

Joanna MAZIARKA<sup>1</sup>  
Lúbomir BEŇA<sup>2</sup>  
Henryk WACHTA<sup>3</sup>

## ANALIZA ROZKŁADU WIDMOWEGO WYBRANYCH ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA W PROCESIE STABILIZACJI BARWY

W artykule przedstawiono wyniki analizy widma promieniowania widzialnego wybranych źródeł światła, typowanych do zastosowań wewnętrznych, takich jak: lampa fluorescencyjna kompaktowa, żarówka LED oraz żarówka halogenowa. Podczas badań analizowano zmiany zachodzące w rozkładzie widma promieniowania w przyjętym czasie obserwacji – odpowiadającemu okresowi stabilizacji barwy analizowanych źródeł światła. Zarejestrowano serie rozkładów widmowych luminacji energetycznej, bezpośrednio po załączeniu badanych źródeł światła, po upływie kilku minut oraz po ustabilizowaniu się fotometrycznego parametru barwy. Wykorzystując fakt, iż rozkład widmowy determinuje temperaturę barwową  $T_b$  emitowanego promieniowania świetlnego oraz wskaźnik oddawania barw  $R_a$ , przeprowadzono analizę widmową poszczególnych źródeł światła. Analiza miała na celu wyłonienie źródeł światła, umożliwiających możliwie szybkie rozróżnianie szczegółów barwnych przedmiotów pracy wzrokowej oraz posiadających wskaźnik oddawania barw na poziomie co najmniej 80%, bezpośrednio po ich zasileniu. Źródła światła o wymienionych wcześniej parametrach, znajdują zastosowanie w pomieszczeniach, gdzie praca wzrokowa wymaga uzyskania docelowych wartości parametrów świetlnych w możliwie najkrótszym czasie od załączenia (archiwa, magazyny, łazienki itp). Stwierdzono, że wymagania te spełniają jedynie żarówki halogenowe oraz półprzewodnikowe źródła LED. Charakteryzują się one stałym w czasie widmem promieniowania, zawierającym wszystkie składowe promieniowania widzialnego, a ustabilizowanie się wartości parametrów świetlnych związanych z emitowaną barwą trwa krócej niż 30 s. Poddane badaniom źródło fluorescencyjne, mimo dobrego poziomu oddawania barw, nie spełnia oczekiwanego zadania ze względu na zbyt długi czas stabilizacji barwy.

**Słowa kluczowe:** spektrometr, widmo promieniowania, źródła światła, temp. barwowa

---

<sup>1</sup> Joanna Maziarka, Politechnika Rzeszowska, absolwentka WEiI PRz, mziarka@gmail.com

<sup>2</sup> Lúbomir Beňa, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, 17 865 1977, lbena@prz.edu.pl

<sup>3</sup> Autor do korespondencji: Henryk Wachta, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, 17 865 1977, hwachta@prz.edu.pl

## 1. Wstęp

Najszerze zastosowanie w obszarze techniki świetlnej mają elektryczne źródła światła, emitujące promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie widzialnym. Rozkład emitowanego promieniowania optycznego na składowe monochromatyczne, odpowiadające poszczególnym długościom fal mieszczących się w zakresie 380 – 780 nm, określa się widmem promieniowania. Zawartości poszczególnych składowych promieniowania oraz odpowiadające im wartości widmowej luminancji energetycznej wpływają na barwę emitowanego światła  $T_b$  oraz zdolność oddawania barw oświetlonych obiektów  $R_a$ . Parametry te determinują obszar zastosowania poszczególnych źródeł światła [1, 2].

W trakcie realizowanych badań zaobserwowano zmiany zachodzące w rozkładzie widma promieniowania w przyjętym czasie - odpowiadającym procesowi stabilizacji, czyli od momentu załączenia źródła światła do ustalenia się jego parametrów świetlnych. Analiza miała na celu wyłonienie źródeł światła, umożliwiających możliwie szybkie rozróżnianie szczegółów barwnych obserwowanych obiektów oraz posiadających wskaźnik oddawania barw na poziomie, co najmniej 80%. Źródła światła tego typu znajdują szczególnie zastosowanie wszędzie tam, gdzie występuje duża częstość łączeń oraz gdzie praca wzrokowa wymaga uzyskania ustabilizowanych wartości parametrów świetlnych w możliwie najkrótszym czasie od załączenia (np.: archiwa, łazienki, magazyny itp).

