

SPEKTORADIOMETRYCZNY SYSTEM POMIAROWY, UMOŻLIWIAJĄCY WYZNACZANIE I ANALIZĘ WSKAŹNIKÓW OPISUJĄCYCH JAKOŚĆ ODDAWANIA BARW ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA

Teodora DIMITROVA-GREKOW¹, Justyna KOWALSKA², Kamil JURCZAK³, Irena FRYC⁴

1. Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki
tel.: +857469062 e-mail: t.grekow@pb.edu.pl
2. Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, Zakład Techniki Świetlnej
tel.: +222347505 e-mail: justyna.kowalska@ien.pw.edu.pl
3. Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki
tel.: +857469062 e-mail: kj121212@gmail.com
4. Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroenergetyki Fotoniki i Techniki Świetlnej
tel.: +857469407 e-mail: i.fryc@pb.edu.pl

Streszczenie: Artykuł przedstawia opis, stosowanego w metrologii promieniowania optycznego, spektroradiometrycznego systemu pomiarowego. Został on zbudowany przy użyciu handlowo dostępnego kompaktowego spektroradiometru *StellarNet Inc.*, wyposażonego w autorskie oprogramowanie komputerowe. Zaproponowany system, na podstawie pomiaru względnych rozkładów widmowych mocy promienistej, pozwala na określanie parametrów kolorymetrycznych promieniowania emitowanego przez źródła światła. Obsługa systemu odbywa się poprzez interfejs graficzny. Interfejs ten składa się z modułów gromadzenia, obróbki i archiwizacji danych pomiarowych. Dzięki czemu, istnieje możliwość gromadzenia informacji o parametrach źródeł światła w formie bazy danych. Opracowany moduł archiwizacji, pozwala również na określanie zmian parametrów świetlnotechnicznych źródeł światła zachodzących w czasie ich eksploatacji.

Słowa kluczowe: oddawanie barw, źródła światła, GUI, DB.

1. WSTĘP

Współcześnie klasyczne źródła światła, zarówno temperaturowe jak i wyładowcze, są zastępowane lampami typu LED. Jednakże przy przeprowadzaniu tego typu modernizacji oświetlenia należy pamiętać aby powodowała ona pogorszenia jakości oświetlanych przestrzeni. W związku z czym nieodzownym jest określanie i wyznaczanie parametrów świetlnotechnicznych zamienników przy użyciu odpowiednich metod i narzędzi pomiarowych. Niestety, znane i rekomendowane metody i narzędzia pomiarowe dotyczące klasycznych źródeł światła, nie zawsze są poprawne przy zastosowaniu do mierzenia źródeł LED [1]. Jednym z istotnych parametrów technicznych, charakteryzujących źródła światła, jest oddawanie przez nie barw oświetlanych przedmiotów. Liczbowe określenie oddawania barw, musi być adekwatne do wrażenia barwnego odczuwanego przez człowieka. W latach 60 i 70 XX wieku Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa CIE przedstawiła w dokumencie Nr 13.3 metodę określenia oddawania barw przy użyciu wskaźnika CIE R_a (CRI, ang. *Color Rendering Index*). Obecną wersją

tego dokumentu jest CIE 13.3-1995. Wiadomym jest także, że przy pomiarach LED-ów, metoda określenia ich oddawania barw wskaźnikiem R_a nie jest w pełni obiektywna [2,3]. W związku z czym, CIE podjęła intensywne prace zmierzające do uwspółcześnienia metod wyznaczania tego wskaźnika [4,5]. Na przestrzeni ostatnich kilku lat, powstało wiele metod oceny jakości oddawania barw źródeł światła.

