

ROBERT SZCZEPANEK

*Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej
Politechnika Krakowska
Warszawska 24, 31-155 Kraków
E-mail: robert.szczepanek@iigw.pk.edu.pl*

BLASKI I CIENIE OŚWIETLENIA ULICZNEGO LED, NA PRZYKŁADZIE MODERNIZACJI ULICY BAŁUCKIEGO W KRAKOWIE

WSTĘP

Kraków jest w trakcie przeprowadzanej na dużą skalę modernizacji oświetlenia drogowego. Jak wiele innych projektów, tak i ten budzi wiele kontrowersji i dyskusji. Jedni podnoszą subiektywne pogorszenie jakości światła ulicznego, inni powątpiewają w uzasadnienie ekonomiczne zastosowanych rozwiązań. Prace modernizacyjne realizowane są w ramach rządowego programu SOWA, uruchomionego w 2013 r. i finansowanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Jego główny celem jest energooszczędne oświetlenie uliczne, zaś sam projekt jest częścią Systemu Zielonych Inwestycji (ang. Green Investment Scheme, GIS). W swoim założeniu daje on szansę na modernizację systemów oświetleniowych poprzez wymianę źródeł światła, osprzętu i opraw oświetleniowych oraz stosowanie systemów zarządzania i redukcji mocy opraw oświetleniowych w oświetleniu drogowym (ZAJKOWSKI 2015). Jednym z wymogów przystąpienia do programu SOWA było przeprowadzenie audytu istniejącego oświetlenia oraz analiza efektywności kosztowej określająca, na ile proponowane rozwiązania umożliwią m.in. zmniejszenie zużycia energii elektrycznej. Przykładową analizę kosztową można znaleźć w pracy PIENIAŻKA (2012) oraz dokumentacjach do projektów. Równie przekonująca do nowej technologii jest coraz większa popularność oświetlenia typu LED,

którym w projekcie SOWA było zastępowane dotychczas istniejące oświetlenie. Oświetlenie LED zaczyna pojawiać się praktycznie w każdym obszarze zastosowań (BARTNICKA 2007): od lampek choinkowych i świateł rowerowych, po iluminacje reprezentacyjnych budowli w największych miastach świata, np. Pałacu Buckingham w Londynie czy Sukienic w Krakowie.

Celem tego artykułu nie jest powtórzenie czy weryfikacja analizy efektywności kosztowej, lecz przeprowadzenie prostej analizy oświetlenia z wykorzystaniem średniej klasy aparatu cyfrowego. Analizę oświetlenia drogowego wykonano na ulicy Bałuckiego w Krakowie, która, choć znajduje się w samym centrum miasta (w obrębie Starych Dębnik niedaleko Wawelu), zlokalizowana jest poza głównymi szlakami komunikacyjnymi. Zdjęcie daytime ulicy Bałuckiego (Ryc. 1) zostało



Ryc. 1. Nowe lampy na początku ulicy Bałuckiego od strony ul Monte Cassino (po lewej widok w dzień, po prawej widok w nocy).

wykonane w południe. Widać, że jest to droga lokalna o małym natężeniu ruchu, z niską zabudową mieszkalną. W czasie prowadzenia analiz ulica Bałuckiego miała modernizowane

oświetlenie; część ulicy miała jeszcze stare lampy sodowe, część zaś, nowe oświetlenie LED.

ŚWIATŁO LED CZYLI JAKIE?

Źródłem naturalnego światła nocnego są odbite od powierzchni Księżyca promienie Słońca. Temperatura barwowa tego światła wynosi około 4000 K. Światło naturalne dzienne, pochodzące bezpośrednio ze Słońca, ma natomiast temperaturę barwową w szerokim zakresie 3500–7000 K, zależnym od wielu czynników, np. od pory dnia.



Ryc. 2. Fragment ulicy Bałuckiego z nowym oświetleniem (lewa lampa) i starym oświetleniem (prawa lampa). Zdjęcie w trybie inwersji barw.