Badania przeprowadzono dla wybranych źródeł światła do zastosowań wewnętrznych takich jak: świetlówka kompaktowa, półprzewodnikowe źródło LED oraz żarówka halogenowa. Badania zrealizowano z wykorzystaniem laboratoryjnego spektrometri Konica Minolta CS-2000 oraz dedykowanego oprogramowania CS-S10w [3, 4].

## 2. Badania żarówki halogenowej

Do badań szczegółowych wyspecyfikowano żarówkę halogenową o mocy 42 W, stosowaną powszechnie w oświetleniu wewnętrznym. Jej podstawowe dane fototechniczne zestawiono w tabeli 1. Pomiary rozkładu widmowego badanego źródła światła wykonano bezpośrednio po włączeniu lampy, po 60 s oraz 180 s pracy źródła światła. Poza analizą widmową ocenie poddano zmiany współczynników chromatyczności oraz temperatury barwowej.

Uzyskany w wyniku pomiaru (bezpośrednio po włączeniu lampy) rozkład widmowy jest rozkładem ciągłym. Minimum ( $24,4 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ ) i maksimum ( $330 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ ) wartości widmowej luminancji energetycznej zostało zaobserwowane odpowiednio dla fali o długości 401 nm oraz 775 nm. Zmierzona wartość temperatury barwowej wyniosła 2761 K (rys.1) [5].

Tabela 1. Podstawowe dane techniczne żarówki halogenowej [6]

Table 1. Technical specifications of halogen bulb [6]

Parametr foto-techniczny	Wartość
Moc źródła światła [W]	42
Napięcie robocze [V]	230
Strumień świetlny [lm]	630
Typ budowy[-]	bańka przezroczysta
Temperatura barwowa [K]	2800
Barwa światła [-]	ciepła biel
Trzonek [-]	E27
Trwałość znamionowa [h]	2 000

Po upływie 60 sekund widmo promieniowania żarówki halogenowej nie zmieniło się znacząco. Jednak analizując szczegółowo wyniki pomiarów można stwierdzić, że nowe maksimum wartości widmowej luminancji energetycznej wynoszące  $327 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ , odpowiada fali o długości 777 nm. Natomiast nowe minimum ( $23,5 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ ) zarejestrowano, tak jak w poprzednim przypadku dla fali o długości 401 nm. Zmierzona wartość temperatury barwowej spadła o 7 K i wyniosła 2756 K (rys.2). Wyniki analizy składu widmowego po 180 sekundach pracy lampy zilustrowano na rysunku 3.

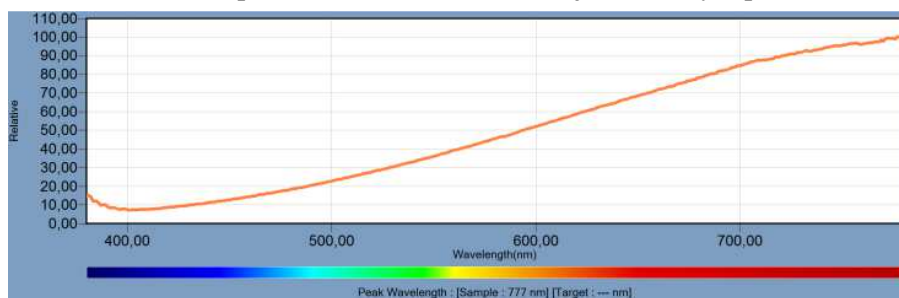


Rys. 1. Rozkład widmowy promieniowania żarówki halogenowej bezpośrednio po załączeniu