W metodzie CIE R_a (CRI) oceniane są różnice w wyglądzie barwy testowych próbek oświetlanych źródłem badanym w porównaniu do ich wyglądu przy oświetleniu źródłem wzorcowym [6]. Wybór źródła wzorcowego uzależniony jest od wartości temperatury barwowej najbliższej źródła badanego. Dla źródeł światła o temperaturze barwowej najbliższej poniżej 5000 K jest to promiennik Placka (3000 K) a powyżej 5500 K – iluminant D65. Dla każdej z próbek barwnych wyznaczane są wartości położenia punktu chromatyczności w układzie (u,v) CIE 1961, na podstawie których obliczana jest wartość szczegółowego wskaźnika oddawania barw danej próbki R_i . Ogólny wskaźnik oddawania barw R_a jest średnią arytmetyczną wartości R_i dla 8 barwnych próbek ustalonych przez CIE. Wskaźnik ten, w odniesieniu do źródeł LED nie zawsze w pełni umożliwia uzyskanie jednoznacznych w interpretacji wyników [2,3,7]. Dążąc do wskazania adekwatnej w zastosowaniach do współczesnych źródeł światła metody określenia ich jakości oddawania barw w amerykańskim Narodowym Instytucie Technologii i Normalizacji NIST opracowana została metoda CQS.

Metoda obliczania CQS jest modyfikacją metody CIE R_a (CRI). Do obliczeń wykorzystywane jest 15, innych niż w metodzie CIE R_a (CRI), próbek barwnych – charakteryzujących się wysokim nasyceniem. Różnice barw określane są, w bardziej jednorodnej niż przestrzeń uv , przestrzeni CIE LAB [8]. Pomimo eliminacji niedoskonałości metody CIE R_a (CRI) z 1995 roku oraz faktu, że niektórzy użytkownicy chcieliby mieć możliwość, aby ich systemy pomiarowe źródeł światła umożliwiały

w trakcie pomiaru dostęp do informacji o wartości tego wskaźnika [9], metoda *CQS* nie uzyskała akceptacji CIE i nie została zarekomendowana do stosowania ze względu na istniejące w niej braki. Dążąc do opracowania metody oceny oddawania barw, pozbawionej wad *CQS* i CIE R_a (CRI), w 2015 roku Illuminating Engineering Society USA przedstawiło metodę TM 30-15.

Metoda IES-TM-30-15 ocenia oddawanie wierności barwy wskaźnikiem R_f oraz zmiany w nasyceniu barwy jako wskaźnik R_g . W metodzie tej użyto 99 próbek barwnych rozłożonych równomiernie w całej przestrzeni barw. Po oświetleniu próbek światłem wzorcowym i badanym obliczane są różnice barwne w przestrzeni barw CAM02-UCS. Następnie obliczany jest wskaźnik wierności R_f . Wybór źródła wzorcowego zależy od źródła badanego. Dla źródeł światła o temperaturze barwowej najbliższej poniżej 4500 K jest to promiennik Placka, powyżej 5500 K – iluminant D65, a w zakresie (4500÷5500) K – liniowa kombinacja D65 i źródła Plancka. Dla każdej próbki testowej oświetlanej źródłem badanym i źródłem wzorcowym wyznaczane są współrzędne barwy (J', a', b'), które są grupowane w 16 komórek barwnych o równej szerokości. Dla każdej komórki wyznaczana jest średnia wartość (a', b'), co pozwala na wyznaczenie pola ograniczonego 16 punktami dla źródła wzorcowego i źródła badanego i określenie wartości wskaźnika R_g .

Wszystkie z zaprezentowanych metod odnoszą się do danych pomiarowych dotyczących względnych rozkładów widmowych mocy promienistej promieniowania. W związku z czym, elementem kluczowym do rozpoczęcia określania oddawania barw źródeł światła jest pomiar ich rozkładu widmowego. Współcześnie tego rodzaju pomiary, coraz częściej są wykonywane z użyciem spektrometrii kompaktowego [10, 11].

