

# Możliwości wykorzystania matrycowych mierników luminancji w pomiarach olśnienia drogowych opraw oświetleniowych

**Streszczenie.** Pomiar i analiza olśnienia przykrego w warunkach terenowych są stosunkowo skomplikowanym zadaniem. Po pojawieniu się na rynku Matrycowych Mierników Luminancji (MML), pomiary te stały się pozornie technicznie możliwe do wykonania. Rzeczywistość zweryfikowała wiele mitów i poglądów na ten temat. W artykule przedstawione zostaną wstępne analizy dotyczące możliwości wykorzystania MML w pomiarach olśnienia (oprawy ze źródłami wyładowczymi oraz LED) oraz w pomiarach luminancji wieloźródłowych opraw oświetleniowych, wykonanych w technologii LED.

**Abstract.** Measurement and analysis of discomfort glare under field conditions are relatively complicated task. Using the digital luminance measuring cameras (LMC) in measurements, make these measurements technically feasible seemingly. But the reality has verified many myths and views on the subject. In the article will be presented preliminary analysis and problems related to the potential use of LMC in the glare measurement (with discharge and LED sources luminaires) and on luminance measurements of multisource LED luminaires also. **(Possibilities of using digital luminance measuring camera for street luminaires glare measurements).**

**Keywords:** lighting technology, street lighting measurements, luminance measuring camera, discharge light source, LED, glare

**Słowa kluczowe:** technika świetlna, pomiary oświetlenia drogowego, matrycowy miernik luminancji, lampy wyładowcze, LED, olśnienie

doi:10.12915/pe.2014.09.45

## Wstęp

W celu określenia olśnienia przykrego, pochodzącego od opraw ulicznych należy wykonać szereg pomiarów. Podstawą w realizacji tego zadania, jest prawidłowe zarejestrowanie i przeanalizowanie luminancji opraw oświetleniowych oraz ich otoczenia w warunkach terenowych. Zakres kątów obserwacji oprawy, które umożliwiają, lub precyzyjniej, które narażają kierowcę na obserwację wysokich luminancji opraw oświetlenia drogowego jest bardzo szeroki (rys. 1).

W pracy [2] ustalono, iż w zdecydowanej większości przypadków, zawiera się on w granicach od ok.  $78,3^{\circ}$  (dla odległości 40m i wysokości zawieszenia oprawy wynoszącej 8m) do ok.  $85^{\circ}$  dla odległości oscylującej wokół 100m. Oczywiście jest on ściśle uzależniony od wysokości zawieszenia opraw oraz odległości od pojazdu.

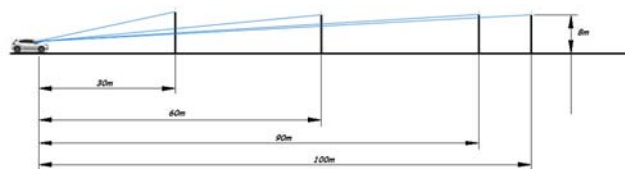
## Opis projektu

Badania [2] udowodniły, że luminancje związane z nowoczesnymi oprawami oświetlenia ulicznego, wykonanymi w technologii LED, oscylują wokół znacznie wyższych poziomów, niż luminancje opraw „klasycznych”. Pod pojęciem opraw „klasycznych”, na potrzeby poniższego artykułu, będą rozumiane oprawy odbłyśnikowe ze źródłami wyładowczymi. Spowodowane jest to różną specyfiką układów „źródło światła – układ optyczny” w obu przypadkach.

W przypadku opraw oświetleniowych z wyładowczym źródłem światła, pod kątami potencjalnie „olśniewającymi” kierowcę, widziany jest odbłyśnik, którego luminancja jest znacznie niższa niż maksymalna luminancja jarznika źródła światła. Wysokie wartości światłości osiągane są, przez zwiększanie pola powierzchni pozornej figury jasnych punktów, obserwowanej z danego kierunku.

W przypadku diod elektroluminescencyjnych, w zasadzie w całym zakresie kątów  $\gamma$ , w których oprawa świeci na powierzchnię drogi, obserwowana luminancja maksymalna na powierzchni oprawy, oscyluje wokół wartości luminancji maksymalnej diod LED zainstalowanych w oprawie [2].

Luminancje maksymalne pojedynczych diod Power-LED, rejestrowane MML z niewielkich odległości, najczęściej oscylują wokół kilkunastu milionów  $\frac{cd}{m^2}$ .