Fig. 1. Spectrum immediately after turning on

Porównując ze sobą rys. 3 z rys. 2 [5] oraz rys. 1 można wyprowadzić wniosek, iż widmo promieniowania podczas pomiaru nie uległo zauważalnym zmianom. Potwierdzają to uzyskane wyniki, ponieważ minimum ( $23,3 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ ) i maksimum ( $325 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ ) wartości widmowej luminancji energetycznej zostało zaobserwowane odpowiednio dla fali o długości 401 nm oraz 777nm. Wartość temperatury barwowej utrzymała się zasadniczo na poziomie 2756 K. Utrzymany charakter widma daje podstawy do kolejnego wniosku: poziom oddawania barw

$R_a$  w krótkim czasie po załączeniu źródła światła jest na stałym poziomie.



Rys. 2. Rozkład widmowy promieniowania żarówki halogenowej po upływie 60 sekund

Fig. 2. Spectrum after 60 seconds

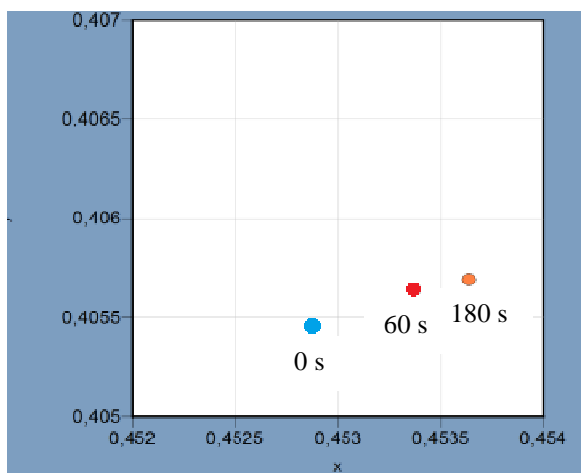


Rys. 3. Rozkład widmowy promieniowania żarówki halogenowej po upływie 180 sekund

Fig. 3. Spectrum after 180 seconds

Dodatkowo analizie poddano wartości współczynników chromatyczności. Stwierdzono, że zmiana wartości  $x$  oraz  $y$  w czasie pomiaru następowała na czwartym miejscu po przecinku. Tak mała zmiana barwy światła jest niezauważalna dla ludzkiego oka. Zatem można przyjąć stałe wartości współczynników chromatyczności, wynoszące w przybliżeniu odpowiednio:  $x = 0,453$  oraz  $y = 0,4055$  (rys.4) [5].

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, iż widmo żarówki halogenowej jest widmem stałym w czasie (różnice są niezauważalne dla ludzkiego oka). Parametry świetlne stabilizują się w czasie krótszym niż czas przeprowadzenia pomiaru, wynoszący około 30 s i nie ulegają wyraźnym zmianom w zdefiniowanym czasie obserwacji.



Rys. 4. Zarejestrowane współczynniki chromatyczności żarówki halogenowej

Fig. 4. Registered chromaticity coefficients of halogen bulb

Zatem w środowisku świetlnym, którego specyfiką jest wymóg uzyskiwania bezpośrednio po włączeniu lampy stałych parametrów barwy promieniowanego przez źródło światła strumienia świetlnego oraz zdolności odwzorowania barw, żarówki halogenowe mogą być z powodzeniem stosowane.

### 3.Badania lampy fluorescencyjnej kompaktowej

Do następnych badań szczegółowych wyspecyfikowano świetlówkę kompaktową o mocy 20 W, także chętnie stosowaną w oświetleniu wnętrzym. Jej podstawowe dane foto-techniczne zestawiono w tabeli 2. Pomiar rozkładu widmowego badanego źródła światła wykonano bezpośrednio po włączeniu lampy, po 180 s oraz 360 s pracy źródła światła. Poza analizą widmową ocenie poddano zmiany współczynników chromatyczności x,y oraz temperatury barwowej  $T_b$ .

