

WPLYW ZABRUDZENIA OPRAW OŚWIETLENIOWYCH NA WARUNKI OŚWIETLENIOWE NA DRODZE - STUDIUM PRZYPADKU

Dariusz CZYŻEWSKI

Politechnika Warszawska
tel.: 22 2347505 e-mail: dariusz.czyzewski@ee.pw.edu.pl

Streszczenie: Właściwie określony i realizowany system konserwacji, wpływa bezpośrednio na stan oświetlenia drogowego. Do badań wybrano jedną z popularnych opraw oświetleniowych, która nie była poddawana zabiegom konserwacyjnym. Określono jak zmieniła się bryła fotometryczna oprawy oraz jak to wpłynęło na stan oświetlenia. W omawianym przypadku, wyczyszczenie klosza oprawy oświetleniowej spowodowało wzrost strumienia świetlnego o 225%. Przeprowadzone badania jednoznacznie potwierdziły konieczność wykonywania zabiegów konserwacyjnych opraw oświetlenia drogowego.

Słowa kluczowe: oprawy oświetleniowe, oświetlenie drogowe, system konserwacji, zabrudzenie opraw.

1. WPROWADZENIE

Warunki oświetleniowe na drodze są bardzo zmienne. Natężenie oświetlenia na drodze zmienia się od ponad 100000 luksów w dzień do poniżej 1 luksa w nocy [1]. Jednym ze środków poprawiających warunki widzenia na drodze w porze nocnej jest oświetlenie drogowe. Oświetlenie w porze nocnej realizowane jest za pomocą opraw oświetleniowych o skomplikowanym układzie optycznym, który zapewnia właściwą bryłę fotometryczną.

W konstrukcji opraw oświetleniowych, obecnie stosowane są klasyczne źródła światła, tzn. wysokoprężne lampy sodowe oraz wydajne lampy metalohalogenkowe, a także nowoczesne źródła światła, takie jak diody elektroluminescencyjne.

Niezależnie od rodzaju stosowanych źródeł światła i indywidualnych rozwiązań konstrukcyjnych, podczas projektowania oświetlenia drogowego należy przyjąć racjonalnie dobrany system konserwacji. Niestety w Polsce cały czas system konserwacji jest zaniedbywany. Bardzo często, również w dużych miastach, można spotkać oprawy oświetleniowe, które przez wiele lat nie zostały poddane zabiegom konserwacyjnym. Zabrudzone, zaniedbane oprawy oświetleniowe bezpośrednio wpływają na pogorszenie warunków oświetleniowych na drodze.

W artykule zostanie przedstawiony przypadek, jednej z opraw oświetleniowych, która przez długi okres czasu nie była poddawana zabiegom konserwacyjnym. W warunkach laboratoryjnych zostały przeprowadzone badania fotometryczne oprawy, z zabrudzonym kloszem oraz po jego wyczyszczeniu. Następnie w programie wspomagającym proces obliczeń oświetleniowych, określono jaki poziom

oświetlenia zapewnia oprawa brudna i po wyczyszczeniu. Ten jednostkowy przypadek powinien pokazać, do jakich skutków może prowadzić nieprawidłowa konserwacja opraw oświetleniowych.

