

Michalina TAISNER**
Natalia MICHAŁOWSKA*
Krzysztof WANDACHOWICZ*

WYNIKI BADAŃ SUBIEKTYWNYCH ODDAWANIA BARW LAMP Z DIODAMI ŚWIECĄCYMI

W artykule opisano wyniki badań laboratoryjnych, które polegały na obserwacji próbek barwnych oświetlanych lampami stosowanymi zazwyczaj we wnętrzach mieszkalnych oraz pomieszczeniach biurowych. Celem badań była subiektywna ocena oddawania barw lamp diodowych w porównaniu z oddawaniem barw występującym przy zastosowaniu żarówek i świetlówek. Wyniki badań przeprowadzone na grupie 10 obserwatorów porównano z wartościami wskaźników oddawania barw ocenianych lamp. Przedstawiono sposób projektowania stanowiska badawczego oraz kryterium doboru próbek barwnych i źródeł światła.

SŁOWA KLUCZOWE: wskaźnik oddawania barw, diody świecące, badania subiektywne

1. WSTĘP

Zdolność rozpoznawania barw bazuje na rozróżnianiu odcienia, nasycenia oraz jaskrawości. Te trzy cechy charakteryzujące przedmioty barwne zmieniają się przy oświetlaniu różnymi źródłami światła. Kiedy na rynku pojawiły się pierwsze świetlówki dr Pieter Bouma zauważył, iż cechą lamp, która istotnie wpływa na postrzeganie przedmiotów barwnych jest rozkład widmowy mocy promienistej [1]. Wśród przebadanych świetlówek, odnotował takie, które pomimo identycznej wartości temperatury barwowej stwarzały odmienne wrażenie barwne obserwowanych obiektów. Wywnioskowano zatem, że ważnym zagadnieniem jest przedstawienie zgodności wrażenia barwy obiektu oświetlanego daną lampą z naturalnym kolorem próbki. Zaczęto opracowywać matematyczną miarę umożliwiającą określenie stopnia wierności oddawania barw przez źródło światła. Celem tych prac było umożliwienie porównywania jakości lamp elektrycznych pomiędzy sobą, między innymi w przypadku produkcji źródeł przez różnych producentów.

Oddawanie barw jest definiowane jako wpływ ocenianego źródła światła na wrażenie barwy przedmiotów porównywane z wrażeniem barwy tych samych

* Politechnika Poznańska.

** CLEONI Sp. z o.o.

przedmiotów oświetlonych iluminantem odniesienia. Obecnie używanym systemem oceny oddawania barw jest metoda wprowadzona w 1974 roku oraz opisana w publikacji CIE z 1995 roku nazwana wskaźnikiem oddawania barw Ra (ang. *Colour rendering index* – CRI) [2].

2. ODDAWANIE BARW DIOD ŚWIECĄCYCH

Istnieje kilka sposobów otrzymywania barwy białej światła pochodzącego z lamp LED. Metoda RGB polega na addytywnym mieszanii barwy czerwonej (R), zielonej (G) oraz niebieskiej (B). W celu wzbogacenia wypadkowego rozkładu widmowego stosuje się również diody o innych barwach: bursztynową (A), żółtą (Y) czy zielono – niebieską (C). Metoda hybrydowa, wykorzystująca prawo Stokesa, polega na zastosowaniu diody o barwie niebieskiej (B), oraz żółtego luminoforu (Y). Addytywne złączenie barwy B oraz Y daje wrażenie barwy białej.