Światło sztuczne, emitowane przez najczęściej wykorzystywane źródła oświetlenia ma temperaturę barwową od 2000 K (barwa pomarańczowa, lampy sodowe) do około 10000 K. Współczesne lampy LED są produkowane w całym dostępnym spektrum temperatury barwowej, dając duże możliwości wykorzystania ich do różnych celów. Każda ze skrajnych wartości temperatury barwowej jest odbierana jako nienaturalna i nazywana potocznie odpowiednio światłem ciepłym (dla niskich wartości) i światłem zimnym (dla wartości wysokich).

Oświetlenie LED wykorzystuje zjawisko elektroluminescencji w diodach półprzewodnikowych. LED to inaczej dioda emitująca światło (ang. light emitting diode). Choć pierwsza świecąca dioda pojawiła się już w 1962 r., na stworzenie białej diody dużej mocy trzeba było poczekać do 2000 r. Istnieje wiele rodzajów diod LED o różnych cechach, lecz łączy je energooszczędność oraz małe rozmiary. Ważną cechą tego typu oświetlenia jest również niski poziom promieniowania ultrafioletowego (UV) oraz podczerwonego (IR), które jest szkodliwe dla wzroku człowieka. Diody LED charakteryzuje niewielki kąt bryłowy rozsyłu światła, ograniczając tym samym straty energii w kierunkach, które nie muszą lub nawet nie powinny być oświetlane (Ryc. 2). Ma to istotne znaczenie nie tylko w kontekście ekonomicznym, ale może przyczynić się również do ograniczenia zanieczyszczenia świetlnego (ŚCIEŻOR i KUBALA 2012) poprzez lepszą koncentrację strumienia światła.

W oświetleniu arterii i ciągów komunikacyjnych ruchu pieszego bardziej wskazane są lampy zapewniające wierne odwzorowanie kolorów, dlatego też preferowane jest światło o barwie białej (KURKOWSKI i współaut. 2014). Stoi to nieco w sprzeczności z ochroną przed zanieczyszczeniem światłem, gdzie postuluje się ograniczanie składowej niebieskiej widma na rzecz składowej zielonej (KOŁOMAŃSKI 2013). Argumentem przemawiającym za odejściem od czysto białej barwy emitowanego światła jest fakt, że zdolność percepcji oka ludzkiego zależy od zakresu widma z pasma widzialnego (ŁASZEWSKA 2014).

JAK ZMIERZONO CHARAKTERYSTYKĘ ŚWIATŁA ULICZNEGO

Do pomiaru charakterystyk oświetlenia ulicznego zwykle wykorzystuje się mierniki luminancji lub kamery ze specjalistycznym oprogramowaniem (TOMCZUK 2011). W badaniu wykorzystano średniej klasy lustrzankę cyfrową Nikon D5000 z obiektywem Nikon Nikkor AF-S DX 18-105 mm f/3,5-5,6

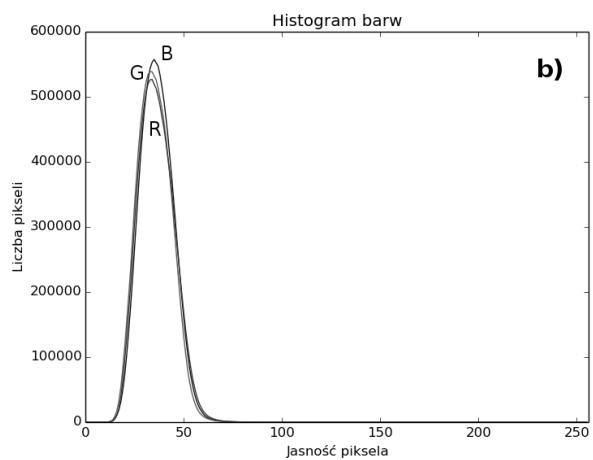
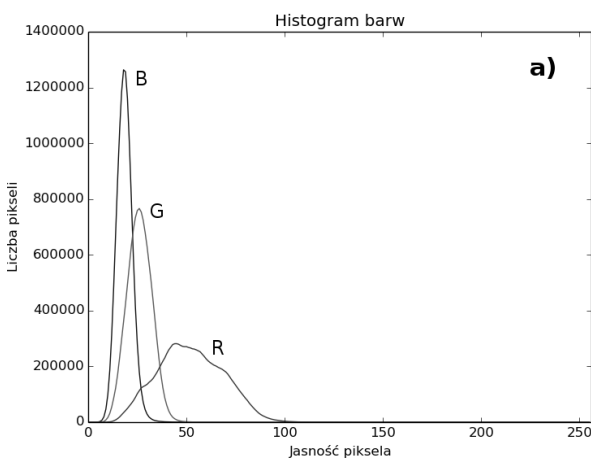
VR ED. Aparat ma matrycę o rozmiarze 23,6 × 15,8 mm, zaś zdjęcia mogą być zapisywane w rozdzielczościach do 12,3 mln pikseli. Przy tworzeniu histogramów nie uwzględniono krzywej spektralnej matrycy aparatu oraz zastosowanego na matrycy filtra podczerwieni. Nie jest to więc analiza ilościowa bazują-