2. POMIARY SPEKTROFOTOMETRYCZNE

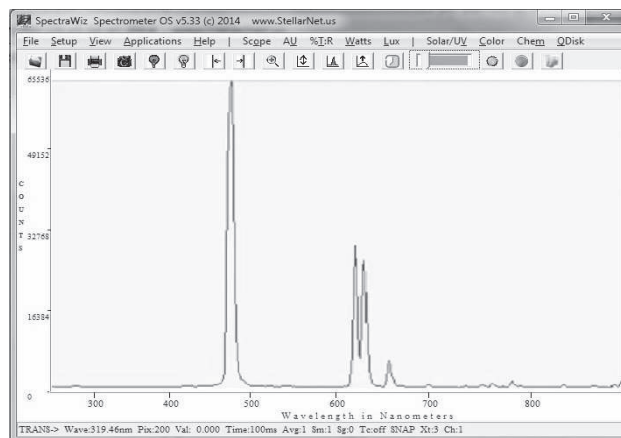
Oferowane handlowo kompaktowe spektrofotometryczne systemy pomiarowe, nie zaspokajają jednak całkowicie oczekiwań użytkowników co do gromadzenia, obróbki oraz archiwizacji danych. Przeważnie umożliwiają jedynie zapisanie w postaci pliku tekstowego zmierzonego rozkładu widmowego (SPDs). Niekiedy umożliwiają również określenie jakości oddawania barw przy użyciu wskaźnika R_a (CRI) [9], pomimo tego iż współczesna metrologia promieniowania optycznego oferuje również inne miary określania tej wielkości.

2.1. Aplikacje dedykowane

Współczesna aparatura pomiarowa, zapewnia użytkownikowi dostęp do numerycznych wartości zmierzonych wielkości. Aplikacje dedykowane często są w postaci GUI (ang. *Graphics User Interface*). Przykładowo popularne na rynku spektrofotometrii firmy *StellarNet Inc SpectraWiz* [12]. Za jego pomocą, użytkownik może wykonywać pomiary spektrometryczne różnych źródeł światła. Nieskomplikowany oraz intuicyjny interfejs, którego główny panel został pokazany na rysunku 1, umożliwia:

1. wizualizację oraz rejestrację rozkładu widmowego promieniowania badanego źródła światła,
2. powiększenie, przy użyciu kursora lub klawisza wyboru, określonego obszaru rozkładu widmowego,

3. uwzględnienie danych kalibracyjnych systemu w trakcie przeprowadzania pomiarów,
4. zapisanie danych do plików, wybierając przy tym krok pomiarowy przechowywanej informacji,
5. wybór trybu pracy,
6. wybór parametrów przeprowadzania pomiaru.



Rys. 1. Panel główny programu *SWUpdate* firmy *StellarNet Inc* [12] z wizualizacją rozkładu widmowego SPDs mierzonej lampy

Do głównych wad tego oprogramowania zaliczyć można brak:

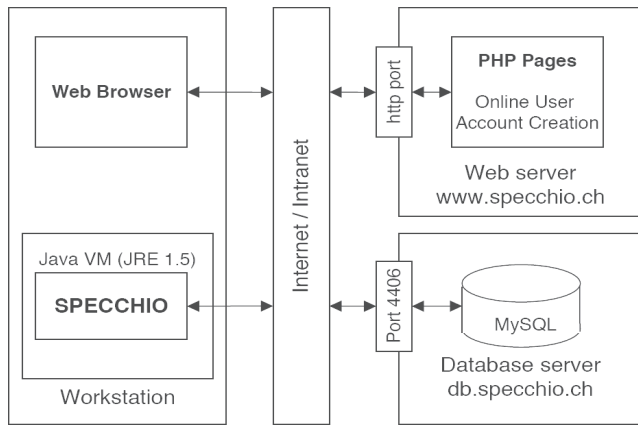
1. kontroli prawidłowości procesu pomiaru,
2. systematycznego gromadzenia i archiwizacji danych pomiarowych,
3. zapisywania historii pracy oraz danych pochodzących z przeprowadzanych pomiarów,
4. wyliczania i analizy parametrów źródła światła.

Pomimo, że omawiany przykład nie wyczerpuje rynku dedykowanych produktów o podobnej funkcjonalności, można uogólnić że rzadko kiedy dołączone do produktu aplikacje dedykowane spełniają bardziej wyrafinowane oczekiwania użytkownika. W szczególności, jeżeli np. zachodzi potrzeba przeprowadzenia badań zmiany parametrów technicznych danego źródła światła w czasie.