Rozkłady widmowe lamp diodowych światła białego w sposób istotny różnią się od rozkładów widmowych lamp, które obecne były na rynku w momencie wprowadzania systemu oceny oddawania barw za pomocą wskaźnika Ra. W czasie kiedy opracowywano system wskaźnika oddawania barw obliczono i przeanalizowano uzyskane dla różnych lamp wartości Ra i porównano je z wrażeniami doznawanymi przy obserwacji przyjętych próbek barwnych. Z oczywistych względów analiza ta nie mogła być wykonana dla lamp diodowych. Kiedy pojawiły się na rynku lampy diodowe Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa zebrała w formie publikacji informacje na temat oddawania barw tych lamp [3]. Wyniki badań wykonanych w różnych ośrodkach wskazują, że wartości wskaźnika oddawania barw [2] wyznaczone dla lamp diodowych są często sprzeczne z oceną wizualną i wrażeniami obserwatorów. Rozbieżności te mogą wynikać z faktu, iż wskaźnik Ra obliczany jest na podstawie średniej arytmetycznej (pojawiły się propozycje aby stosować średnią kwadratową), oraz że obliczanie ogólnego wskaźnika odbywa się dla próbek o średnim nasyceniu, a w związku z tym pomijane są próbki o wysokim nasyceniu.

Pomimo, że od czasu wprowadzenia w 1974 roku metody wskaźnika oddawania barw poprawiono kilka zauważonych w międzyczasie niedoskonałości oraz wprowadzono szereg nowych rekomendacji kolorymetrycznych (przestrzenie barw CIELAB i CIELUV czy nowe transformacje adaptacji chromatycznej) to metoda wskaźnika oddawania barw [2] jest wciąż jedyną, oficjalnie zatwierdzoną metodą numerycznego opisu właściwości oddawania barw źródeł światła.

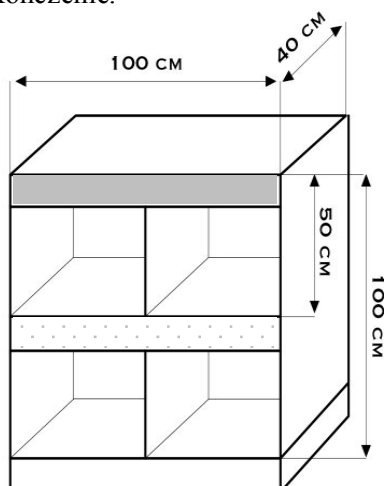
Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa rekomenduje opracowanie nowego sposobu oceny oddawania barw. Nowy wskaźnik nie powinien jednak natychmiastowo zastąpić obecnie stosowanego, lecz dostarczać dodatkowych

informacji pozwalających na bardziej jednoznaczną ocenę oddawania barw. Ponadto nowy wskaźnik nie może być stosowany wybiórczo dla wybranych lamp lecz powinien pozwalać na jednoznaczną ocenę wszystkich dostępnych na rynku źródeł światła [4].

3. PRZEPROWADZONE BADANIA

3.1. Projektowanie stanowiska badawczego

Na potrzeby badań laboratoryjnych zostało zaprojektowane stanowisko badawcze, którego schemat ideowy oraz wymiary zostały przedstawione na rysunku 3.1 [5]. Celem projektu było stworzenie czterech wnęk o jednakowych wymiarach, w których następnie zostały umieszczone źródła światła oraz próbki barwne. W celu minimalizacji wpływu otoczenia na obiór barwny próbki, stanowisko miało białe wykończenie.



Rys. 3.1. Schemat ideowy stanowiska badawczego

3.2. Wybór źródeł światła

W tabeli 3.1 przedstawiono zestaw użytych do badań lamp. Głównym założeniem wyboru źródeł była możliwość porównania diod świecących ze źródłami, które przez wiele lat stanowiły trzon oświetlenia miejsc publicznych oraz mieszkań. Wnęka nr 1 została uznana za wnękę referencyjną i to w niej zainstalowano źródło żarowe oraz świetlówki, natomiast wnęki 2 oraz 3 zostały wyposażone w lampy diodowe różnych typów. Dobierając źródła kierowano się kryterium równego strumienia świetlnego, którego wartość wynosiła około 1000 lm.