Rys. 1. Typowe (przykładowe) sytuacje drogowe - analizowane w projekcie.

Podczas pomiarów laboratoryjnych zaobserwowano, iż wraz ze zwiększaniem odległości pomiarowej (0.33m, 3.3m, 8m), zakresy luminancji, dla odpowiadających sobie kątów obserwacji (tych samych), ulegają zdecydowanemu przesunięciu „w dół” – w kierunku coraz niższych wartości. Zjawisko zobrazowano na rysunku 2. Dodatkowe pomiary, przeprowadzone zarówno dla oprawy wykonanej w technologii LED, jak i dla oprawy z lampą sodową potwierdziły wzrost błędów pomiarowych i zwróciły uwagę na wykorzystywany sprzęt pomiarowy.

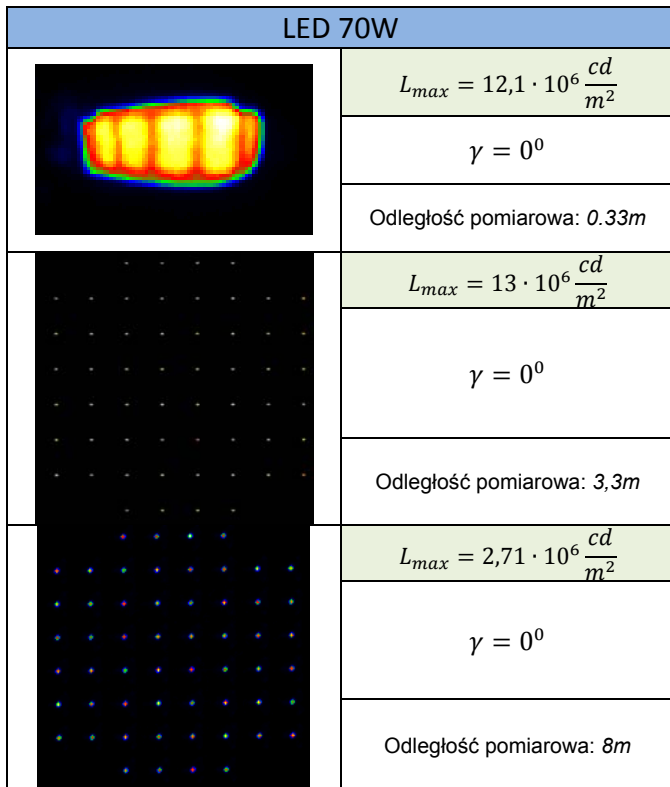
Tabela 1. Parametry wykorzystywanego sprzętu pomiarowego.

Matrycowy miernik luminancji (MML) firmy Technoteam (LMK)	
Nazwa sensora	CCD Sony ICX 285 AL: Diagonal 11 mm (Type 2/3)
Wymiary sensora	8.8mm x 6.6mm
Liczba punktów matrycy	1030pix x 1380pix
Ogniskowa obiektywu	50mm

Po uwzględnieniu parametrów matrycy miernika (tab. 1) wyliczono, iż wymiary pojedynczego punktu (pixela) matrycy to ok.  $6,41 \cdot 10^{-6}m \times 6,37 \cdot 10^{-6}m$ . Po obliczeniu, iż dla odległości pomiarowej, wynoszącej 8m, kąt widzenia obiektywu wynosi  $10,06^{\circ}$  w poziomie i  $7,55^{\circ}$  w pionie, okazało się, iż pole widziane przez obiektyw ma wymiary  $1,41m \times 1,06m$ , natomiast pole rejestrowane przez pojedynczy punkt matrycy to  $1,03 \cdot 10^{-3}m \times 1,02 \cdot 10^{-3}m$  (niemal identyczne z wymiarami chipu świecącej diody LED, wykorzystanej do budowy oprawy) (Rys. 3).

Z tego wynika, iż niemal w każdej możliwej sytuacji, pojedynczy punkt matrycy rejestruje luminancję średnią, składającą się z luminancji fragmentu chipu diody elektroluminescencyjnej i wartości luminancji jej najbliższego otoczenia. Powoduje to, iż wraz ze wzrostem

odległości pomiarowej, maksymalna luminancja widziana przez mierniki matrycowe ulega uśrednieniu (zależnie od odległości pomiarowej, wykorzystanego obiektywu, wielkości matrycy i liczby pikseli). Do tego stopnia, że przy typowej odległości pomiarowej, zgodnej z normą [3], wynoszącej 60m, oprawa „potencjalnie olśniewająca” może znajdować się w odległości 60m+moduł (30-40m) - zobrazowano to na rysunku 1. Powoduje to, iż użyteczność mierników z matrycami posiadającymi nawet powyżej 10 megapikseli (Mpix), przy zastosowaniu obiektywu o ogniskowej obejmującej ulicę i jej bezpośrednie otoczenie (wartości ogniskowej poniżej 100mm), staje się mocno dyskusyjna.