2. ROLA KONSERWACJI OŚWIETLENIA

Oświetlenie drogowe powinno być zaprojektowane w taki sposób, aby w całym okresie eksploatacji spełniało odpowiednie wymagania normalizacyjne [2,3]. W trakcie eksploatacji stan oświetlenia ulega pogorszeniu. Przyczyną takiego stanu rzeczy, może być między innymi: spadek wartości strumienia świetlnego źródeł światła, wygasanie źródeł światła, obniżanie się sprawności opraw oświetleniowych na skutek starzenia materiałów odbijających i przepuszczających światło oraz zabrudzenie układów optycznych w wyniku zanieczyszczeń atmosferycznych. W procesie projektowania oświetlenia, należy uwzględnić pogarszanie się jakości oświetlenia w czasie eksploatacji, poprzez przyjęcie tzw. współczynnika utrzymania oświetlenia lub równoważnie współczynnika zapasu. Międzynarodowy Komitet Oświetleniowy opracował wytyczne dotyczące określania poszczególnych czynników wpływających na obniżenie się parametrów oświetlenia w trakcie eksploatacji [4]. Poza tym, Komisja Europejska wydała rozporządzenie, które zobowiązuje producentów źródeł światła do podawania informacji o spadku strumienia świetlnego źródeł w trakcie eksploatacji [5].

W rzeczywistych warunkach eksploatacji oświetlenia, z upływem czasu, zazwyczaj wartości światłości opraw oświetleniowych ulegają proporcjonalnemu zmniejszeniu (brak zmian kształtu bryły fotometrycznej opraw). Dodatkowo zakładając niezmiennie własności refleksyjne nawierzchni drogowych, współczynnik utrzymania oświetlenia można określić z zależności (1).

$$u(t) = \frac{\Phi(t)}{\Phi(t=0)} = \frac{\eta(t)}{\eta(t=0)} \frac{\Phi_{zr}(t)}{\Phi_{zr}(t=0)} \quad (1)$$

gdzie: $\Phi(t)$ – strumień świetlny oprawy po czasie t eksploatacji oświetlenia;

$\Phi(t=0)$ – strumień świetlny dla czasu $t = 0$;

$\eta(t)$ – sprawność oprawy po czasie t eksploatacji oświetlenia;

$\eta(t=0)$ – sprawność oprawy dla czasu $t = 0$;
 $\Phi_{zr}(t)$ – strumień świetlny źródła światła po czasie t eksploatacji oświetlenia;
 $\Phi_{zr}(t=0)$ – strumień świetlny źródła światła dla czasu $t = 0$.

Współczynnik zapasu określany jest jako odwrotność, zmieniającego się w czasie, współczynnika utrzymania $u(t)$:

$$k(t) = \frac{1}{u(t)} \quad (2)$$

Całkowity współczynnik utrzymania jest iloczynem cząstkowych współczynników utrzymania:

$$u(t) = u_1 u_2 u_3 u_4 u_5 u_6 \quad (3)$$

W przypadku obecnie realizowanych instalacji oświetlenia drogowego, biorąc pod uwagę dzisiejszy stan techniki, część współczynników można pominąć. Należą do nich: cząstkowe współczynniki związane ze zmianami temperatury otoczenia, napięcia zasilania oraz właściwościami układów stabilizacyjno-zapłonowych (u_1), a także współczynniki związane ze starzeniem materiałów zastosowanych na części optyczne w oprawach oświetleniowych (u_2) oraz te związane ze zmianami właściwości odbiciowych jezdni (u_3).

Dla opraw oświetleniowych, eksploatowanych w przeciętnych warunkach, wartość współczynnika utrzymania zależna jest zatem, jedynie od zmian parametrów fotometrycznych i użytkowych źródeł światła oraz zmian cech fotometrycznych części optycznych opraw zachodzących wskutek zabrudzenia, zgodnie z zależnością:

$$u(t) = u_4 u_5 u_6 \quad (4)$$

gdzie: u_4 - cząstkowy współczynnik utrzymania związany z wygasaniem źródeł światła,

u_5 - cząstkowy współczynnik utrzymania związany ze zmniejszaniem się skuteczności świetlnej źródeł światła,

u_6 - cząstkowy współczynnik utrzymania związany z zabrudzeniem opraw oświetleniowych.