Tabela 3.1. Rozmieszczenie badanych źródeł w czterech wnękach stanowiska badawczego

1 – wnęka referencyjna	2
FL 830: świetlówka $Ra \geq 80$, 3000 K FL 840: świetlówka $Ra \geq 80$, 4000 K FL 930: świetlówka $Ra \geq 90$, 3000 K Ż: żarówka halogenowa $Ra = 100$, 3000 K	LED 830: moduł LED $Ra \geq 80$, 3000 K LED 840: moduł LED $Ra \geq 80$, 4000 K LED 930: moduł LED $Ra \geq 90$, 3000 K
3	4
COB 830: COB LED, Premium White $Ra \geq 80$, 3000 K COB CW: COB LED, Crisp White $Ra \geq 90$, 3000 K COB 930: COB LED, Premium White $Ra \geq 90$, 3000 K	Wnęka umożliwiająca rozwój stanowiska badawczego

3.3. Wybór próbek barwnych

Jako wyposażenie wnęk badawczych zostały przyjęte dwa rozwiązania. Pierwszym z nich jest zestaw matowych, tekturowych próbek barwnych o gładkiej powierzchni. Do badań zostało wybranych 6 barw (brązowy, czerwony, żółty, zielony, niebieski i fioletowy), które w dalszej części nazywane są kolumnami próbek barwnych. W każdej z kolumn umieszczono trzy próbki różniące się nasyceniem. Paleta próbek tekturowych została umocowana centralnie na tylnej ścianie wnęki pomiarowej.

Kolejnym rozwiązaniem wyposażenia wnęki są materiały tekstylne (ręczniki frotte) w kolorach: czerwony, żółty, zielony, niebieski i biały. Ze względu na zastosowany materiał, powierzchnia tekstyliów nie jest gładka, co powoduje tworzenie się światłocieni na próbce barwnej. Jest to właściwość, która ma znaczący wpływ na odbiór atrakcyjności oraz ocenę barwy iluminowanej próbki. Próbki tekstylne zostały umiejscowione na dnie wnęki stanowiska badawczego zważając na fakt, by światło padało na nie od frontowej części dla uzyskania równomiernego rozkładu natężenia oświetlenia. Szczegółowe informacje dotyczące tych zagadnień można odnaleźć w literaturze z pozycji [7].

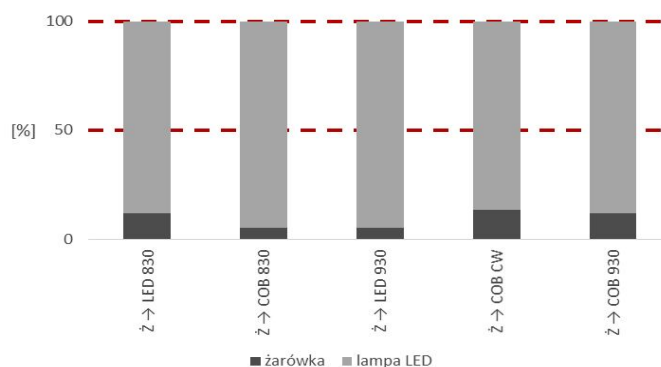
4. PRZEBIEG ORAZ WYNIKI BADAŃ

Przeprowadzone próby miały naturę testów pilotażowych, których wyniki mają posłużyć do opracowania kolejnych scenariuszy badań. Dodatkowa wnęka badawcza umożliwi rozwój stanowiska w przyszłości uzupełniając badania na przykład o porównanie źródeł odniesienia z diodami RGB, których addytywna mieszanina barw daje wrażenie barwy białej. Badania przeprowadzono na grupie dziesięciu obserwatorów w przedziale wiekowym 23 – 25 lat.

Ocena porównawcza została podzielona na rozróżnialność oraz atrakcyjność próbek barwnych. Pod pojęciem rozróżnialności rozumiana jest łatwość w dostrzeżeniu różnicy między próbkami o tym samym odcieniu, jednakże o innym nasyceniu. W przypadku tego badania, obserwator wskazuje wnękę, w której kolumna próbek tekturowych jest dla niego łatwiej rozróżnialna pod względem nasycenia. Pod pojęciem atrakcyjności rozumie się porównywanie barwy z uwzględnieniem tego, która wydaje się bardziej interesująca, co oznacza, że obserwator wskazuje wnękę w której kolory próbek zarówno tekturowych, jak i tekstylnych bardziej mu się podobają.