ca na rzeczywistych wartościach luminancji, lecz jedynie analiza jakościowa (porównawcza).

Zdjęcia wykonano przy stałej ogniskowej (18 mm), stałej przysłonie (3,5), stałym czasie naświetlania (1/100 s), automatycznym balansie bieli oraz czułości ISO 200. Nie zdecydowano się na zwiększanie czułości, ponieważ szumy matrycy mogły generować niepożądane artefakty. Fotografowano jedno-

litą, suchą powierzchnię asfaltu, pozbawioną jakichkolwiek znaków poziomych, znajdującą się bezpośrednio pod lampami. Zdjęcia asfaltu wykonano z jednolitej wysokości 1,5 m. Oprawy nowych i starych lamp zlokalizowane były na podobnych wysokościach (Ryc. 2). Pomiary wykonano pod koniec sierpnia 2015 r., około północy, przy bezchmurnym niebie i wysokiej przejrzystości powietrza.

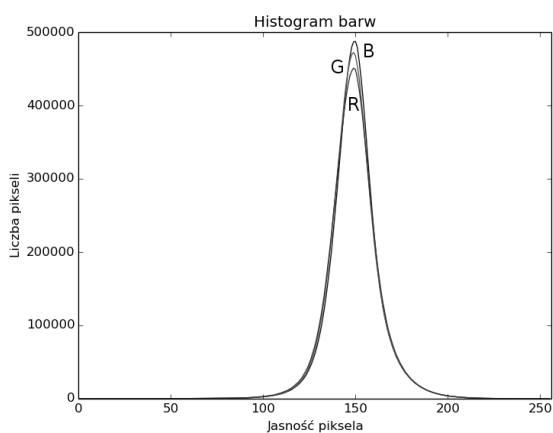
ANALIZA WYNIKÓW



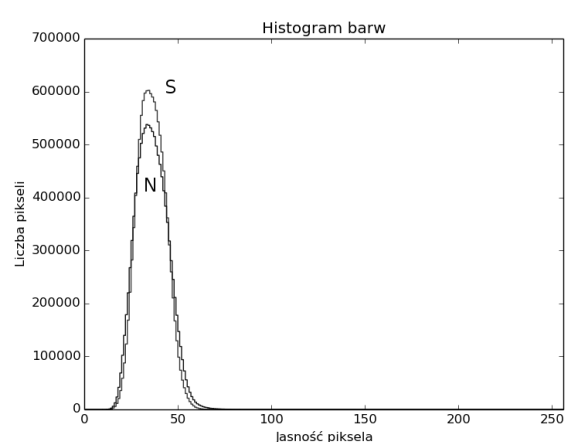
Ryc. 3. Histogramy nocnego oświetlenia asfaltu pod lampami a) stare oświetlenie, b) nowe oświetlenie (R, składowa czerwona; G, składowa zielona; B, składowa niebieska).