Ze względu na fakt, iż procesy obniżania się użytecznego strumienia zachodzą w sposób ciągły w czasie, wartość współczynnika zapasu można określić, gdy znany jest czas t , po którym nastąpią zabiegi konserwacyjne (takie jak mycie lub czyszczenie części układu optycznego) i wymiana źródeł światła na nowe. Stąd istnieje uzależnienie wartości współczynnika zapasu, od czasu wykonania zabiegów konserwacyjnych. Sytuacja komplikuje się jeszcze bardziej, gdy nie jest znana funkcja spadku strumienia w czasie. Taka sytuacja występuje, gdy brak jest systematycznego monitoringu oświetlenia ulic w danym mieście – co niestety jest w Polsce normą. Poza tym, w różnych rejonach tego samego miasta, na ulicach jest różne natężenie ruchu oraz różny stan zanieczyszczenia pyłami pochodzenia przemysłowego. Wymienione czynniki powodują, że nie da się w ramach dużego miasta, określić jednej stałej funkcji zmian poziomu oświetlenia ulicy.

Badania parametrów eksploatacyjnych dla lamp i opraw LED są przedmiotem badań i raportów technicznych. W sposób kompleksowy badania te zostały zebrane w normach, opracowanych przez Illuminating Engineering

Society of North America, tj. LM-79 [6], LM-80 [7] oraz TM-21[8]. Poza tym dość często w literaturze przedmiotu przywoływane są również inne badania, w których zabrudzenie opraw oświetleniowych uzależnia się od czasu użytkowania i wysokości montażu [9].

3. CHARAKTERYSTYKA OPRAWY PODDANEJ BADANIOM

W wyniku analizy możliwych systemów konserwacji oraz stanu istniejących instalacji oświetleniowych stwierdzono, że najczęściej zaniedbywaną czynnością konserwacyjną jest czyszczenie opraw oświetleniowych. Zaniedbane i brudne klosze opraw oświetleniowych powodują stały spadek strumienia świetlnego opraw oświetleniowych, a także zmieniają bryłę fotometryczną oprawy. W konsekwencji prowadzi to do obniżenia się parametrów oświetleniowych na drodze. Oczywiście im dłużej nie wykonuje się zabiegów konserwacyjnych, tym większy jest stopień obniżenia parametrów oświetleniowych oprawy. W konsekwencji znacząco pogarszają się parametry oświetleniowe na drodze.

Aby uzmysłowić stopień degradacji parametrów oświetleniowych oprawy oświetleniowej, do badań została wybrana, bardzo popularna w latach 90-tych, oprawa OUS150 firmy Elgo z Gostynina. Oprawa oświetleniowa została przekazana przez jeden z samorządów terytorialnych, z terenu Mazowsza. Oprawa OUS150 była wyprodukowana w 1991 roku i od tego momentu była cały czas w eksploatacji.

Poddana badaniom oprawa oświetleniowa miała mocno zanieczyszczony klosz, a brak zabiegów konserwacyjnych oszacowano na znacznie powyżej 5 lat. Widok oprawy z brudnym kloszem znajduje się na rysunku 1 i rysunku 2, natomiast widok oprawy po wyczyszczeniu klosza przedstawia rysunku 3. Stopień zabrudzenia klosza oprawy, dobrze jest widoczny na rysunku 2.



Rys 1. Oprawa OUS150 z mocno zabrudzonym kloszem



Rys. 2. Świecąca oprawa OUS150 z mocno zabrudzonym kloszem



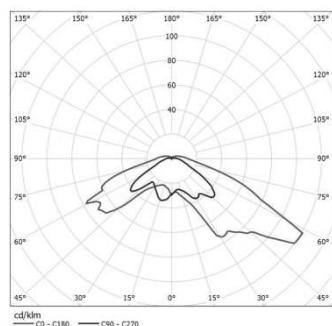
Rys. 3. Oprawa OUS150 z kloszem po wyczyszczeniu

W przypadku badanej oprawy, wyczyszczenie klosza spowodowało wzrost strumienia świetlnego oprawy o ponad 225% w odniesieniu do brudnego klosza.