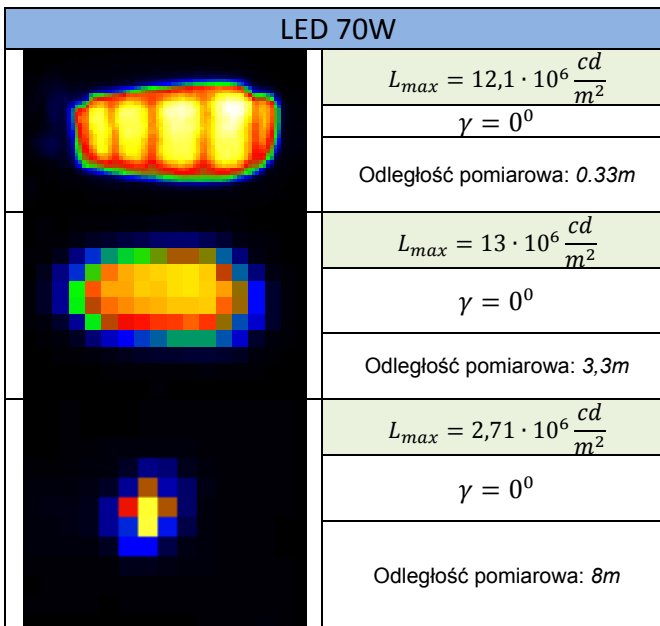
Rys. 2. Rozkłady luminancji oprawy LED, zarejestrowane laboratoryjnie – odległość pomiarowa 0.33m, 3.3m, 8m (płaszczyzna C0 - C180).

Na rysunkach 2 i 3, pokazano wyniki pomiarów, uzyskany przy wykorzystaniu dostępnego, bardzo popularnego na rynku sprzętu pomiarowego (tab. 1). Jak wynika z tabeli, prawidłowe zarejestrowanie luminancji oprawy oświetlenia ulicznego, obserwowanej z kilkudziesięciu metrów jest niemożliwe. Wykonano szereg analiz i obliczeń, w celu wyznaczenia/określenia parametrów nieistniejącej obecnie „super-matrycy”, która oferowałaby możliwość właściwego wykonania pomiarów olśnienia przykrego w warunkach terenowych.

Należy podkreślić, że żadna konstrukcja matrycowego rejestratora (nie tylko miernika luminancji, ale również aparatu cyfrowego), dostępna obecnie na rynku (na świecie), nie umożliwia prawidłowego wykonania pomiarów luminancji pod kątem określenia olśnienia przykrego w warunkach drogowych.

W laboratorium Zakładu Techniki Świetlnej Politechniki Warszawskiej przeprowadzono testy, które potwierdziły przypuszczenia, że aby uzyskać prawidłową wartość luminancji maksymalnej dla typowej diody typu Power LED (wymiary chipu z układem optycznym to ok.  $10mm^2$ ), której chip przykryty jest kopułką z luminoforem, na powierzchnię

tego źródła światła powinno przypadać od minimum 100 do 400 pikseli (zależnie od konstrukcji chipu świecącego). Na rysunkach 4 i 5 umieszczono przykładowy podział chipu diody (z układem optycznym) na 8 i 32 pola. We wszystkich przeprowadzonych obliczeniach i analizach, założono brak odstępu pomiędzy sąsiadującymi pikselami matrycy.



Rys. 3. Rozkłady luminancji pojedynczej diody z układem optycznym z oprawy LED, zarejestrowane laboratoryjnie – odległość pomiarowa 0.33m, 3.3m, 8m (płaszczyzna C0 - C180).