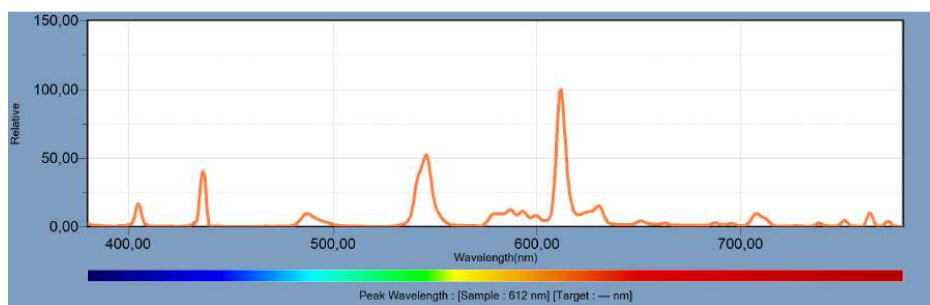
Uzyskany w wyniku pomiaru (bezpośrednio po włączeniu lampy) rozkład widmowy jest rozkładem pasmowym. Maksymalne wartości widmowej luminancji energetycznej zostały zaobserwowane dla fali o długości 546 nm ( $49,4 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ ) oraz 612 nm ( $94,2 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ ). Znaczące wartości widmowej luminancji energetycznej zostały odnotowane dla fali o długości 405 nm ( $12,6 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ ) oraz 436 nm ( $38,3 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ ). Zmierzona wartość temperatury barwowej wyniosła 2821 K (rys.5) [5].

Tabela 2. Dane techniczne lampy fluorescencyjnej kompaktowej [6]

Table 2. Technical specifications of compact fluorescent lamp [6]

Parametr foto-techniczny	Wartość
Moc źródła światła [W]	20
Napięcie robocze [V]	230
Strumień świetlny [lm]	1250
Typ budowy[-]	rurka spiralna
Temperatura barwowa [K]	2700
Barwa światła [-]	ciepła biel
Trzonek [-]	E27
Trwałość znamionowa [h]	6 000

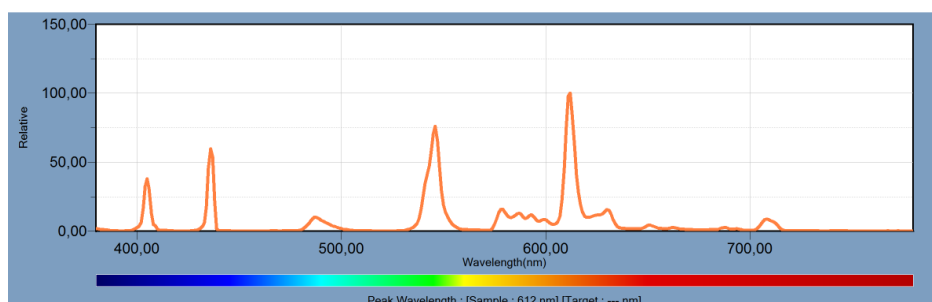
Po upływie 180 sekund zaobserwowano zmiany w widmie promieniowania. Zanotowano zanik pasm w obszarze fal o długości większej niż 720 nm. Analizując szczegółowo wyniki pomiarów można stwierdzić, że maksima wartości widmowej luminancji, tak jak w poprzednim przypadku odpowiadają długości fali 612 nm oraz 546 nm wynosząc odpowiednio  $106 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$  i  $80,5 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ . Zmierzona wartość temperatury barwowej wzrosła o 285 K i wyniosła 2821 K (rys.6) [5].



Rys. 5. Rozkład widmowy promieniowania lampy fluorescencyjnej bezpośrednio po załączeniu

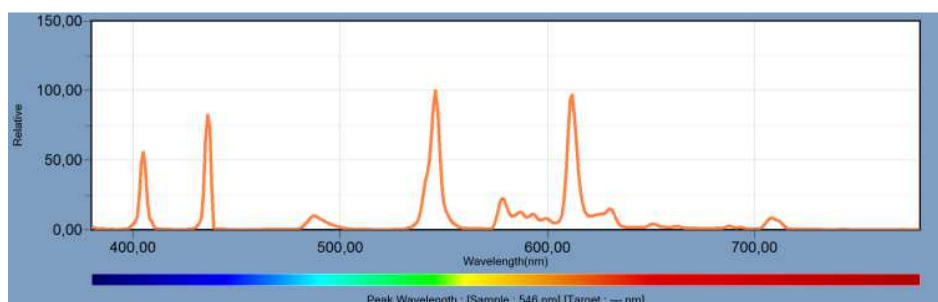
Fig. 5. Spectrum immediately after turning on