Do analizy zdjęć cyfrowych stworzono program w języku Python z wykorzystaniem bibliotek OpenCV, NumPy oraz matplotlib. Każde ze zdjęć zapisanych w przestrzeni

barw sRGB poddano analizie statystycznej, a wyniki analiz przedstawiono w postaci histogramów (Ryc. 3–5). Wartości na osi rzędnych odpowiadają luminancji; wartość 0 to



Ryc. 4. Histogram światła dziennego odbitego od asfaltu przy czasie ekspozycji 1/2000 s oraz przysłonie 3,5 (R, składowa czerwona; G, składowa zielona; B, składowa niebieska).



Ryc. 5. Porównanie średniej intensywności oświetlenia nocnego odbitego od asfaltu (S, stare oświetlenie; N, nowe oświetlenie).

najmniejsza jasność (czarny piksel na zdjęciu cyfrowym), zaś wartość 255 to jasność największa (biały piksel lub maksymalna wartość odpowiedniej składowej).

Analiza składowych barw (Ryc. 3) wskazuje na znaczące różnice w charakterze światła emitowanego przez stare i nowe lampy. W lampach starego typu dominująca jest składowa czerwona (R), co przekłada się na pomarańczową barwę światła. Jest to oświetlenie o cieplej temperaturze barw. Lampy nowego typu mają światło o charakterystyce pozbawionej dominującej składowej widma. Jako materiał referencyjny wykorzystano zdjęcia tych samych fragmentów drogi wykonane w samo południe, w słoneczny dzień (Ryc. 4). Ponieważ przy opisanych ustawieniach, dostosowanych do warunków nocnych, uzyskiwano zdjęcia „przepalone” o histogramie niemożliwym do analizy, zmieniono czas ekspozycji na 1/2000 s.

Wyraźnie widać, że pod względem charakterystyki widmowej oświetlenie LED

(Ryc. 3b) jest bardzo zbliżone do światła dziennego (Ryc. 4). Różnią się one jednak znacząco luminancją. Na Ryc. 3 (noc) maksymalną wartością na histogramie jest 100, zaś na Ryc.4 maksymalna wartość to 255. Nie należy też zapominać o znacząco różnych czasach naświetlania: 1/100 s przy zdjęciach nocnych i 1/2000 s przy zdjęciach w dzień.

Pozostaje jeszcze pytanie, czy nowe oświetlenie jest rzeczywiście słabsze, jak twierdzą niektórzy? Odpowiedź znajduje się na Ryc. 5, na której zestawiono luminancje bez podziału na kanały RGB. Wartość średniej luminancji dla dwóch rodzajów oświetlenia jest niemal identyczna. Inne są jedynie rozkłady krzywych. Stare oświetlenie może być jednak postrzegane jako jaśniejsze, ze względu na niejednorodny rozkład składowych RGB (Ryc. 3a), który może dawać lepszy (jaśniejszy) obraz dla oka ludzkiego. Składowa niebieska jest bowiem przy starym oświetleniu najslabiej reprezentowana.

PODSUMOWANIE

Strumień świetlny starego i nowego oświetlenia zamontowane go na ulicy Bałuckiego w Krakowie jest porównywalny. Nowe lampy dają minimalnie mniej światła, lecz ich podstawową zaletą jest balans bieli zbliżony do światła dziennego. Stare oświetlenie miało bardzo nierównomiernie rozłożone spektrum barw z dominującą składową czerwoną. Może to powodować, że stare oświetlenie jest postrzegane jako jaśniejsze. Oświetlenie LED, ze względu na swoją charakterystykę geometryczną,

wymaga wyższych standardów montażu. Niepoprawnie zamontowana oprawa może znacząco pogorszyć oświetlenie ulicy (TOMCZUK 2011). Z punktu widzenia zanieczyszczenia światłem, zaletą nowego oświetlenia LED jest bardziej skoncentrowany strumień świetlny, zaś wadą wzmocnienie składowej niebieskiej. Trudno zatem o obiektywną oceną lamp LED, a ostateczna ocena modernizacji oświetlenia przy ulicy Bałuckiego w Krakowie zależy od przyjętych kryteriów.