### Podsumowanie

Z obliczeń wynika, iż obecnie nie istnieją techniczne możliwości zbudowania miernika luminancji oferującego poprawne wyniki pomiarów olśnienia przykrego, przy rejestracji pojedynczego obrazu. Aby rozwiązać ten problem, należy z pomiarów cząstkowych (przy wykorzystaniu kilku obiektywów o różnych ogniskowych), wyodrębnić obraz złożeniowy, zawierających prawidłowe dane pomiarowe. Uzyskane w ten sposób dane pomiarowe (z wielu pomiarów), należy „poskładać” w jeden obraz z lokalnie zagęszczoną rozdzielczością. W tabeli 2 zawarto wybrane przykładowe obliczenia dla matryc obecnie dostępnych na rynku oraz matrycy nazwanej umownie „wirtualną”, składającej się z ponad 160 milionów punktów. W toku realizacji projektu, obliczenia wykonano dla wszystkich kombinacji wybranych obiektywów rektilinearnych o ogniskowych 17mm, 50mm, 300mm, i odległości pomiarowych: 8m, 30m, 100m, w celu określenia zasadności doboru obiektywów dla realizacji założonego zadania pomiarowego.

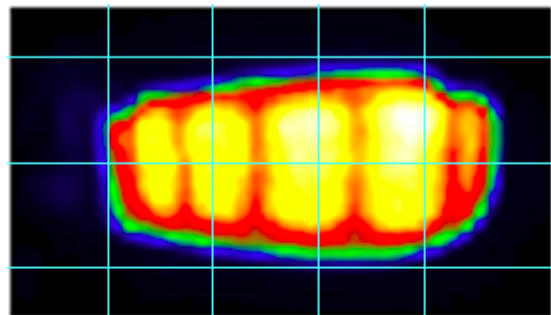
Matrycowe Mierniki Luminancji są przyszłością w technice świetlnej, czego z całą pewnością dowodzą prace [1], [5].

Możliwości oferowane przez te urządzenia, mogą stać się załącznikiem opracowania nowoczesnych metod pomiarowych i symulacyjnych [4], [5]. Jednocześnie w efekcie realizacji projektu okazało się, iż proste wykorzystanie ich do weryfikacji olśnienia i innych parametrów jakości oświetlenia ulicznego, może być obarczone ogromnymi błędami. Na podstawie własnych doświadczeń oraz analizy literatury, żadna znana autorowi istniejąca konstrukcja matrycowego detektora i żadna aplikacja pomiarowa nie oferuje wiarygodnego wyniku – co zostało również dowiedzione w skutek realizacji projektu. Jednocześnie algorytmy i programy opracowane w trakcie

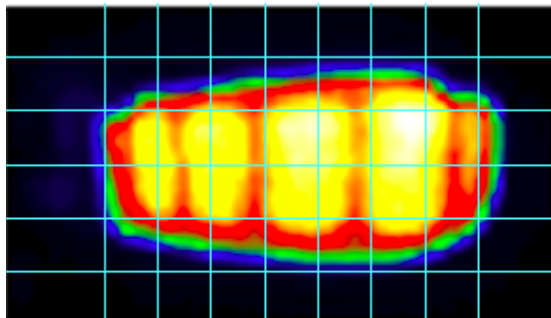
badan, będą odpowiednie do wykorzystania po pojawieniu się na rynku (lub opracowaniu w wyniku innego projektu) przyrządów pomiarowych, oferujących wystarczającą precyzję pomiarów. Do tego czasu przy wykorzystaniu dzisiejszych metod nawet nieistniejąca obecnie matryca o typowej wielkości chipu APS-C (22.5mmx15mm) i rozdzielczości 100Mpix, przy ogniskowej wynoszącej 50mm posiada zbyt małą rozdzielczość do prawidłowej rejestracji luminancji wieloźródłowych opraw LED przy odległości pomiarowej przekraczającej 8m (dla 8m obszar diody będzie rejestrowany w tym przypadku z wykorzystaniem 12 punktów matrycy – 12 pixeli).

Tabela 2. Przykładowe obliczenia pola widzenia obiektywu i pojedynczego pixela dla wybranych warunków pomiarowych.

