

Pomiary rozkładu luminancji na ulicy oświetlonej oprawami LED

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów rozkładu luminancji, wykonane na ulicy Dzielnej w Warszawie. Ulica ta jest oświetlona dwoma rodzajami opraw LED. Badania wykonano za pomocą specjalizowanej kamery LMK Mobile Advanced do pomiaru luminancji. Zaprezentowano nowoczesny system pomiarowy i przedstawiono rozkłady luminancji na drodze. Dokonano porównania otrzymanych wyników.

Abstract. The article presents results of luminance distribution measurements conducted on Dzielna Street in Warsaw. This street is lit by two types of LED lamps. The researches were performed by means of specialized LMK Mobile Advanced Camera for luminance measurement. Modern measurement system has been presented and luminance distributions on the road have been shown. The obtained results have been compared. (*Luminance distribution measurements on a street lit by LED lamps Preparation*).

Słowa kluczowe: luminancja, oświetlenie LED, LMK Mobile Advanced, oświetlenie uliczne.

Keywords: luminance, LED lighting, LMK Mobile Advanced, street lighting.

Wstęp

Kontrola stanu oświetlenia drogi jest kluczowym czynnikiem utrzymania wysokich standardów oświetlenia oraz bezpieczeństwa ruchu zarówno kierowców, jak i pieszych. Obecnie prowadzone pomiary oświetlenia ulicznego mają miejsce głównie przy odbiorze nowo projektowanych instalacji. Niezbędna jest także kontrola stanu oświetlenia eksploatowanych już instalacji pod kątem utrzymania założonych parametrów oświetlenia i przeprowadzenia ewentualnej ich konserwacji.

Dotychczas istniały ograniczenia dotyczące pozyskiwania danych fotometrycznych, a w szczególności parametrów związanych z luminancją nawierzchni jezdni. Wykorzystanie klasycznych mierników luminancji (np. LMT1009 lub LS-110) zmuszało do stosowania procedury pomiarowej wymagającej od operatora precyzji ustawienia przyrządu i przeznaczenia znaczącego czasu potrzebnego na wykonanie pomiarów dla przyjętej liczby określonych punktów pomiarowych na jezdni. Wykonanie pomiarów według wskazówek zawartych w normie [1], szczególnie w warunkach ciągłej eksploatacji jest trudne do zrealizowania, a w warunkach nasilonego ruchu miejskiego praktycznie niemożliwe do przeprowadzenia bez zamknięcia danej arterii komunikacyjnej.

Wymagania oświetleniowe dotyczące dróg zawarto w Polskiej Normie [1]. Dla klas ME/MEW przyjęto następujące kryteria:

- Luminancję średnią jezdni, L_{sr} [cd/m²],
- Równomierność luminancji całkowitą, U_o ,
- Równomierność luminancji wzdłużną, U_L .

Ponadto istnieją wymogi dotyczące:

- Wskaźnika wzrostu wartości progowej kontrastu, TI [%],
- Wskaźnika oświetlenia poboczny, SR .

Opracowana dokumentacja techniczna ulicy jest podstawą do wykonania obliczeń w programach wspomagających projektowanie oświetlenia. Na podstawie sytuacji oświetleniowej dokonuje się wyboru klasy oświetleniowej [1,2]. Po zweryfikowaniu wstępnych projektów następuje wybór optymalnego rozwiązania. Efektem wszystkich tych działań jest funkcjonująca instalacja oświetleniowa, której kontrola powinna być prowadzona zarówno na etapie inwestycyjnym, jak i eksploatacyjnym z założonym harmonogramem.

Ciągłe dążenie do minimalizacji zużycia energii elektrycznej doprowadziło do powstania opraw ulicznych, wykorzystujących technologię LED. Stosowanie półprzewodnikowych źródeł światła do oświetlenia dróg jest coraz powszechniejsze, szczególnie w aspekcie zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych, w tym konserwacji samej oprawy. Efektywne oświetlenie uliczne to nie tylko

sama oprawa, ale także jej właściwa instalacja i eksploatacja. Już w fazie montażu mogą mieć miejsce błędy powodujące niespełnienie założonych w fazie projektu parametrów oświetleniowych.

W artykule przedstawiono wyniki eksploatacyjnych pomiarów luminancji na fragmencie ulicy Dzielnej w Warszawie. Ustalono, że były prowadzone szczegółowe prace badawcze nad istniejącym rozwiązaniem oświetleniowym [3]. Przedstawione w niniejszym artykule wyniki pomiarów mogą być pewnym uzupełnieniem dotychczasowych badań.