2.2. Aplikacje uniwersalne

Istnieją również rozwiązania edukacyjne i badawcze gromadzące i archiwizujące dane (rysunek 2) o właściwościach mierzonego źródła światła. Przykładem takiego systemu jest bezpłatne oprogramowanie *SPECCHIO* służące do gromadzenia i analizy danych spektrometrycznych [13]. Jednakże nie umożliwiają one kompleksowej analizy parametrów świetlnych źródeł światła, a ponadto nie są one wystarczającymi narzędziami do gromadzenia, analizy i obrabiania zebranych danych.

Architektura *SPECCHIO* (rysunek 2) pozwala na efektywne gromadzenie dużej ilości wielowymiarowych danych oraz dostęp do nich w czasie rzeczywistym. Graficzny interfejs użytkownika pozwala na równoczesne przeglądanie i pobieranie danych. Wadą tego oprogramowania jest to, iż nie zawiera on narzędzi do wyznaczania i wizualizacji parametrów opisujących oddawanie barw źródeł światła.



Rys. 2. SPECCHIO architektura systemu [13]

Mając na uwadze powyższe niedogodności autorzy postanowili opracować, na bazie handlowo dostępnego spektrometriu kompaktowego firmy *StellarNet Inc* [12], system pomiarowy umożliwiający wyznaczenie i analizę parametrów opisujących oddawanie barw źródeł światła.

3. PREZENTACJA OPRACOWANEGO SYSTEMU POMIAROWEGO

Przedstawiony w artykule spektrometryczny system pomiarowy zaprojektowano z myślą o tym, aby był on przydatnym narzędziem pomiarowym zarówno dla użytkowników nieprofesjonalnych jak i dla profesjonalistów z dziedziny techniki świetlnej.

3.1. Struktura i funkcjonalności pomiarowe systemu

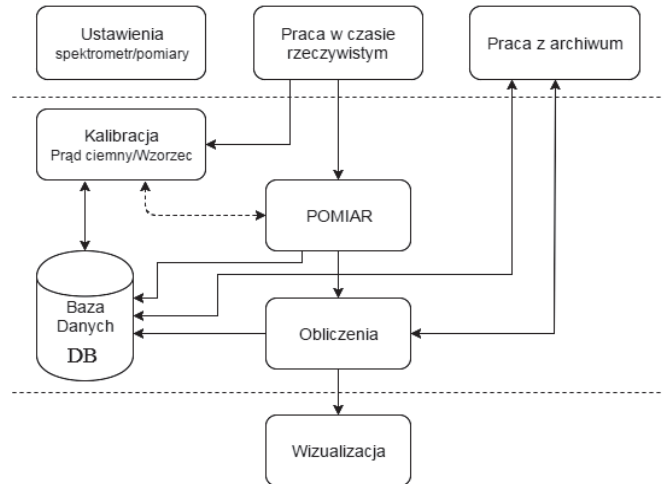
Moduły wchodzące w skład architektury tego systemu pomiarowego, tworzą strukturę trzypoziomową (rysunek 3). Pierwszy poziom umożliwia wybór trybu pracy oraz wyboru opcjonalnych ustawień spektrometriu i/lub parametrów związanych z pomiarami (np. liczby próbek pobieranych z urządzenia, zakresu długości fali, czasu całkowania). Urządzenie może pracować zarówno w czasie rzeczywistym jak też korzystać z danych pochodzących z bazy DB (ang. *Data Base*) będącej częścią składową omawianego systemu. Drugi poziom oprogramowania umożliwia pobieranie danych bezpośrednio ze spektrometriu oraz przeprowadzanie obliczeń kolorymetrycznych. Aplikacja umożliwia wczytanie danych dotyczących rozkładu widmowego źródła światła wzorcowego (z bazy danych lub z pliku będącego wynikiem pomiaru tym układem). Istnieje również możliwość zapisywania informacji pochodzących z pomiarów do bazy danych. Zapewniono również, aby układ umożliwiał pomiar wartości prądu ciemnego detektora spektrometriu.

Istnieje możliwość, przedstawiania obliczonych parametrów kolorymetrycznych zarówno w postaci wartości liczbowych jak i w graficznej.