Analizując skład widmowy po 360 sekundach pracy lampy, zilustrowany na rysunku 7 [5], można wyprowadzić wniosek, iż widmo promieniowania ulega dalszym zmianom. Potwierdzają to uzyskane wartości widmowej luminancji energetycznej dla fal o długości 405 nm -  $42,3 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ , 436 nm -  $62,7 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ , 546 nm -  $77,1 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ , 612 nm -  $78,0 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ . Wartość temperatury barwowej wzrosła o 278 K i wyniosła 3099 K. Zmienny charakter widma daje podstawy do kolejnego wniosku: poziom oddawania barw Ra w krótkim czasie po załączeniu źródła światła nie jest stały.



Rys. 6. Rozkład widmowy promieniowania lampy fluorescencyjnej po upływie 180 sekund

Fig. 6. Spectrum after 180 seconds



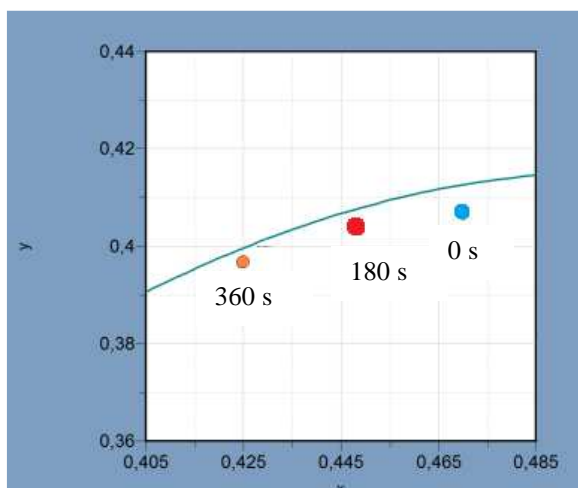
Rys. 7. Rozkład widmowy promieniowania lampy fluorescencyjnej po upływie 360 sekund

Fig. 7. Spectrum after 360 seconds

Dodatkowo analizie poddano wartości współczynników chromatyczności. Stwierdzono, że zmiana wartości  $x$  oraz  $y$  w czasie pomiaru następowała na drugim miejscu po przecinku. Początkowo wartości współczynników chromatyczności wynosiły  $x = 0,470$  a  $y = 0,407$ . Po upływie 360 s wartości te osiągnęły poziom  $x = 0,424$  oraz  $y = 0,400$  (rys.8).

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, iż widmo lampy fluorescencyjnej kompaktowej nie jest widmem stałym w czasie a zmiana barwy światła jest możliwa do wychwycenia dla ludzkiego oka. Parametry świetlne nie uzyskują stabilnych wartości w czasie przeprowadzenia pomiaru.

Zatem źródła fluorescencyjne nie powinny być stosowane w środowisku, którego specyfiką jest wymóg uzyskiwania bezpośrednio po włączeniu lampy stałych parametrów barwy promieniowanego przez źródło światła strumienia świetlnego oraz zdolności odwzorowania barw.



Rys. 8. Zarejestrowane współczynniki chromatyczności lampy fluorescencyjnej kompaktowej

Fig. 8. Registered chromaticity coefficients of compact fluorescent lamp

#### 4. Badania lampy elektroluminescencyjnej

Do kolejnych badań szczegółowych wyspecyfikowano źródło półprzewodnikowe LED o mocy 9 W, stosowane także w oświetleniu wnętrzowym. Jego podstawowe dane foto-techniczne zestawiono w tabeli 3. Pomiar rozkładu widmowego badanego źródła światła wykonano bezpośrednio po włączeniu lampy, po 60 s oraz 180 s pracy źródła światła. Poza analizą widmową ocenę poddano również zmiany współczynników chromatyczności  $x, y$  oraz temperatury barwowej  $T_b$ .