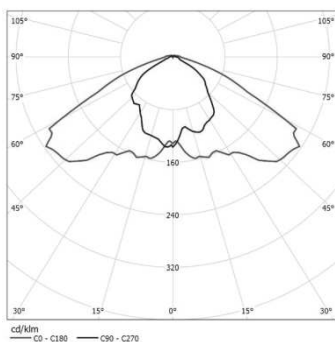
4. BADANIA WPŁYWU ZABRUDZENIA OPRAWY NA WARUNKI OŚWIETLENIOWE NA DRODZE

Przed rozpoczęciem obliczeń symulacyjnych, oprawa została poddana szczegółowym badaniom fotometrycznym, w dwóch wariantach: z kloszem czystym i z kloszem brudnym. Badania przeprowadzono w laboratorium fotometrii i kolorimetrii Zakładu Techniki Świetlnej Politechniki Warszawskiej. Na podstawie przeprowadzonych badań określono bryłę fotometryczną oprawy, w dwóch analizowanych wariantach. W badaniach wykorzystano fotometr ramienny oraz mierniki fotoprądu firmy LMT. Parametry elektryczne kontrolowano za pomocą analizatora mocy firmy Chroma. Przed badaniami właściwymi oprawa oświetleniowa była wyświecana przez 1h. Bryłę fotometryczną określono w systemie (C, γ) , gdzie: płaszczyznę C zmieniano co 5 stopni, natomiast kąty γ co 2,5 stopnia. Pomiar fotometryczny wykonano zgodnie z wymaganiami normalizacyjnymi [2,3].

W wyniku przeprowadzonych badań wyznaczono szczegółowe bryły fotometryczne oprawy OUS150 w dwóch wariantach. Rysunek 4 przedstawia krzywe światłości oprawy z brudnym kloszem, a rysunek 5 krzywe światłości oprawy z czystym kloszem.



Rys. 4. Wyznaczona krzywa światłości oprawy OUS-150 (brudny klosz)



Rys. 5. Wyznaczona krzywa światłości oprawy OUS-150 (klosz po wyczyszczeniu)

Analiza kształtu krzywych światłości oprawy OUS150 (rysunku 4 i rysunku 5), wskazuje duże różnice pomiędzy wykresami światłości, dla oprawy brudnej i czystej. Należy mieć przy tym świadomość, że w innej oprawie charakter zabrudzenia może być nieco inny i może inaczej wpływać na bryłę fotometryczną. Jednakże, już przytoczony przypadek

wskazuje, do jakiej zmiany rozsyłu strumienia świetlnego może prowadzić brak zabiegów konserwacyjnych.

W kolejnej części analizy postanowiono sprawdzić, jak zabrudzenie klosza wpłynie na sposób oświetlenia przykładowej drogi.

Do obliczeń przyjęto typową drogę o następujących parametrach:

- typ drogi: ulica jednojezdniowa, dwupasmowa, dwukierunkowa;

- szerokość ulicy: $S = 7$ m,

- szerokość pasa ruchu: $W_L = 3,5$ m,

Oprawy OUS150 rozmieszczono w następujący sposób:

- system rozmieszczenia latarni: jednostronny;

- odstęp pomiędzy oprawami: $a = 32$ m;

- wysokość zawieszenia oprawy: $h = 10$ m;

- wysunięcie opraw nad jezdnię (nawis): $w = 2,0$ m;

- kąt nachylenia oprawy: $\sigma = 0^\circ$;

- założony typ nawierzchni: R3 ($q_0 = 0,07$).

Założono system konserwacji, w którym:

- okres czyszczenia opraw: co 3 lata (dla IP6X, wysokiego zanieczyszczenia powietrza, wg zaleceń raportu CIE 154:2003 – $u_6 = 0,87$ [4];

- wymiana opraw: mieszana, to znaczy indywidualna i grupowa co 6 lat, $u_5 = 0,93$ [10].