Obiekt badań

Na ulicy testowo zainstalowano dwa rodzaje opraw: Advision S615R firmy Elgo-Brilux [4] (rys.1) oraz Power LED LU4 112W firmy Shenzhen Bang-bell Electronics Co.,Ltd [5] (rys.2).



Rys.1. Oprawa Advision S615R firmy Elgo-Brilux [4]



Rys.2. Oprawa Power LED LU4 112W firmy Shenzhen Bang-bell Electronics Co.,Ltd [5]

Poniżej zaprezentowano podstawowe parametry techniczne opraw według danych producentów [4,5] (tab.1).

Tabela 1. Parametry opraw LED

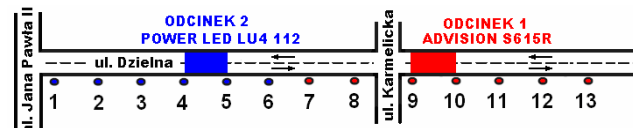
Parametry opraw	Advision S615R	Power LED LU4 112
Źródło światła:	90 x 1W LED	112 HP LED
Pobór mocy:	118 ÷ 125 W	132W
Napięcie pracy:	90÷260V AC	12V/24VDC;85÷250VAC
Strumień świetlny:	10665 lm	8 400 lm
CRI:	Ra>75	Ra=75
Temp.barwowa:	5800÷6300K	5000÷7000K

Na podstawie danych projektowych ustalono, że oświetlenie na ulicy Dzielnej wykonano w klasie ME3c [1,2]. Zakładane parametry podano w tabeli 2:

Tabela 2. Parametry klasy oświetleniowej ME3c [1]

L_{sr} [cd/m ²]	U_o	U_L	TI [%]	SR
≥ 1	$\geq 0,4$	$\geq 0,5$	≤ 15	$\leq 0,5$

Oprawy zainstalowano jednostronnie wzdłuż ulicy w następującej kolejności: 1 ÷ 6 Power LED LU4 112; 7 ÷ 12 Advision S615R. Rysunek 3 przedstawia widok usytuowania opraw na istniejących słupach oświetlenia ulicznego. Zmierzone odległości pomiędzy słupami. Wynosiły one odpowiednio : dla opraw 1 ÷ 8 = 25m, dla opraw 8 ÷ 13 = 29m.

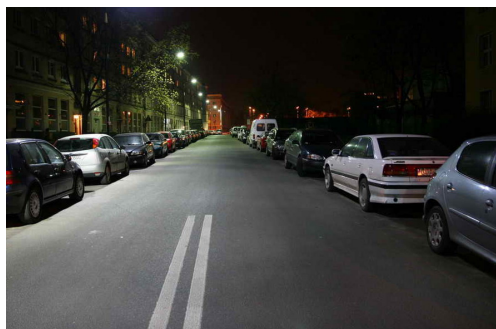


Rys.3. Rozmieszczenie opraw wzdłuż ulicy Dzielnej

Rysunki 4 i 5 prezentują widok badanej drogi oświetlonej oprawami LED.



Rys.4. Zdjęcie fragmentu ulicy Dzielnej oświetlonej oprawami Advision S615R – odcinek pomiarowy 1

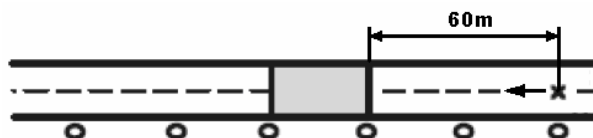


Rys.5. Zdjęcie fragmentu ulicy Dzielnej oświetlonej oprawami Power LED LU4 112 – odcinek pomiarowy 2

Pomiary luminancji wykonano w godzinach 22÷23 przy bardzo dobrej widoczności i temperaturze otoczenia wynoszącej 12°C. Ulica, na której dokonano pomiarów jest jednojezdniowa, dwukierunkowa, o jednym pasie ruchu dla każdego kierunku. Całkowita szerokość jezdni wynosi 9m. Pokrycie nawierzchni jezdni jest asfaltowe, intensywnie eksploatowane. Badania wykonano na suchej nawierzchni jezdni. Wzdłuż ulicy zaparkowane były pojazdy, które stanowiły przeszkody dla światła i częściowo ograniczały pole pomiarowe.

