

WSKAŹNIK ODDAWANIA BARW R_a A WSKAŹNIK WIERNOŚCI BARWY R_f – ANALIZA JAKOŚCI ŚWIATŁA ILUMINATÓW CIE F OCENIANYCH WEDŁUG METODY IES TM-30-15 ORAZ CIE 13.3 I CIE 224

Justyna KOWALSKA¹, Irena FRYC²

1. Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, Zakład Techniki Świetlnej
tel.: +222347505 e-mail: justyna.kowalska@ien.pw.edu.pl
2. Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroenergetyki Fotoniki i Techniki Świetlnej
tel.: +857469407 e-mail: i.fryc@pb.edu.pl

Badania zostały zrealizowane w ramach pracy nr S/WE/3/2018 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW

Streszczenie: Artykuł przedstawia wyniki analizy porównawczej trzech wskaźników oceny jakości oddawania barw źródeł światła. Porównanie przeprowadzono dla metod określania jakości barwnej światła rekomendowanych przez CIE oraz IES. Ocena użyteczności oraz możliwości interpretacji wartości wskaźników CIE R_a , CIE R_f oraz IES TM-30-15 R_f została przeprowadzona na grupie 12 znormalizowanych źródeł fluorescencyjnych (iluminatów FL CIE). W artykule wykazano, że interpretacja wskaźników wierności barwy dla źródeł fluorescencyjnych może odbywać się w bardzo zbliżony sposób jak miało to miejsce w przypadku R_a , a nowa metoda nie wprowadza drastycznych zmian w wartości wskaźnika. Pozwala to na zachowanie ciągłości w interpretacji nowego wskaźnika dla najbardziej popularnych źródeł światła.

Słowa kluczowe: oddawanie barw, CIE R_a , CIE R_f , TM-30-15 R_f .

1. WSTĘP

Metrologia promieniowania optycznego jest nieodłącznie związana z techniką oświetlania oraz technologią wytwarzania źródeł światła. W celu porównywania jakości oświetlania definiowane są wielkości fotometryczne oraz kolorymetryczne. Do określania jakości barwnej światła lamp w latach 70 XX wieku został opracowany, przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową CIE, ogólny wskaźnik oddawania barw R_a (CRI). Metoda wyznaczania tej wielkości została opisana w dokumencie CIE 13.3:1995 „Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources” [1]. Wskaźnik ten został zaprojektowany do charakteryzowania źródeł fluorescencyjnych, żarowych oraz lamp wyładowczych wykluczając źródła o dominującym monochromatycznym promieniowaniu. W związku z technologicznym rozwojem źródeł światła, CIE w 2017 dokumentem 224:2017 „CIE 2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use” zarekomendowała, że do określania jakości barwnej źródeł światła powinny być używane dwa parametry – dotychczasowo znany wskaźnik oddawania barw R_a oraz wskaźnik wierności barwy R_f [2]. Metoda obliczeń wskaźnika R_f zaproponowana w dokumencie CIE 224:2017 w dużej mierze jest wzorowana na procedurze obliczania parametru R_f przedstawionej przez

Północnoamerykańskie Stowarzyszenie Oświetleniowców IES w dokumencie TM-30-15 [3]. Analizę porównawczą metod oceny jakości oddawania barw źródeł światła na podstawie metody CIE R_a oraz TM-30-15 R_f autorzy niniejszej pracy przedstawili w publikacji „Analiza porównawcza metod oceny jakości oddawania barw źródeł światła przy użyciu wskaźników CIE R_a , NIST CQS oraz IES TM-30-15 R_f i R_g ” [4]. CIE wprowadziła do tej metody zmiany wpływające na wartość liczbową obliczeń. Najistotniejsza z tych zmian dotyczy wyboru źródła wzorcowego. Metoda CIE R_a posługuje się dwoma odniesieniowymi źródłami światła – dla lamp o temperaturze barwowej najbliższej do 5000 K jest to promiennik Plancka, a powyżej tej wartości iluminant D65. Zastosowanie takiego podziału skutkowało powstawaniem nieciągłości w wyborze wzorca [5,6,7,8,9,10,11,12] i brakiem ciągłości w określaniu wskaźnika oddawania barw R_a . Metoda TM-30-15 zlikwidowała problem nieciągłości wzorca poprzez wprowadzenie w zakresie (4500÷5500) K liniowej kombinacji rozkładu widmowego promiennika Plancka i rozkładu widmowego światła dziennego [4,12]. W obliczeniach wskaźnika CIE R_f , zakres ten został zmieniony na (4500÷5000) K. w celu zachowania odniesienia do iluminantu D50 (ogólnie stosowanego w licznych innych regulacjach metrologii techniki świetlnej) [2].

Drugą znaczącą zmianą jest wprowadzenie innego współczynnika skalowania do wskaźnika CIE R_f do niż wskaźnika R_f metody TM-30-15 i CIE R_a . W 2017 roku komitet techniczny CIE zdecydował, że wartość współczynnika skali powinna być taka, aby średnia wartość wskaźnika CIE R_f dla powszechnie dostępnych lamp była równa wartości wskaźnika CIE R_a [2]. Nie oznacza to jednak, że wszystkie wartości wskaźnika CIE R_f mają być równe wartościom wskaźnika CIE R_a . Do wyznaczenia tego współczynnika wybrano zbiór 187 komercyjnie dostępnych źródeł światła z biblioteki źródeł światła opracowanej na potrzeby prac IES przedstawionych w dokumencie TM-30-15. Są to zarówno lampy fluorescencyjne (świetlówki), lampy wyładowcze jak i źródła LED [2].