Na tej podstawie przyjęto, że całkowity współczynnik utrzymania wynosi: $u = 0,80$.

Założono, że instalacja oświetleniowa powinna spełniać wymagania określone dla klasy ME4a. Obliczenia wykonano za pomocą programu Dialux, wspomagającego proces projektowania oświetlenia. Wyniki obliczeń oraz zestawienie z wymaganiami, dla oprawy z czystym kloszem, zawarto w tabeli 1. W tabeli 2 zestawiono wyniki obliczeń dla oprawy z kloszem brudnym. Oznaczenia w tabeli 1 i 2 są następujące: L_{sr} - luminancja średnia, U_o - równomierność całkowita; U_l - równomierność wzdłużna, TI - przyrost wartości progowej kontrastu, SR - współczynnik oświetlenia poboczny.

Tabela 1. Wyniki obliczeń symulacyjnych dla oprawy OUS150 z czystym kloszem

	L_{sr} [cd/m ²]	U_o [-]	U_l [-]	TI [%]	SR [-]
Obliczona wartość dla czystego klosza	0,79	0,55	0,61	7	0,69
Wartość wymagana	$\geq 0,75$	$\geq 0,40$	$\geq 0,60$	≤ 15	$\geq 0,5$
Spełnienie wymagań	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak

W : L_{sr} -

Tabela 2. Wyniki obliczeń symulacyjnych dla oprawy OUS150 z brudnym kloszem

	L_{sr} [cd/m ²]	U_o [-]	U_l [-]	TI [%]	SR [-]
Obliczona wartość dla brudnego klosza	0,31	0,47	0,48	13	0,81
Wartość wymagana	$\geq 0,75$	$\geq 0,40$	$\geq 0,60$	≤ 15	$\geq 0,5$
Spełnienie wymagań	Nie	Tak	Nie	Tak	Tak

5. ANALIZA WYNIKÓW

Analizując wyniki obliczeń symulacyjnych można stwierdzić, iż oprawa OUS150 przy rozstawie co 32 m, wysokości montażu 10 m, nawisie 2 m oraz przy braku

nachylenia, spełnia wszystkie wymagania oświetleniowe określone dla klasy ME4a (w przypadku analizowanej przykładowej ulicy). Rozkład luminancji charakteryzuje dobra równomierność całkowita luminancji, na poziomie 0,55 (przy wymaganym minimum 0,4) oraz wysoki wskaźnik oświetlenia poboczny wynoszący 0,69 (przy wymaganym minimum 0,5). Stąd wniosek, że oprawa OUS150 może znaleźć zastosowanie w typowych miejskich instalacjach drogowych. Natomiast brak konserwacji oprawy spowodował drastyczny spadek parametrów oświetleniowych. Wszystkie parametry normalizacyjne uległy pogorszeniu poza wskaźnikiem oświetlenia poboczny który wzrósł, co można wytłumaczyć faktem, że zabrudzenie rozproszyło strumień świetlny i proporcjonalnie więcej dociera go do poboczny.

Zabrudzenie klosza spowodowało spadek średniej luminancji o 60% w odniesieniu do wartości średniej luminancji przy czystym kloszu. Natomiast traktując jako odniesienie brudny klosz, to wyczyszczenie go spowodowałoby ponad 2,5-krotny wzrost średniej luminancji na jezdni.

6. PODSUMOWANIE

Właściwie zaprojektowana i zrealizowana instalacja oświetleniowa, znacząco poprawia warunki widzenia na drodze w porze nocnej. Dzięki odpowiednio przyjętemu systemowi konserwacji instalacja oświetleniowa powinna przez cały okres eksploatacji spełniać wymagania normalizacyjne. Przytoczony przykład w sposób dobitny udowodnił, że brak zabiegów konserwacyjnych, a szczególnie czyszczenia opraw, wpływa na ograniczenie strumienia świetlnego, wysyłanego z opraw oraz zmianę bryły fotometrycznej. Traktując jako odniesienie oświetlenie przy brudnym kloszu, jego wyczyszczenie spowodowało wzrost średniej luminancji, na nawierzchni jezdni, aż o ponad 250%.