Zdecydowano się przyjąć pole pomiarowe umiejscowione pomiędzy dwoma latarniami. Ze względu na istniejące przeszkody obserwator wraz z miernikiem luminancji (CCD) znajdował się na środku jezdni. Odległość do obszaru pomiarowego wynosiła 60m. Ustalono [6], że

w celach porównawczych dopuszczalne jest stosowanie innych odległości pomiarowych oraz pozycji obserwatora. Na rysunku 6 przedstawiono obszar pomiarowy (usytuowanie obserwatora oznaczono literą x, kierunek obserwacji oznaczono strzałką). Kamery do pomiaru luminancji umieszczono nad jezdnią na wysokości 1,5m. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów luminancji z jednego kierunku obserwacji. W celu uzyskania pełnych wyników luminancji oświetlonej drogi należy wykonać badania zgodnie z zaleceniami normy [1].



Rys.6. Obszar pomiarowy i usytuowanie obserwatora

Sprzęt i oprogramowanie do pomiaru luminancji

Do badań rozkładu luminancji na nawierzchni jezdni wykorzystano zaawansowany technologicznie sprzęt LMK Mobile Advanced (rys.7) firmy TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH [7]. Kamera do pomiaru luminancji zbudowana jest na bazie aparatu fotograficznego Canon EOS 350D oraz obiektywu Sigma Gold 18-50 F2,8 EX DC.



Rys.7. Kamera LMK Mobile Advanced [7]

Zastosowana aparatura pomiarowa umożliwia wykonanie zdjęć, a w konsekwencji obrazów luminancji dowolnego obiektu bez potrzeby transportu i montażu dodatkowego wyposażenia np: komputera, dodatkowych obiektywów lub zasilacza.

Do przetwarzania uzyskanych zdjęć wykorzystywane jest dedykowane oprogramowanie LMK 2000 [7]. Aby uzyskać obraz luminancji należy wykonać zdjęcia w formacie CR2, w którym obraz jest zachowywany w postaci RAW. Standard RAW zawiera „dane pierwotne”, co oznacza, że są zarejestrowane i przechowywane bez żadnych dodatkowych korekt i kompresji, jak ma to miejsce w innych formatach (JPEG, BMP, itd.). W pomiarach może być wykorzystana metoda tzw. wysokiej precyzji HDR (ang. High Dynamic Range). W celu uzyskania jednego obrazu luminancji wykonywana jest seria trzech zdjęć dla różnych poziomów ekspozycji (-2,00 EV, 0.00 EV, +2.00 EV) (rys.8).



Rys.8. Seria trzech zdjęć dla różnych poziomów ekspozycji

Zdjęcia zawierają informacje na temat jasności oraz składowych barwnych (RGB). Na podstawie trzech zdjęć oprogramowanie LMK2000 wylicza wartości końcowe tzw. makropixela. Dostosowanie wyników do względnej czułości widmowej funkcji $V(\lambda)$ odbywa się za pomocą macierzy liczbowych (określonych w fazie kalibracji dla optyki obiektywu i matrycy). Na podstawie informacji przechowywanych w oprogramowaniu LMK2000 (danych kalibracyjnych) uzyskiwany jest końcowy obraz luminancji.

Według danych kalibracyjnych producenta błąd pomiaru luminancji dla przyjętych warunków nie przekracza 3,5%.

Oprogramowanie LMK 2000 [7] umożliwia wykonanie i naniesienie na obraz dowolnej siatki pomiarowej. W celu uzyskania widoku drogi w rzucie z góry istnieje możliwość transformacji pola pomiarowego. Ta operacja pozwala nanieść siatkę pomiarową z wysoką precyzją uzyskując dokładne położenie pola pomiarowego. Po nałożeniu siatki pomiarowej na obraz luminancji otrzymujemy dane niezbędne do wykonania obliczeń parametrów rozkładu luminancji. Możliwe jest wykorzystanie do prezentacji wyników skali logarytmicznej, eksport plików graficznych do formatów *.JPG oraz transformacja wyników w postaci cyfrowej do programów obliczeniowych. Do obliczeń parametrów badanej drogi posłużono się siatką pomiarową składającą się z 66 punktów pomiarowych (6 x 11).

Wyniki pomiarów

Ze względu na obszerność uzyskanych wyników w niniejszym artykule zdecydowano się na przedstawienie szczegółowych pomiarów dla dwóch wybranych, reprezentatywnych odcinków jezdni (rys.3) z jednego kierunku obserwacji. Obok zdjęć obrazów luminancji znajduje się skala liniowa o zakresie $0 \div 5,5 \text{ cd/m}^2$.