Podczas badań załączane było źródło światła we wnęcie referencyjnej (nr 1) oraz we wnęcie badanej nr 2 lub nr 3. Obserwator był proszony o wskazanie wnęki, w której oświetlana próbka była lepiej rozróżnialna lub wydawała się bardziej atrakcyjna. Porównania dokonywano pomiędzy lampami o takiej samej lub podobnej wartości temperatury barwowej.

Na rysunkach 4.1 oraz 4.2 zostały zaprezentowane wyniki badań. Przedstawiono procentowy wybór obserwatorów pomiędzy lampą referencyjną a lampą badaną gdy kryterium oceny oświetlanej próbki barwnej była **rozróżnialność**.



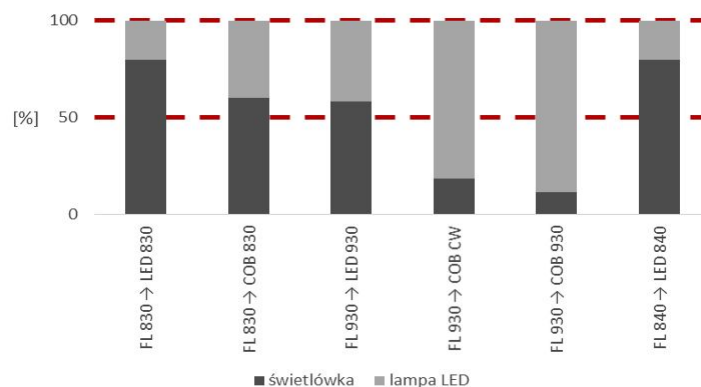
Rys. 4.1. Wyniki badań porównawczych, procentowy wybór obserwatorów pomiędzy lampą referencyjną (żarówka halogenowa Ż) a lampami diodowymi – ROZRÓŻNIALNOŚĆ

Analizując rysunek 4.1 można zauważyć, że lepiej zostały ocenione próbki barwne, które były oświetlane lampami LED. Warto porównać ze sobą słupki „Ż→LED 830” oraz „Ż→LED 930” ze względu na to, iż w lampach LED do użytku domowego o trzonku E27, będących zamiennikiem żarówek głównego szeregu stosuje się takie same chipy diod, jak w przypadku badanych modułów LED 830. Widać, że lepiej obserwatorzy oceniają rozróżnialność nasycenia barwy w przypadku modułu LED 930. Przeprowadzone badania jednak nie potwierdziły tej zależności w przypadku źródeł LED wyprodukowanych w technologii COB, bowiem paradoksalnie źródło o wskaźniku oddawania barw

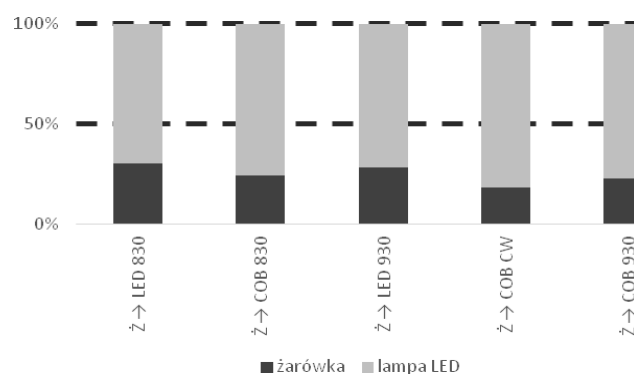
$Ra \geq 80$ („ $\dot{Z} \rightarrow \text{COB } 830$ ”) jest lepiej ocenione niż źródła o $Ra \geq 90$ („ $\dot{Z} \rightarrow \text{COB CW}$ ”, „ $\dot{Z} \rightarrow \text{COB } 930$ ”) o podobnej wartości temperatury barwowej.

Na rysunku 4.2 widnieje wykres porównawczy źródeł fluorescencyjnych. W tym przypadku ocena wyników badań nie jest już taka oczywista, gdyż w 1/3 przypadków lepsze wyniki uzyskuje świetlówka, w 1/3 diody świecące a w 1/3 wyniki są porównywalne, jednakowoż ze wskazaniem na świetlówki. Taki rezultat może być wynikiem prążkowego charakteru krzywej widmowej lamp wyładowczych, który uzupełnia spektrum o wiele różnych barw.