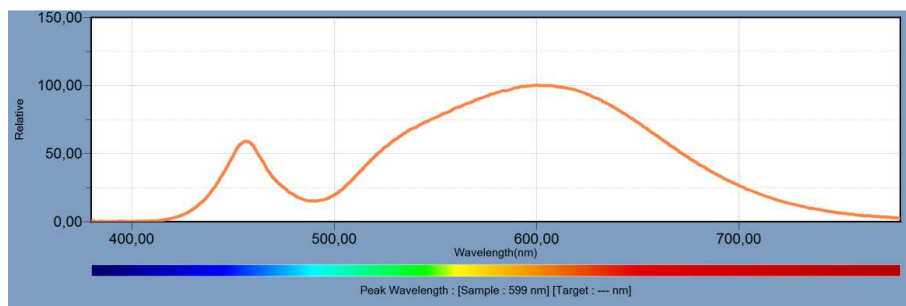
Tabela 3. Dane techniczne źródła półprzewodnikowego LED

Table 3. Technical specifications of LED bulb

Parametr foto-techniczny	Wartość
Moc źródła światła [W]	9
Napięcie robocze [V]	230
Strumień świetlny [lm]	800
Typ budowy[-]	bańka matowa
Temperatura barwowa [K]	3000
Barwa światła [-]	ciepła biel
Trzonek [-]	E27
Trwałość znamionowa [h]	35 000



Uzyskany w wyniku pomiaru (bezpośrednio po włączeniu lampy) rozkład widmowy jest rozkładem ciągłym. Maksimum ( $7,37 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ ) wartości widmowej luminancji energetycznej zostało zaobserwowane dla fali o długości 599 nm. Ekstremum wartości widmowej luminancji energetycznej w obszarze barwy niebieskiej wynoszące  $4,37 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$  przypada na długość fali 456 nm. Zmierzona wartość temperatury barwowej wyniosła 3087 K (rys.9) [5].