Wyznaczanymi wielkościami są:

1. położenie punktu chromatyczności x, y oraz wartości X, Y, Z w układzie kolorymetrycznym CIE 1931,
2. położenie punktu chromatyczności w układzie u', v' CIE 1976,
3. wartości szczegółowych i ogólnego wskaźnika oddawania barw R_p , CIE R_a (CRI),
4. wartości wskaźników oddawania barw R_f, R_g według metody IES *TM 30-15* i ich wizualizacja,
5. wartości wskaźników oddawania barw według metody NIST CQS (Q_s),

6. rozkładu widmowego mocy promienistej SPDs,
7. temperatura barwowa najbliższa T_b .



Rys. 3. Architektura opracowanego systemu pomiarowego

3.2. Prezentacja interfejsu graficznego aplikacji oraz porównanie jej możliwości z aplikacją dedykowaną

Opracowane oprogramowanie umożliwia wyznaczenie parametrów kolorymetrycznych źródeł światła zarówno dla danych pochodzących z pomiaru jak i dla wczytanego z bazy rozkładu widmowego badanego źródła (rysunek 4a). Wizualizację parametrów kolorymetrycznych źródeł światła realizują moduły CIE R_a (CRI) – rysunek 4b, NIST CQS – rysunek 4c oraz IES *TM 30-15* – rysunek 4d. Graficzna forma przedstawiania danych pomiarowych ułatwia użytkownikowi ocenę parametry oddawania barw badanego źródła światła. Fakt iż wartości liczbowe opisujące oddawanie barw przedstawione są w różnych układach ich wyznaczania czyni tą aplikację bardzo użytecznym i przydatnym narzędziem pomiarowym pomocnym w procesie oceniania jakości parametrów źródeł światła.

W tabelicy 1 przedstawiono zestawienie funkcjonalności opracowanego spektrometrycznego systemu pomiarowego w porównaniu ich funkcjonalności oferowanych poprzez przyrząd firmy StellarNet Inc. Jak można zauważyć na podstawie danych zawartych w tej tabeli, w standardowej wersji przyrząd StellarNet umożliwia jedynie wyznaczenie rozkładu widmowego źródeł światła SPDs. W związku z czym, nie posiada on funkcjonalności oferowanych przez opracowany przez autorów spektrometryczny system pomiarowy.

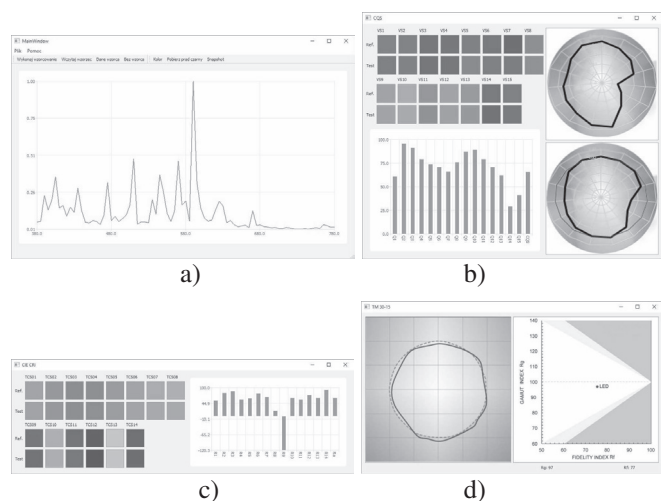
Tabela 1. Funkcjonalności aplikacji spektrometrycznych

| | Wyznaczanie | | | | | |
|-----------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|------|
| | T_b [K] | R_a | R_f | R_g | Q_s | SPDs |
| aplikacja StellarNet | - | - | - | - | - | v |
| aplikacja autorska | v | v | v | v | v | v |

Do zalet opracowanej aplikacji pomiarowej należy zaliczyć:

1. modułowość systemu,
2. kontrolę prawidłowości procesu pomiaru,
3. przejrzyste przedstawianie wyników obliczeń,
4. systematyczne gromadzenie i archiwizację danych,
5. możliwość pomiaru rozkładu widmowego mocy promienistej SPDs,
6. wyliczanie i analizę parametrów kolorymetrycznych źródła światła.