Na rysunkach 4.3 oraz 4.4 zostały przedstawione wyniki badań gdy kryterium oceny była atrakcyjność próbki barwnej. Przedstawiono procentowy wybór obserwatorów pomiędzy lampą referencyjną a lampą badaną.

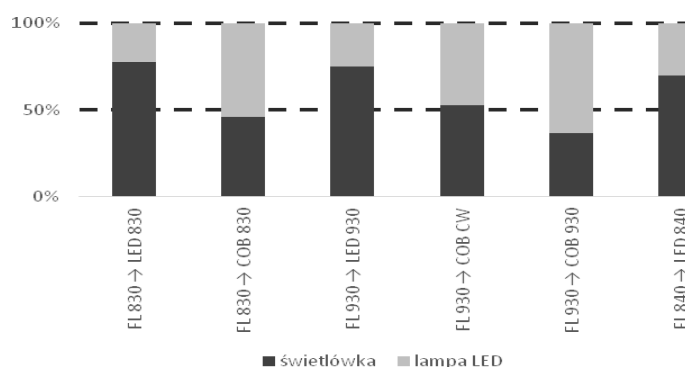


Rys. 4.2. Wyniki badań porównawczych, procentowy wybór obserwatorów pomiędzy lampami referencyjnymi (świetlówki: **FL 830**, **FL 930** i **FL 840**) a lampami diodowymi – ROZRÓZNIALNOŚĆ



Rys. 4.3. Wyniki badań porównawczych, procentowy wybór obserwatorów pomiędzy lampą referencyjną (żarówka halogenowa **Z**) a lampami diodowymi – ATRAKCYJNOŚĆ

Z rysunku 4.3 wynika, że obserwatorzy lepiej ocenili atrakcyjność tych próbek, które były oświetlane lampami LED.



Rys. 4.4. Wyniki badań porównawczych, procentowy wybór obserwatorów pomiędzy lampami referencyjnymi (świetłówki: **FL 830**, **FL 930** i **FL 840**) a lampami diodowymi – ATRAKCYJNOŚĆ

Na rysunku 4.4 widnieje wykres porównujący źródła fluorescencyjne z lampami LED. Również w tym przypadku ocena wyników badań nie jest już tak jednoznaczna, gdyż dla 3 przypadków lepsze wyniki uzyskuje świetlówka, a dla 3 wyniki są porównywalne, jednakowoż z niewielkim wskazaniem na lampy LED. Taki rezultat może być wynikiem prążkowego charakteru krzywej widmowej lamp wyładowczych, który uzupełnia spektrum o wiele różnych barw.

Ciekawym zagadnieniem jest również kwestia słuszności rozgraniczenia „rozróżnialności nasycenia barwy” oraz „atrakcyjności” oświetlanych próbek. Analiza wyników badań wykazuje, iż gdy źródłem referencyjnym jest źródło inkandescencyjne wyniki badań są całkowicie zbieżne (rys. 4.1, 4.3). Natomiast dla lamp fluorescencyjnych (rys. 4.2, 4.4) dochodzi do niewielkich rozbieżności. W dalszych rozważaniach zaleca się zatem stosować jeden system oceny oświetlanych próbek testowych.

5. WNIOSKI

Na podstawie wyników wykonanych badań, wykazano, że oceniając źródło pod względem wskaźnika Ra, nie można przewidzieć wrażenia wzrokowego odbiorcy podczas oceny próbek barwnych oświetlanych lampami LED. Choć jest możliwe, by źródła LED miały wskaźnik Ra wyższy niż 95, to wiele z nich osiąga wartość ok. 80. Wartości liczbowe powinny służyć jedynie jako ogólna wskazówka podczas prawdziwej oceny [6]. Żarówka halogenowa ma maksymalny wskaźnik oddawania barw równy 100 jednostkom, a jednak analiza ba-

dań wykazała, że lepiej oceniana była próbka w przypadku iluminacji lampami LED o $Ra \geq 90$ a nawet $Ra \geq 80$. Ze względu na dynamiczny rozwój wszelkich parametrów lamp diodowych, konieczne jest aby i wartość wskaźnika oddawania barw była parametrem miarodajnym. Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa rekomenduje powstawanie innowacyjnego wskaźnika oddawania barw, jednak ważne jest by nowy wskaźnik dostarczał dodatkowych informacji do obecnie stosowanego wskaźnika oddawania barw Ra , zachowując przy tym użyteczność dla wszystkich typów lamp oświetleniowych.