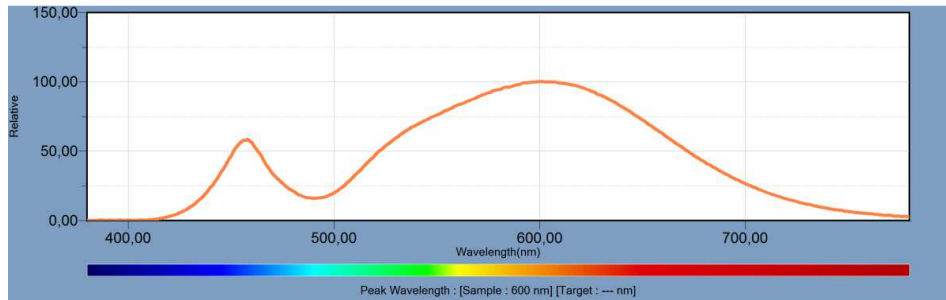


Rys. 9. Rozkład widmowy promieniowania źródła LED bezpośrednio po załączeniu

Fig. 9. Spectrum immediately after turning on

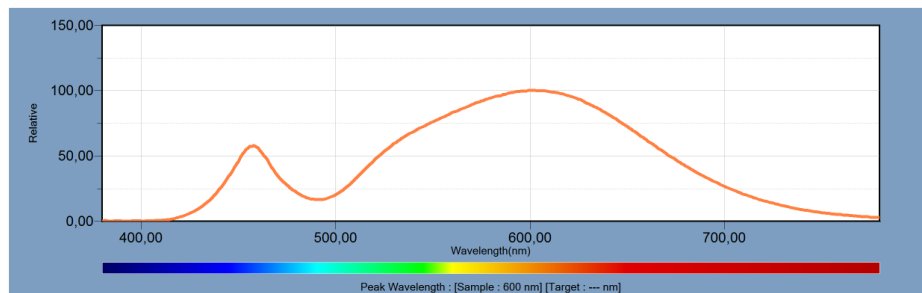
Po upływie 60 sekund widmo promieniowania źródła elektroluminescencyjnego nie zmieniło się znacząco. Analizując szczegółowo wyniki pomiarów można stwierdzić, że podobnie jak bezpośrednio po załączeniu, maksimum wartości widmowej luminancji energetycznej, wynoszące  $7,26 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ , odpowiada fali o długości 599 nm. Natomiast nowe ekstremum w obszarze barwy niebieskiej ( $4,22 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ ) zarejestrowano dla fali o długości 456 nm. Zmierzona wartość temperatury barwowej wzrosła o 2 K i wyniosła 3089 K (rys.10) [5].

Porównując wyniki analizy składu widmowego po 180 sekundach pracy lampy zilustrowane na rysunku 11 [5] z rys.9 oraz rys.10 można wyprowadzić wniosek, iż widmo promieniowania podczas pomiaru nie uległo zauważalnym zmianom. Potwierdzają to uzyskane wyniki, ponieważ maksimum ( $7,31 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ ) oraz ekstremum w obszarze barwy niebieskiej ( $4,20 \frac{W}{m^2 \cdot sr \cdot nm}$ ) wartości widmowej luminancji energetycznej zostało zaobserwowane odpowiednio dla fali o długości 599 nm oraz 459 nm. Wartość temperatury barwowej utrzymała się zasadniczo na poziomie 3089 K.



Rys. 10. Rozkład widmowy promieniowania źródła LED po upływie 60 sekund

Fig. 10. Spectrum after 60 seconds



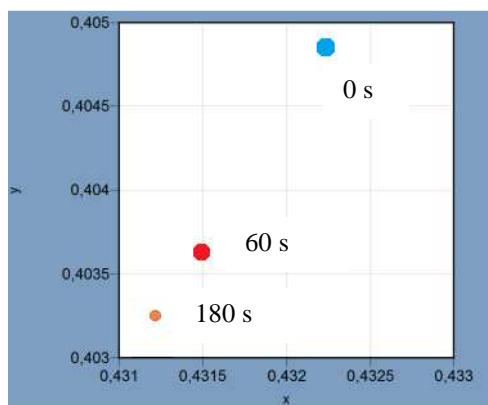
Rys. 11. Rozkład widmowy promieniowania źródła LED po upływie 180 sekund

Fig. 11. Spectrum after 180 seconds

Dodatkowo analizie poddano wartości współczynników chromatyczności. Stwierdzono, że zmiana wartości  $x$  oraz  $y$  w czasie pomiaru następowała się na trzecim miejscu po przecinku. Tak mała zmiana barwy światła jest niezauważalna dla ludzkiego oka. Zatem można przyjąć stałe wartości współczynników chromatyczności, wynoszące w przybliżeniu odpowiednio:  $x = 0,431$  oraz  $y = 0,404$  (rys.12).

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, iż widmo źródła LED jest widmem stałym w czasie (różnice są niezauważalne dla ludzkiego oka). Parametry świetlne stabilizują się w czasie krótszym niż czas przeprowadzenia pomiaru, wynoszący około 30 s i nie ulegają wyraźnym zmianom w zdefiniowanym czasie obserwacji.

Zatem w środowisku świetlnym, którego specyfiką jest wymóg uzyskiwania bezpośrednio po włączeniu lampy stałych parametrów barwy promieniowanego przez źródło światła strumienia świetlnego oraz zdolności odwzorowania barw, źródła półprzewodnikowe LED mogą być z powodzeniem stosowane.