Cztery pierwsze pozycje powyższego zestawienia opisują cechy użytkowe opracowanego oprogramowania. Z naukowo-badawczego punktu widzenia istotne są jednak właściwości metrologiczne tego systemu. Wpływają na nie wymienione w ostatnich dwóch punktach powyższego zestawienia funkcjonalności.



Rys. 4. Widok interfejsu graficznego: a) wczytywanie rozkładu widmowego; b) wizualizacja w systemie NIST CQS; c) wizualizacja w systemie CIE CRI; d) wizualizacja w systemie IES TM 30-15

3.3. Właściwości metrologiczne opracowanego systemu

W związku z ograniczoną objętością niniejszego opracowania, w artykule nie zawarto informacji na temat parametrów użytego w opracowanym systemie pomiarowym spektrometru kompaktowego ponieważ ich omówienie można znaleźć w publikacjach: „Dokładność pomiarowa spektrometrów typu CCD” [10] oraz „Istotne parametry spektrometru wielokanałowego” [11].

Właściwości metrologiczne opracowanego systemu zostały określone na podstawie zestawienia wyników pomiarów parametrów kolorymetrycznych różnego typu źródeł światła. Ta sama lampa była mierzona omawianym systemem pomiarowym i jej parametry były porównywane z wartościami uzyskanymi podczas pomiarów laboratoryjnym spektrometrem pomiarowym Optronic OL750 [14]. Ten uznawany międzynarodowo jako wzorcowy, spektrometryczny system pomiarowy składa się z:

1. podwójnego monochromatora na zakres długości fali od 200 nm do 30000 nm, dokładności ustawienia długości fali $\pm 0,05\%$, dyspersji 2nm/mm i częstotliwości czopera regulowanej w zakresie od 10 Hz do 350 Hz,
2. układu detekcyjnego OL 750-HSD-310 PMT (AC) zbudowanego przy użyciu fotopowielacza, pracującego w zakresie pomiarowym fotoprądów od 10^{-6} A do 10^{-8} A, w zakresie długości fali od 200 nm do 800 nm. Napięcie zasilające fotopowielacza, zapewniające jego liniową pracę, może być regulowane w zakresie od 500 V do 1100 V.
3. układu detekcyjnego OL 750-HSD-300 Si (AC) zawierającego fotodetektor krzemowy na zakres długości fali od 200 nm do 1100 nm, pracującego w zakresie fotoprądów od 10^{-3} A do 10^{-11} A,
4. kontrolera sterującego monochromatorem,

5. komputera PC służącego do zbierania danych pomiarowych.

4. POMIAR I ANALIZA PARAMETRÓW KOLORYMETRYCZNYCH WYBRANYCH ŹRÓDŁA ŚWIATŁA

W tablicy 2, 3 oraz 4 przedstawiono wartości parametrów kolorymetrycznych wybranych źródeł światła. W Tablicy 2 zestawiono parametry 60 W żarówki Osram oraz sodowej pampy lampy wysokoprężnej Philips. Tablica 3 zawiera zestawienie danych dotyczących ciepłobiałej i chłodno białej świetlówki typu T8, a tablica 4 dotyczy lamp typu LED Lumileds, charakteryzujących się ciepłą i zimną temperaturą barwową. Dane zawarte w tablicach, zostały wyznaczone na podstawie pomiarów:

- opracowanym (kolumna SA - System Autorski),
- laboratoryjnym (kolumna SL - System Laboratoryjny) spektrometrycznym układem OL 750. Wartości, parametrów kolorymetrycznych źródeł światła, wyznaczone w tym układzie zostały przyjęte jako wzorcowe.