Przeprowadzone badania umożliwiły również porównanie wciąż konkurencyjnych na rynku oświetleniowym świetlówek z lampami diodowymi. Istnieje wiele czynników, które stanowią na korzyść tych drugich, takie jak większa skuteczność świetlna. Analiza otrzymanych wyników wykazała, iż świetlówki nie odbiegają standardem od lamp diodowych pod względem oceny oddawania barw przez obserwatorów. Niejednokrotnie świetlówki były oceniane znacznie lepiej.

Warto przypomnieć, iż badania miały charakter subiektywny, a obserwator był proszony o poleganie na własnych odczuciach estetycznych. Wiadomym jest, z psychofizjologicznego punktu widzenia, że zdolność identyfikowania barw, czy odczucia barwne są spersonalizowanymi wrażeniami i nie są one identyczne u różnych obserwatorów.

Stworzone stanowisko pomiarowe ma charakter rozwojowy. Dalszą rozbudowę umożliwi dodatkowa wnęka badawcza, w której można zamontować inne źródła światła. Należy także zwrócić uwagę, że na wynik testu również miał wpływ zbiór próbek barwnych. Analiza słuszności rozgraniczenia „rozróżnialności” oraz „atrakcyjności” oświetlanych próbek wykazała, iż pomimo rozbieżności, korelacja pomiędzy tymi kryteriami jest na wysokim poziomie. W dalszych badaniach zaleca się stosowanie jednego kryterium oceny stopnia oddawania barw.

LITERATURA

- [1] Bouma, P. J.: Physical aspects of colour; an introduction to the scientific study of colour stimuli and colour sensations. Eindhoven, Philips Gloeilampenfabrieken Technical and Scientific Literature Dept., 1948.
- [2] CIE International Commission on Illumination, Technical Report, 13.3–1995: Method of Measuring and Specifying Colour Rendering of Light Sources 3rd ed.
- [3] CIE International Commission on Illumination, Technical Report, 177:2007: Colour rendering of white LED light sources.
- [4] Fryc I., Fryc J., Wąsowski K.: Rozważania o jakości oddawania barw źródeł światła, wyrażanej wskaźnikiem Ra (CRI), uwzględniające fizjologię widzenia oraz zagadnienia techniczno–prawne, Przegląd Elektrotechniczny, nr 2/2016.

- [5] Michałowska N., Taisner M.: Badanie oddawania barw lamp z diodami świecącymi, Praca dyplomowa magisterska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, Politechnika Poznańska, 2016.
- [6] Artykuł udostępniony przez Energy Efficiency & Renewable Energy „LED Color Characteristics” <http://www.hi-led.eu/wp-content/themes/hiled/pdf/led-color-characteristics-factsheet.pdf>, [dostęp 20.06.2016]
- [7] Michałowska N., Taisner M., Wandachowicz K.: Subiektywne badanie oddawania barw lamp z diodami świecącymi, XXV Krajowa Konferencja Oświetleniowa TECHNIKA ŚWIETLNA 2016

SUBJECTIVE RESEARCH OF COLOUR RENDERING LAMPS WITH LIGHT EMITTING DIODES

The article describes the results of laboratory tests. The research involves the observation of colourful samples illuminated with lamps used in lighting design. The aim of the study was the subjective evaluation and comparison of the colour rendering by LED lamps, light bulbs and fluorescent lamps. The results for the group of 10 observers were compared with the values of the colour rendering indexes (CRI) of tested lamps. The design of the laboratory position was presented, including technical conditions and criteria for the selection of colourful samples and light sources.

(Received: 12. 02. 2017, revised: 28. 02. 2017)