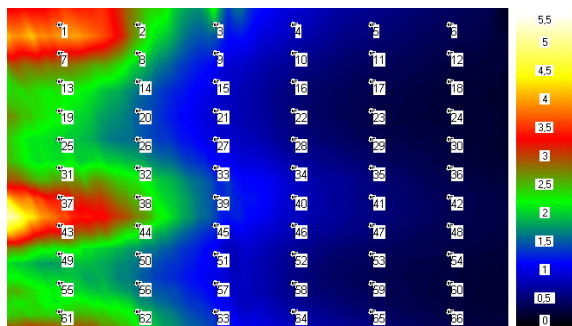
Reprezentatywne pola pomiarowe to odcinek nr 1 pomiędzy oprawami Advision S615R, latarnie nr 9-10 oraz odcinek nr 2 pomiędzy oprawami Power LED LU4 112, latarnie nr 4-5.

Obraz rozkładu luminancji dla odcinka 1 przedstawiono na rysunku 9.



Rys.9. Uzyskany rozkład luminancji $[\text{cd/m}^2]$ na odcinku 1 (Advision)

Rysunek 10 przedstawia obszar pola pomiarowego po transformacji oraz naniesieniu siatki pomiarowej.



Rys.10. Uzyskany rozkład luminancji $[\text{cd/m}^2]$ na odcinku 1 (Advision) po transformacji wraz z siatką pomiarową

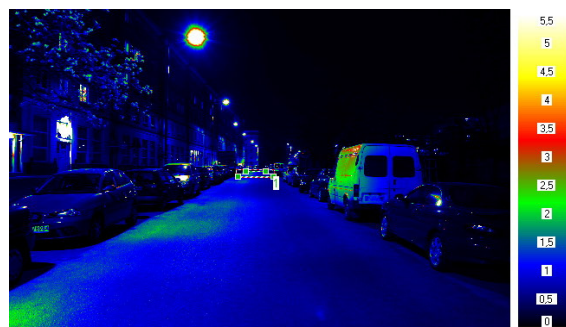
Otrzymane w wyniku nałożenia siatki pomiarowej dane w postaci luminancji zostały wyeksportowane do programu kalkulatornego, gdzie uzyskano wyniki rozkładu luminancji w punktach pomiarowych siatki, a wartości naniesiono schematycznie na rysunek drogi (rys.11). Zastosowanie tego typu prezentacji może być przydatne w celu walidacji

wyników obliczeń symulacyjnych uzyskanych z programów wspomagających projektowanie oświetlenia.

Lewy pas ruchu										
2,342	2,068	2,101	3,530	3,335	2,318	2,036	2,255	2,490	3,273	3,729
2,028	1,611	1,709	2,471	2,506	2,012	1,559	1,541	1,768	2,281	2,641
1,261	1,036	1,071	1,326	1,397	1,190	0,975	0,924	1,010	1,257	1,785
0,747	0,610	0,665	0,822	0,893	0,785	0,617	0,550	0,591	0,719	0,865
0,482	0,391	0,431	0,556	0,579	0,512	0,394	0,342	0,382	0,469	0,581
0,316	0,293	0,324	0,379	0,387	0,337	0,289	0,267	0,279	0,337	0,408

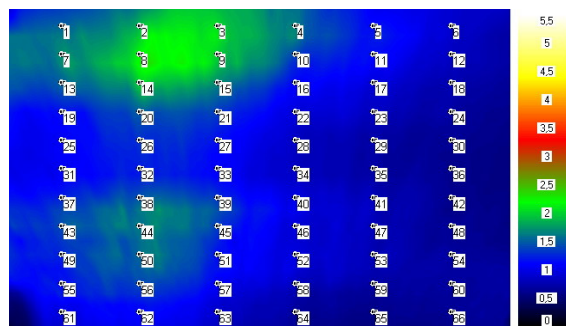
Rys.11. Uzyskane wyniki luminancji $[\text{cd/m}^2]$ na odcinku 1

Analogiczną procedurę pomiarową zastosowano na odcinku pomiarowym 2, oświetlonym oprawami Power LED LU4 112. Wyznaczono rozkład luminancji drogi, który przedstawiono na rysunku 12.



Rys.12. Uzyskany rozkład luminancji $[\text{cd/m}^2]$ na odcinku 2 (LU4)

Po transformacji obszaru pola pomiarowego oraz naniesieniu siatki pomiarowej (rys.13) uzyskano wyniki zaprezentowane na rysunku 14.