Tablica 2. Parametry kolorymetryczne żarówki oraz lampy wyładowczej HPS

| | Żarówka Osram 60W | | | Lampa wyładowcza HPS | | |
|-----------|-------------------|------|----------|----------------------|------|----------|
| | SA | SL | Δ | SA | SL | Δ |
| T_b [K] | 2814 | 2812 | -2 | 2262 | 2236 | -26 |
| R_a | 100 | 100 | 0 | 65 | 63 | -2 |
| R_f | 100 | 100 | 0 | 28 | 25 | -3 |
| R_g | 100 | 99 | -1 | -23 | -28 | -5 |
| Q_s | 98 | 98 | 0 | 65 | 65 | 0 |

Tablica 3. Parametry kolorymetryczne świetlówek

| | Świetlówka ciepłobiała | | | Świetlówka zimno-biała | | |
|-----------|------------------------|------|----------|------------------------|------|----------|
| | SA | SL | Δ | SA | SL | Δ |
| T_b [K] | 2958 | 2940 | -18 | 4254 | 4289 | 35 |
| R_a | 86 | 85 | -1 | 64 | 63 | -1 |
| R_f | 54 | 51 | -3 | 16 | 13 | -3 |
| R_g | 2 | 2 | 0 | -82 | -87 | -5 |
| Q_s | 82 | 80 | -2 | 65 | 64 | -1 |

Różnica pomiędzy wartością danej wielkości, wyznaczoną systemem autorskim a wartością wzorcową, oznaczona jest jako Δ i umieszczona w trzeciej kolumny każdej tabeli. Na podstawie danych zawartych w tablicy 2, 3 oraz 4 można stwierdzić, że różnice w wartościach parametrów kolorymetrycznych źródeł światła wyznaczonych przy użyciu opracowanego systemu są znikomo małe w stosunku do wartości wyznaczonych w układzie przyjętym jako wzorcowy.

Tablica 4. Parametry kolorymetryczne lamp LED

| | LED 3000 K | | | LED 5000 K | | |
|-----------|------------|------|----------|------------|------|----------|
| | SA | SL | Δ | SA | SL | Δ |
| T_b [K] | 3071 | 3070 | -1 | 4834 | 4921 | 87 |
| R_a | 95 | 94 | -1 | 73 | 72 | -1 |
| R_f | 87 | 87 | 0 | 32 | 30 | -2 |
| R_g | 80 | 80 | 0 | -26 | -30 | -4 |
| Q_s | 93 | 92 | -1 | 74 | 73 | -1 |

Największą różnicę wartości pomiarowych temperatury barwowej T_b , wynoszącą 87 K, odnotowano w przypadku

lampy typu LED 5000 K. Jednakże można tą wartość przyjąć jako dopuszczalną przy przeprowadzaniu pomiarów lamp służących do oświetlenia ogólnego, ponieważ w tego typu aplikacjach przyjmuje się, że zmierzona wartość temperatury barwowej nie powinna odbiegać więcej jako 100 K od wartości rzeczywistej.

5. WNIOSKI

Niniejszy artykuł opisuje system pomiarowy zbudowany na bazie kompaktowego spektrometriu *StellarNet Inc.* W omawianym systemie, na bazie pomiaru rozkładu widmowego promieniowania emitowanego przez źródła światła określone są ich parametry kolorymetryczne. Wyznaczane jest położenie punktu chromatyczności oraz temperatura barwowa T_b . Charakteryzowane jest również oddawanie barw wyrażone wskaźnikami opisanymi w systemie CIE R_a (CRI), Q_s (NIST CQS) oraz R_f , R_g (IES TM 30-15).

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów, stwierdzono że dla przeprowadzania tym systemem pomiaru parametrów źródeł światła służących do oświetlenia ogólnego dokładność pomiarowa tego systemu jest wystarczająca, ponieważ nawet dla lamp chłodno-białych typu LED różnica pomiędzy wartością temperatury barwowej T_b wyznaczoną opracowanym systemem, a wartością zmierzoną przyrządem uznanym za wzorcowy wynosi mniej jak 100 K, czyli nie przekracza wartości uznanej jako graniczna przy przeprowadzaniu pomiarów lamp służących do ogólnych celów oświetleniowych. Ponadto niezależnie od przyjętego systemu służącego do opisu oddawania barw źródeł światła różnice w wartości zmierzonej w porównaniu do wartości wyznaczonej przyrządem wzorcowym maksymalnie wynoszą 5. Wynik ten można uznać za bardzo dobry, ponieważ dopiero liczbowa zmiana wskaźnika R_a o więcej jak 5 skutkuje tym że człowiek różnie percypuje to oświetlenie. Zmiany w wartości R_a na poziomie niższym niż 5 nie wpływają na zmiany odczuć wizualnych u człowieka.

