4), przy czym monochromatyczne współczynniki transmisji zmierzono spektrofotometrem w geometrii  $d/8$  w przedziale od 400 do 700 nm, a rozkład widmowy światła odbitego przez odbłaski przy użyciu spektroradiometru. Wyniosły one odpowiednio  $\tau_r=55,2\%$  dla odbłasku czerwonego oraz  $\tau_w=53,2\%$  dla białego. Niezależnie od metody badań natężenie oświetlenia  $E$  zmierzono w trzech miejscach na powierzchni czynnej odbłasku przy użyciu luksomierza - do obliczeń wykorzystano wartość średnią.

Obliczone współczynniki odbłasku  $R$  obliczono zgodnie ze wzorem (1) i zaprezentowano graficznie na rysunkach 6 i 7. Spójną linią o różnych barwach na wspomnianych wykresach stanowią wyniki badań uzyskane przy kolejnych obrotach stolika goniometru w osi poziomej z użyciem miernika matrycowego. Z kolei czerwone punkty wraz ze słupkami błędów ilustrują wyniki zmierzone z użyciem głowicy fotometru.



**Rys. 6.** Współczynniki odbłasku  $R$  odplaszacza optycznego barwy białej



**Rys. 7.** Współczynniki odbłasku  $R$  odplaszacza optycznego barwy czerwonej

W centralnej części widoczny jest światło rozproszone (odbłask), natomiast z prawej strony wykresów odbicie lustrzane od gładkiej powierzchni urządzenia, barwa odbicia lustrzanego jest zawsze tak sama jak barwa światła oświetlacza. Zmierzone wartości znacznie przekraczają wymagania minimalne, które wynoszą 2 mcd/lx dla osi odniesienia i 1 mcd/lx dla kątów  $\alpha_H = \pm 10^\circ$ . Rozsył światła nie jest symetryczny względem osi odniesienia. Widoczne są dwa wyraźne maksima jedno przesunięte względem osi odniesienia, drugim maksimum jest odbicie lustrzane.

Niepewności względne rozszerzone wyniosły odpowiednio  $u(R_{GF})=6\%$  do metody z użyciem głowicy fotometrycznej oraz  $u(R_{MLM})=7\%$  z użyciem matrycowego miernika luminancji.

Światłości zaczerpnięte do obliczeń współczynnika  $R$  uzyskane przy użyciu matrycowego miernika luminancji zostały skorygowane ze względu na nielambertowski sposób rozpraszania światła przechodzącego przez ekran (przemnożono je przez wcześniej uzyskane współczynniki korekcyjne ze wzoru 5).

## PODSUMOWANIE

Wyniki pomiarów uzyskane przy użyciu dwóch niezależnych metod są w pełni powtarzalne, spójne i zgodne w przedziałach przyjętych niepewności pomiarowych. Niewątpliwie wykorzystując matrycowy miernik luminancji wraz z ekranem projekcyjnym można dożyć szybciej i efektywniej uzyskać przestrzenny rozkład światłości różnych urządzeń świetlnych z praktycznie dowolną rozdzielczością co jest bardzo trudne z użyciem goniofotometru. Nie jest konieczne stosowanie ekranów o rozproszeniu lambertowskim. Niemniej jednak

niezbędna jest dokładna znajomość fotometrycznych własności użytego ekranu transmisyjnego i przeprowadzenia skomplikowanych obliczeń w celu skorygowania uzyskanych wyników.

Sama metoda może być wciąż rozwijana chociażby przez zwiększenie odległości oświetlenia odbłasku. Odpowiada to bardziej realnej sytuacji gdy podczas nocnej jazdy samochodem odbłaski oświetlane są przeważnie z dużo większej odległości wynoszącej nawet kilkadziesiąt metrów. Co więcej, do obliczeń wielkości fotometrycznych wykorzystuje się względną czułość oka ludzkiego, która to jak wiadomo może się różnić od czułości oczu zwierzęcy leśnej takiej jak jelenie, sarny czy dziki. Charakterystyki te mogą okazać się przydatne w ustaleniu czy optyczne odplaszacze zwierząt rzeczywiście pełnią swoją funkcję w odstraszeniu dzikiej zwierzyny.

## BIBLIOGRAFIA

- Raport z zakresu wypadków drogowych w Polsce w 2016 roku, Komenda Główna Policji, Biuro Ruchu Drogowego, Warszawa 2017
- Żyłkowska J. (2013), Metody zapobiegania kolizjom drogowym i kolejowym z udziałem zwierząt, Studia i materiały CEPL w Rogowie, Rozdział 15. Zeszyt 36/3/2013
- Kowal P., Jasińska K, Babińska-Werka J. (2013), Aktywne metody ochrony zwierząt wzdłuż linii kolejowych na obszarach Europejskiej Sieci Ekologicznej Natura 2000, Przegląd Naukowy – „Inżynieria i Kształtowanie Środowiska”, nr 62, 2013: 463–471
- RVS 04.03.12: WILDSCHEUTZ, Ausgabe 1. September 2007
- Brieger F., Hagen R., Vetter D., Dormann C.F., Storch I. (2016), Effectiveness of light reflecting devices: A systematic analysis of animal-vehicle collision data, ELSEVIER, Accident Analysis and Prevention 97 (2016) s. 242-260
- Sielecki L.E (2001), „Evaluating the effectiveness of wildlife accident mitigation installations with the wildlife accident reporting system (WARS) in British Columbia, Road Ecology Center eScholarship Repository, John Muir Institute of Environment, University of California, Davis
- CIE 54.2-2001 Technical Report: Retroreflecion: definition and measurement
- CIE 70-1987 Technical Report: The measurement of absolute luminous intensity distributions, Photocopy Edition 2008
- Legierski M., Michałek P. (2016), Zastosowanie matrycowego miernika luminancji do pomiarów przestrzennego rozsyłu światłości lamp i opraw, „Autobusy- Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 12/2016
- Legierski M., Pomiar rozsyłu światłości układów świetlnono -optycznych przy użyciu goniofotometru oraz kamery fotometrycznej LumiCam 1300 Advanced. Zestawienie i porównanie obydwu metod. Rozprawa magisterska, Kraków 2016
- CIE 130-1998 Technical Report: Practical methods for the measurement of reflection and transmittance

### Practical aspects of imaging luminance measuring device method of wild warning reflectors optical measurements

*This paper describes tests methods of spatial reflection of light for wild warning reflectors using for wildlife-vehicle collision reduction. Measurements were made using goniophotometer and imaging luminance measuring device (ILMD) with rear projection screen. Validation of previous methods has been performed. Independent method for wild warning reflectors repellents measurements was proposed and practical advantages of using imaging photometer for photometric measurements were discussed.*

Autorzy:

mgr inż. **Marcin Legierski** – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o., E-mail: [Marcin.Legierski@bosmal.com.pl](mailto:Marcin.Legierski@bosmal.com.pl)

mgr inż. **Piotr Michałek** – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o., E-mail: [Piotr.Michalek@bosmal.com.pl](mailto:Piotr.Michalek@bosmal.com.pl)