Rys. 12. Zarejestrowane współczynniki chromatyczności źródła półprzewodnikowego LED [5]

Fig. 12. Registered chromaticity coefficients of LED bulb [5]

## 5. Podsumowanie

Porównując uzyskane wyniki pomiarów można stwierdzić, iż najkrótszy czas ustalania się parametrów świetlnych barwy posiada żarówka halogenowa oraz lampa elektroluminescencyjna. Czas stabilizacji jest krótszy niż 30 s potrzebne na przeprowadzenie pierwszego pomiaru. Obydwa typy źródeł charakteryzują się również stałością rozkładu widmowego w czasie oraz oddawaniem barw powyżej 80%, ponieważ zawierają składowe widmowej luminacji energetycznej z całego zakresu widzialnego. Można wysnuć wniosek, iż żarówka halogenowa oraz żarówka LED spełniają zadanie odwzorowywania szczegółów i barw w krótkim czasie od załączenia. Mogą być zatem wykorzystywane w pomieszczeniach typu magazyny, archiwa i inne wymagające szybkiego uzyskiwania pełnych parametrów świetlnym we wnętrzach.

Lampa fluorescencyjna kompaktowa, mimo iż spełnia warunki oddawania barw, nie uzyska stałości barwy emitowanego promieniowania optycznego w ciągu 6 minut zmieniając temperaturę barwową o ponad 500 K. Zanotowane wahania barwy emitowanego promieniowania optycznego w obszarze współczynnika x składowej chromatyczności mogą niekorzystnie wpływać na komfortowe rozpoznawanie barw przedmiotów pracy wzrokowej.

## Literatura

- [1] Wiśniewski A.: „Elektryczne źródła światła”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010.
- [2] Żagan W.: „Podstawy techniki świetlnej”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
- [3] Data Menagment Software CS-S10w Professional ver. 1.6. Instruction Manual,

KONICA MINOLTA

[4] SPECTRORADIOMETER CS-2000/CS-2000A. Instruction Manual, KONICA MINOLTA

[5] Maziarka J.: „Pomiary widma promieniowania wybranych źródeł światła za pomocą spektrometri”, praca dyplomowa, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2015r.

[6] Katalog firmy Philips, dostępny w Internecie: <http://www.lighting.philips.pl/> (data odczytu 20 stycznia 2015)

Praca została wykonana z wykorzystaniem aparatury zakupionej w wyniku realizacji Projektu: „Budowa, rozbudowa i modernizacja bazy naukowo –badawczej Politechniki Rzeszowskiej”, współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Regionalnego Projektu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2007-2013, Oś priorytetowa 1 – Konkurencja i innowacyjna gospodarka.

## ANALYSIS OF SPECTRUM OF SELECTED LIGHT SOURCES IN THE CATEGORY OF TIME STABILIZATION

### Summary

The article presents the results of radiation spectrum analysis of selected sources of light, typical for internal use, such as fluorescent compact light, LED light bulb and halogen light bulb. In the course of research changes occurring in the factorization of spectrum during the adopted time of observation have been analyzed. The time of observation conformed to the time needed for colour of analyzed sources of light to be stabilized. Series of spectral decompositions of energetic luminance have been registered: directly after analyzed sources of light have been put on, after a couple of minutes and after the photometric parameter of colour has been stabilized. Making use of the fact that spectral decomposition determines the colour temperature  $T_b$  of emitted light radiation and Colour Rendering Index  $R_a$ , a spectral analysis of respective light sources has been conducted. The aim of the analysis was to determine sources of light which allow for rapid differentiation of colour details of visual objects. The objects also need to be characterized by CRI of at least 80% after power has been supplied. Light sources with aforementioned parameters are of use in rooms where visual work necessitates reaching target value of light parameters in the shortest time possible (archives, warehouses, bathrooms). It has been ascertained that those requirements are only met by halogen bulbs and solid-state LED sources. They are characterized by radiation specter which is constant in time and contains all components of radiation. Values of light parameters connected with the emitted colour take less than 30 seconds to stabilize. Fluorescent sources which were being tested are not fit for purpose, in spite of good level of bringing out colours, due to lengthy time of stabilizing the colour.

**Keywords:** spectroradiometer, radiation specter, light sources, colour temperature

DOI: 10.7862/re.2015.28

*Tekst złożono w redakcji:* maj 2015

*Przyjęto do druku:* wrzesień 2015