Dalszy rozwój omawianego systemu, zakłada jego uzupełnienie o rozszerzony sposób gromadzenia danych w postaci bazy danych, z danymi dotyczącymi rozkładów widmowych lamp, dostępnej za pośrednictwem sieci internetowej.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Fryc I.: Pomiary wybranych parametrów świetlnooptycznych LEDów według zaleceń Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej CIE 127:2007, *Przegląd Elektrotechniczny*, Nr 11, 2009, s. 317-319.
2. Houser K., Mossman M., Smet K., Whitehead L.: Tutorial: Color Rendering and Its Applications in Lighting, *Leukos*, Nr 12, 2016, s. 7-26.
3. Fryc I., Fryc J., Wąsowski K.: Rozważania o jakości oddawania barw źródeł światła, wyrażanej wskaźnikiem R_a (CRI), uwzględniające fizjologię widzenia oraz zagadnienia techniczno-prawne, *Przegląd Elektrotechniczny*, Nr 92, 2016, Nr.2, s. 218-223.
4. CIE 177:2007 Colour Rendering of White LED Light Sources.
5. CIE 224:2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use.
6. CIE 13.3-1995 Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources.
7. David A., Fini P.T., Houser K.W., Ohno Y., Royer M. P., Smet K. A. G., Wei M., Whitehead L.: Development of the IES method for evaluating the color rendition of light sources, *Optics Express*, vol. 23, no. 12, 2015, s. 15888-15906.
8. Davis W., Ohno Y.: Color Quality Scale, *Opt. Eng.* 49(3), 2010, 033602, s. 1-16.
9. Chęciński J., Filus Z.: Lampa LED o regulowanej temperaturze barwowej, *Przegląd Elektrotechniczny*, Nr 9, 2016, s. 51-54.
10. Fryc I., Czyżewski D.: Dokładność pomiarowa spektrometriów typu CCD, *Przegląd Elektrotechniczny*, Nr 11, 2009, s. 276-279.
11. Fryc I.: Istotne parametry spektrometriu wielokanałowego, *Przegląd Elektrotechniczny*, Nr 4a, 2012, s. 230-231.
12. <http://www.stellarnet.us/>
13. Hüni A., Kneubühler M.: SPECCHIO: A free spectral data management and processing system, *Proc. SPIE* vol. 7457, 2009, s. 557-565.
14. http://www.ghinstruments.com/wp-content/uploads/2014/10/750_B200_7-10_GHI.pdf z dnia 24.06.2017

THE SPECTROPHOTOMETRIC SYSTEM FOR MEASUREMENTS AND ANALYSIS OF LIGHT SOURCES COLOR RENDERING PROPERTIES

This article describes a measurement system, used in the field of optical radiation metrology. The measurement system, proposed by the authors, was built using a commercially available spectrophotometer of *StellarNet Inc.*, equipped with author's design software to communicate with the computer. The presented system has capability to determinate the colorimetric parameters of the radiation emitted by light sources, based on the relative radiated power spectral measurements. It also can provide color rendering properties of the light sources analysis by using different metrics – CIE R_a (CRI), Q_s (NIST CQS) and R_f , R_g (IES TM 30:15). The system architecture is build base on three levels: initial settings as work mode, hardware specification etc., data processing and visualization. All functionalities are available through a simple, multi-tasking graphical interface, that consists of three modules: data collection, processing and archiving. Such a modularity insures transparent and systematical gathering of the measured data, ordering them both: thematically and temporally. The data archiving module allows to create a database, that permits users to observe time dependent differences in the light source parameters during their use. The database also enables monitoring and analysis light sources parameters. Further development of this measurement system, assumes an extension of the way information is collected. We plan to create an online database, aiming to collect information carried out anywhere in the world.

Keywords: color rendering, light sources, GUI, DB.