Przedstawiony przykład pokazał, że brak zabiegów konserwacyjnych prowadzi do degradacji instalacji oświetleniowej. Nawet dobrze zaprojektowana instalacja oświetleniowa, przy braku konserwacji, nie spełnia wymagań oświetleniowych określonych dla danej ulicy lub drogi. Niepokojący jest fakt, że badana oprawa była w jednej z gmin użytkowana. Wskazuje to na niskim poziom wiedzy technicznej osób odpowiedzialnych za eksploatację instalacji oświetleniowej. Zaniżanie stawek za konserwację punktów świetlnych również sprzyja, tego typu patologicznym sytuacjom, gdzie czyszczenie opraw jest całkowicie zaniedbywane.

W praktyce zauważa się również, brak określenia systemu konserwacji przez projektantów oświetlenia. Jedyną podawaną wartością, w projekcie oświetlenia, jest współczynnik utrzymania. Często jest to wartość domyślna, podawana w programach wspomagających proces projektowania oświetlenia. Niestety nic z tego nie wynika. Tylko jasno określone zabiegi konserwacyjne, pozwalają użytkownikom prawidłowo konserwować instalację oświetleniową.

Jednym ze sposobów stwierdzenia, czy system konserwacji jest właściwy i dobrze zaprojektowany, jest systematyczne wykonywanie pomiarów stanu oświetlenia. Pomiary przeprowadzone zgodnie z procedurą [2,3], umożliwiają określenie rzeczywistego stanu oświetlenia.

Podsumowując można stwierdzić, że brak wykonywania zabiegów konserwacyjnych prowadzi do degradacji stanu oświetlenia, a w konsekwencji do braku spełnienia wymagań normalizacyjnych.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Żagan W.: Podstawy techniki świetlnej; OWPW, Warszawa 2014
2. Polska Norma PN-EN 13201:2007 „Oświetlenie dróg”; PKN, Warszawa 2007 r
3. Polska Norma PN-EN 13201:2016 „Oświetlenie dróg”; PKN, Warszawa 2016 r
4. CIE 154:2003 Technical Report. The maintenance of outdoor lighting systems.
5. Rozporządzenie Komisji (WE) NR 245/2009 z dnia 18 marca 2009 r. w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu
6. IESNA LM-79-08: IESNA Approved Method for the Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting.
7. IESNA LM-80-08: IESNA Approved Method for Measuring Lumen Maintenance of LED Lighting Sources.
8. IESNA TM-21-11: Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED light Sources
9. Cronjé M., Schröder B. LED street lighting: the effect of maintenance factor on carbon footprint. <http://www.ee.co.za/article/>
10. Internetowy katalog źródeł światła: <http://www.lighting.philips.pl/prof/tradycyjne-zrodla-swiatla-i-swietlowki/wysokoprezne-lampy-sodowe-son>.

THE INFLUENCE OF DIRT ACCUMULATION ON LUMINAIRES ON LIGHTING CONDITIONS ON THE ROAD - CASE STUDY

Properly defined and implemented maintenance system directly affects the conditions of road lighting. One of the most popular luminaire dedicated for road lighting has been selected for this study. This luminaire has not been cleaned properly due to the maintenance system.

The changes in luminous intensity distribution of this luminaire has been determined as well as the impact of these changes on the lighting conditions of the chosen road. It turned out that cleaning the luminaire caused an increase of its luminous flux by 225%. The tests confirmed clearly that there is a strong need to carry out the maintenance system carefully in the area of road lighting.

The tests confirmed that the lack of regular maintenance procedures may result in lack of meeting the standard requirements

Keywords: luminaires, dirt, road lighting system maintenance.