MATRYCA	Liczba pixeli	„pole widzenia „ matrycy		„pole widzenia „ pixela	
	MPix	deg	szer x wys [m]	deg	szer x wys [mm]
<b>Obiektw rektilinearny 50mm – odległość pomiarowa 8m</b>					
2/3” 1380x1030	1,42	10,06 x 7,55	1,42 x 1,06	0,0073 x 0,0073	1,02 x 1,03
APS-C 5184x3456	17,91	25,36 x 17,06	3,79 x 2,46	0,005 x 0,005	0,69 x 0,69
Wirtualna 15552x 10386	161,24	25,36 x 17,06	3,79 x 2,46	0,0017 x 0,0017	0,23 x 0,23
Wirtualna 25920x 17280	447,89	25,36 x 17,06	3,79 x 2,46	0,001 x 0,001	0,14 x 0,14
<b>Obiektw rektilinearny 50mm – odległość pomiarowa 100m</b>					
2/3” 1380x1030	1,42	10,06 x 7,55	5,32 x 3,98	0,0073 x 0,0073	3,83 x 3,84
APS-C 5184x3456	17,91	25,36 x 17,06	47,4 x 30,69	0,005 x 0,005	8,68 x 8,68
Wirtualna 15552x 10386	161,24	25,36 x 17,06	47,4 x 30,69	0,0017 x 0,0017	2,89 x 2,89
Wirtualna 25920x 17280	447,89	25,36 x 17,06	47,40 x 30,69	0,001 x 0,001	1,74 x 1,74
<b>Obiektw rektilinearny 300mm – odległość pomiarowa 8m</b>					
2/3” 1380x1030	1,42	1,68 x 1,26	0,23 x 0,18	0,0012 x 0,0012	0,17 x 0,17
APS-C 5184x3456	17,91	4,30 x 2,86	0,6 x 0,4	0,0008 x 0,0008	0,12 x 0,12
Wirtualna 15552x 10386	161,24	4,30 x 2,86	0,60 x 0,40	0,0003 x 0,0003	0,04 x 0,04
Wirtualna 25920x 17280	447,89	4,30 x 2,86	0,60 x 0,40	0,0002 x 0,0002	0,02 x 0,02
<b>Obiektw rektilinearny 300mm – odległość pomiarowa 100m</b>					
2/3” 1380x1030	1,42	1,68 x 1,26	2,93 x 2,20	0,0012 x 0,0012	2,13 x 2,14
APS-C 5184x3456	17,91	4,30 x 2,86	7,51 x 5,00	0,0008 x 0,0008	1,45 x 1,45
Wirtualna 15552x 10386	161,24	4,30 x 2,86	7,51 x 5,00	0,0003 x 0,0003	0,48 x 0,48
Wirtualna 25920x 17280	447,89	4,30 x 2,86	7,51 x 5,00	0,0002 x 0,0002	0,29 x 0,29



Rys. 4. Przykładowy podział chipu diody (z układem optycznym)



Rys. 5. Przykładowy zagęszczony podział chipu diody

W Zakładzie Techniki Światłej trwają obecnie prace nad opracowaniem systemu, odpowiednich algorytmów i wytycznych pomiarowych, pozwalających na eliminację zaobserwowanych problemów przy wykorzystaniu obecnie istniejącego sprzętu pomiarowego. Wyłączenie złożenie wyników wielu pomiarów cząstkowych, składających się na końcowy wynik, może przynieść efekt w postaci prawidłowej rejestracji rzeczywistych wartości luminancji opraw oświetleniowych oraz ich otoczenia przy pomiarach drogowych. Braną pod uwagę ewentualnością jest również możliwość wykonania dodatkowych pomiarów laboratoryjnych uzupełniających wyniki pomiarów ulicznych o poszukiwane – prawdziwe wartości luminancji opraw oświetleniowych. Ograniczenie potrzeby wykonywania uzupełniających pomiarów laboratoryjnych, wpłynie jednak pozytywnie na koszty oraz prostotę pomiarów oświetlenia ulicznego.

#### LITERATURA

- [1] Słominski S., „The dynamic mapping of luminance in analytical model of light source”, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, 8/2008, str. 101-104.
- [2] Słominski S., „Laboratoryjne pomiary luminancji LED-owych i sodowych wysokoprężnych opraw oświetlenia ulicznego pod kątem określenia oświetlenia przykrego”, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, pp. 281-284, 10.
- [3] Polska Norma PN-EN 13201 „Oświetlenie dróg”; PKN, Warszawa 2007 r.
- [4] Polska Norma PN -76/E - 02032 „Oświetlenie dróg publicznych”, PKN; Warszawa 1976 r.
- [5] Słominski S., „Luminance mapping to the light source model - possibilities to use a MML in the lighting technology field”, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, 4/2011, str. 87-89.

**Autor:** Sebastian Słomiński, dr inż., Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, Zakład Techniki Światłej, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: sebastian.slominski@ien.pw.edu.pl