LITERATURA

- BARTNICKA M., 2007. *Źródła światła, nowe możliwości, nowe zagrożenia*. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Architektura 20, 15-24.
- KOŁOMAŃSKI S., 2013. *Zanieczyszczenie światłem i ciemność*. Materiały I Ogólnopolskiej Konferencji Na Temat Zanieczyszczenia Świetlnego, Uniwersytet Warszawski.
- KURKOWSKI M., CHLEWICKA M., KRAWCZYK A., KURKOWSKA K., WITKOWSKI P., 2014. *Analiza możliwości aplikacji oświetlenia LED w aspekcie bezpieczeństwa pieszych użytkowników dróg*. Przegląd Elektrotechniczny 90, 237-239.
- ŁASZEWSKA K., 2014. *Zanieczyszczenie środowiska światłem jako jedna z przyczyn chorób cywilizacyjnych*. *Co warto wiedzieć o niewzrokowej wrażliwości na światło*. Kosmos 3, 211-222.
- PIENIAŻEK S., 2012. *Możliwe oszczędności wynikające z zastosowania opraw oświetlenia drogowego z LED*. Oświetlenie 2, 36-39.
- ŚCIEŻOR T. KUBALA M., 2012. *Wpływ chmur niskich i wysokich na bliskie i dalekie zanieczyszczenie świetlne*. Czasopismo Techniczne 23, 253-260.
- TOMCZUK P., 2011. *Pomiary rozkładu luminancji na ulicy oświetlonej oprawami LED*. Przegląd Elektrotechniczny 87, 110-113.
- ZAJKOWSKI M., 2015. *Program SOWA modernizacji oświetlenia drogowego w gminie*. Przegląd Elektrotechniczny 91, 85-88.

ROBERT SZCZEPANEK

Inżynierii i Gospodarki Wodnej

Politechnika Krakowska

Warszawska 24, 31-155 Kraków

BLASKI I CIENIE OŚWIETLENIA ULICZNEGO LED, NA PRZYKŁADZIE MODERNIZACJI ULICY BAŁUCKIEGO W KRAKOWIE

Streszczenie

Oświetlenie LED wykorzystywane jest coraz częściej nie tylko w domach, ale również w przestrzeni publicznej. W Krakowie w latach 2014–2015 realizowany jest program modernizacji oświetlenia ulicznego – SOWA. Przeprowadzono analizę porównawczą dotychczasowego oświetlenia oraz nowo montowanych lamp LED. Do analiz wybrano ulicę Bałuckiego, na której połowa prac została już ukończona i można było porównać obydwa rodzaje oświetlenia na niewielkim odcinku drogi. Przeanalizowano histogramy światła odbijanego od powierzchni asfaltu w zakresie pasma widzialnego. Zamontowane nowe oświetlenie LED ma charakterystykę bardziej zbliżoną do światła słonecznego niż stare lampy, w których dominowała składowa czerwona. Udało się to uzyskać przy zachowaniu podobnego strumienia świetlnego. Długoterminowe skutki ekspozycji ludzi na oświetlenie LED powinny być przedmiotem dalszych badań.

ROBERT SZCZEPANEK

Institute of Engineering and Water Management

Cracow University of Technology

Warszawska 24, 31-155 Kraków

LIGHTS AND SHADOWS OF STREET LED LIGHTING – BAŁUCKIEGO STREET (CRACOW) MODERNIZATION EXAMPLE

Summary

LED lighting is used increasingly not only at houses but also at public domain. In the years 2014–2015 a program of modernization of street lighting – called SOWA is being implemented in Kraków. A comparative analysis of the existing lighting and the newly installed LED lamps was performed. For the purpose of analysis Bałuckiego street was selected, where half the work has already been completed and direct comparison of the two lighting types on a small stretch of road was possible. Histograms of light reflected from the surface of the asphalt in the range of the visible light spectrum were analyzed.

Installed new LED lighting has characteristics more similar to sunlight than the old lamps, which is dominated by the red component. This has been achieved while maintaining a similar luminous flux. Long-term effects of human exposure to LED lighting should be the subject of further research.