Rys.13. Uzyskany rozkład luminancji $[\text{cd/m}^2]$ na odcinku 2 (LU4) po transformacji wraz z siatką pomiarową

Lewy pas ruchu										
0,999	1,199	1,278	1,450	1,254	1,102	1,095	1,192	1,539	1,723	1,540
1,137	1,434	1,569	1,628	1,480	1,241	1,346	1,529	2,013	2,182	1,895
0,925	1,088	1,171	1,390	1,338	1,118	1,190	1,381	1,718	2,026	2,063
0,697	0,854	0,988	0,965	1,004	0,865	0,879	0,991	1,152	1,434	1,669
0,608	0,732	0,798	0,834	0,823	0,746	0,762	0,859	0,976	1,166	1,161
0,659	0,714	0,711	0,672	0,633	0,635	0,667	0,731	0,798	0,861	0,922

Rys.14. Uzyskane wyniki luminancji $[\text{cd/m}^2]$ na odcinku 2

Wyniki obliczeń dla obydwu obszarów zestawiono i zaprezentowano w sposób zbiorczy w tabeli 3. Poza podstawowymi parametrami luminancyjnymi, zgodnymi z wymogami normy [1] obliczono parametry dodatkowe dla całej jezdni, lewego i prawego pasa ruchu. Oczywiście jest, że dane te przytoczono w celu porównania uzyskanych

rozkładów luminancji w dwóch reprezentatywnych obszarach pomiarowych.

Wprowadzono dodatkowe oznaczenia parametrów oświetleniowych, które nie znajdują odniesienia w literaturze przedmiotu. Dodatkowo wyliczono parametr równomierności poprzecznej U_{PJ} jezdni, który nie jest stosowany w ujęciu normy [1].

Tabela 3. Zestawienie otrzymanych wyników badanych opraw LED

		Oprawa	
Parametr	Jednostka	Advision S615R	Power LEDLU4 112
Parametry całej jezdni			
L_{MinJ}	[cd/m ²]	0,27	0,61
L_{MaxJ}	[cd/m ²]	3,73	2,18
$L_{ŚrJ}$	[cd/m ²]	1,23	1,15
U_{LJ}	-	0,58	0,52
U_{OJ}	-	0,22	0,50
U_{PJ}	-	0,14	0,52
Parametry lewego pasa ruchu			
L_{MinL}	[cd/m ²]	0,93	0,92
L_{MaxL}	[cd/m ²]	3,73	2,18
$L_{ŚrL}$	[cd/m ²]	1,96	1,43
U_{LL}	-	0,55	0,51
U_{OL}	-	0,47	0,64
Parametry prawego pasa ruchu			
L_{MinP}	[cd/m ²]	0,27	0,60
L_{MaxP}	[cd/m ²]	0,89	1,66
$L_{ŚrP}$	[cd/m ²]	0,51	0,87
U_{LP}	-	0,62	0,54
U_{OP}	-	0,53	0,69

* Indeksy: J – jezdni, L – lewy pas ruchu, P – prawy pas ruchu

Należy zwrócić uwagę na fakt, że istnieje znaczący wpływ przyjętej zgodnie z normą [1] siatki pomiarowej na uzyskane wyniki. Na rysunkach 9 i 12 znajdują się obszary o luminancji wyższej niż zmierzone w siatce pomiarowej (powyżej 3,73cd/m²), które nie zostały uwzględnione w obliczeniach. Oprogramowanie LMK2000 [7] umożliwiło zastąpienie metody punktowej metodą powierzchniową pomiaru luminancji. Takie podejście pozwala na pełną analizę obrazu luminancji w każdym zarejestrowanym pikselu. Należy uznać, że wykorzystanie takiej możliwości jest celowe. W tabeli 4 zaprezentowano wyniki uzyskane metodą powierzchniową.

Tabela 4. Wyniki dla całej jezdni uzyskane metodą powierzchniową

Oprawa			
Parametr	Jednostka	Advision S615R	Power LED LU4 112
Parametry całej jezdni			
L_{MinJ}	[cd/m ²]	0,26	0,25
L_{MaxJ}	[cd/m ²]	5,14	2,36
L_{SrJ}	[cd/m ²]	1.40	1.02

Wnioski

Pomiary rozkładów luminancji pozwoliły na ocenę porównawczą oświetlenia jezdni ulicy Dzielnej w Warszawie, gdzie testowo zainstalowano oprawy uliczne ze źródłami półprzewodnikowymi LED. W ocenie subiektywnej znacząco różniła się temperatura barwowa obydwu źródeł. Oprawy Power LED LU4 112 charakteryzują się zimną barwą światła, w odróżnieniu od opraw Advision S615R, które emitują naturalne białe światło.

Ze względu na przedstawienie wyników badań tylko dla jednego kierunku obserwacji i istnieniu ograniczenia pola obserwacji nie można traktować końcowych wyników dla jezdni oraz lewego pasa ruchu w sposób kategoriowy i jednoznaczny.

Jeżeli potraktować wyniki pomiarów jako pewne, to można uznać, że w obszarze pomiarowym 2 (oprawy Power LED LU4 112) spełnione są zakładane parametry dla klasy ME3c na obydwu pasach ruchu i jezdni.

W przypadku opraw Advision S615R uzyskana luminancja średnia w obszarze pomiarowym prawego pasa ruchu, zgodnego z kierunkiem obserwacji, nie spełnia warunku normy dla klasy ME3c. Nie jest też spełniony warunek równomierności ogólnej w obszarze jezdni. Zbyt nisko zamontowana oprawa nie jest w stanie zapewnić równomierności ogólnej na założonym poziomie. Oprawa wytwarza na jezdni luminancję maksymalną w przybliżeniu równą 5,14cd/m², na co wskazuje rysunek 10. Wartość ta pozwala na przypuszczenie, że podwyższenie wysokości montażu oprawy i regulacja kąta emisji wiązki świetlnej przyczyniłyby się do spełnienia wszystkich wymagań normatywnych. Zgodnie z oczekiwaniami i wstępną oceną subiektywną, otrzymane wyniki dla lewego i prawego pasa ruchu oraz parametry U_{PJ} potwierdziły fakt wyższych poziomów luminancji po stronie montażu opraw. Nie zbadano luminancji na nawierzchniach chodników przyległych do jezdni. Jednak wartości luminancji uzyskane na prawym pasie ruchu, przeciwnym do ustawienia słupów oświetleniowych wskazują na jej niskie poziomy. Należy więc uznać, że na chodniku przyległym do prawego pasa ruchu obszaru pomiarowego 1 nie zostały spełnione zakładane parametry oświetleniowe.

Wykonane badania potwierdziły, że oświetlenie wykorzystujące technologię LED jest w stanie realizować założone funkcje oświetleniowe na jezdni, ale jedynie przy zachowaniu dokładności i staranności montażu opraw. Niedopuszczalne jest zatem montowanie opraw np. LED w sposób bezpośredni, zamiennie z innymi oprawami, bez przeprowadzania dokładnych symulacji i obliczeń. Każda niedokładność w montażu opraw oraz pobieżne wykonanie badań fotometrycznych może przyczynić się do niezrealizowania założonych funkcji oświetleniowych.

Zaprezentowane w artykule pomiary nie zostały wykonane w pełnej zgodności z wymaganiami normy [1], jednak pozwalają dokonać oceny porównawczej uzyskanych rozkładów luminancji i prezentują możliwości pomiarowe wykorzystanej aparatury. Zastosowanie przetworników obrazu typu CCD do kontroli stanu oświetlenia dróg staje się coraz powszechniejsze [6,7]. Wykonanie pomiarów zgodnie z wymaganiami normy [1], z wykorzystaniem kamery do pomiaru luminancji LMK Mobile Advanced oraz oprogramowania LMK 2000 [7] umożliwia pozyskiwanie danych o parametrach oświetlonej drogi w sposób szybki, pewny i powtarzalny.

LITERATURA

- [1] PN-EN 13201-2:2007 Oświetlenie dróg
- [2] Bąk J., Komentarz do raportu technicznego PKN-CEN/TR 13201-1 oraz do normy PN-EN 13201-2, (2007)
- [3] Żagan W., Czyżewski D., Wykonanie pomiarów oświetleniowych w ulicy Dzielnej w Warszawie oraz weryfikacja obliczeń oświetleniowych dla projektów będących w posiadaniu ZDM, (2009), ZDM Warszawa
- [4] Materiały reklamowe www.brilux.pl
- [5] Materiały reklamowe <http://www.bbeled.com>
- [6] Ekrias A., Eloholma M., Halonen L., An advanced approach to road lighting design, measurements and calculations, Report 53, Helsinki University of Technology, (2008), Espoo, Finland
- [7] Dane katalogowe www.technoteam.de

Autor: dr inż. Piotr Tomczuk, Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: ptomczuk@it.pw.edu.pl