Konieczność wprowadzenia wskaźnika R_f wynika z faktu, że producenci źródeł światła rozszerzyli zastosowania

wskaźnika R_a także na nowe typy źródeł światła, nie respektując zaleceń Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej CIE co do zakresu stosowania wskaźnika oddawania barw R_a [1]. Zastosowanie wskaźnika R_a do wszystkich typów źródeł światła dostępnych na rynku, uwydatniło jego ograniczenia i niejednoznaczności [5,6,7,8,9,10,11,12].

2. PARAMETRY CHARAKTERYSTYCZNE WZORCOWYCH LAMP FLUORESCENCYJNYCH CIE

Współcześnie handlowo dostępnych jest wiele typów źródeł światła. Projektanci i użytkownicy mają do dyspozycji lampy żarowe, fluorescencyjne (światłówki), wyładowcze oraz elektroluminescencyjne LED. Jednakże pomimo ekspansywnego rozwoju źródeł światła typu LED to lampy fluorescencyjne są obecnie najczęściej wybieraną grupą źródeł światła do zastosowań przemysłowych jak i domowych [13]. Swoją popularność zawdzięczają wysokiej skuteczności świetlnej, dobremu oddawaniu barw oraz szerokiemu zakresowi temperatur barwowych.

Istnieje szeroki wybór różnych typów lamp fluorescencyjnych w zależności od typu użytego luminoforu. Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa CIE podzieliła źródła fluorescencyjne na trzy grupy oraz wybrała konkretne lampy jako reprezentacje danych grup (lampy wzorcowe – Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3).

Tabela 1. Klasyczne lampy fluorescencyjne

Lp.	Iluminant CIE	Tb [K]	CIE Ra
1	FL1	6430	76
2	FL2*	4230	64
3	FL3	3450	57
4	FL4	2940	51
5	FL5	6350	72
6	FL6	4150	59

Tabela 2. Szerokopasmowe lampy fluorescencyjne

Lp.	Iluminant CIE	Tb [K]	CIE Ra
1	FL7*	6500	90
2	FL8	5000	95
3	FL9	4150	90

Tabela 3. Trójpasmowe lampy fluorescencyjne

Lp.	Iluminant CIE	Tb [K]	CIE Ra
1	FL10	5000	81
2	FL11*	4000	83
3	FL12	3000	83

Pierwszą grupę stanowią światłówki standardowe, posiadające w swoim wykresie widmowym dwa szerokie pasma widma ciągłego, oraz braki w emisji widma z zakresu długich fal (odcienie czerwieni). Światłówka F4 została zastosowana przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową do ustalenia współczynnika skali w metodzie obliczania wskaźnika oddawania barw CIE R_a (wartość R_a wynosi 51) [14,15]. Drugą grupą są źródła fluorescencyjne szerokopasmowe, które zostały zaprojektowane, aby uzyskiwać jak najlepsze oddawanie barw (wysoki wskaźnik oddawania barw) oraz jak najlepiej oddawać barwy z zakresu czerwieni. Trzecią grupę stanowią światłówki trójpasmowe, czyli takie, których wykres widmowy zawiera

charakterystyczne trzy wąskie pasma. Źródła te charakteryzują się bardzo dobrą skutecznością świetlną i dobrym wskaźnikiem oddawania barw. Ponadto CIE ustaliła, że światłówki FL2, FL7 i FL11 zostały określone jako źródła reprezentatywne dla danych grup, co oznacza, że powinny mieć pierwszeństwo przed innymi przy wyborze kilku typowych iluminatów.

3. PORÓWNANIE WSKAŹNIKÓW ODDAWANIA BARW DLA ILUMINANTÓW WZORCOWYCH CIE

Analizę metod oceny oddawania barw przez źródła światła przeprowadzono na grupie iluminatów zaakceptowanych przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową CIE jako lampy standardowe. CIE jak do tej pory nie wskazuje na inne niż fluorescencyjne lampy wzorcowe. W tabeli 4 przedstawione zostały wartości temperatury barwowej najbliższej oraz wartości wskaźników R_a i R_f obliczonych każdą z proponowanych metod.

Na rysunku 1, 2 oraz 3 zostały pokazane graficznie wartości wskaźników oddawania barw w zależności od grup zaszeregowania. W pierwszej grupie, obejmującej światłówki standardowe, można wyraźnie zauważyć, że wartości różnic pomiędzy poszczególnymi wartościami wskaźników (Tabela 5) są na podobnym poziomie, a rozmieszczenie tych wskaźników na wykresie dla każdego źródła posiada ten sam kierunek (najwyższą wartość osiąga wskaźnik CIE R_f , najmniejszą TM-30-15).

Tabela 4. Zestawienie wartości wskaźników oddawania barw dla wybranej grupy reprezentatywnej światłówek

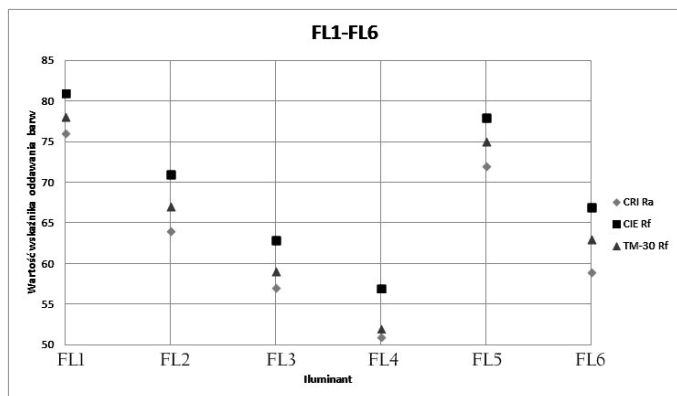
Lp.	Iluminant CIE	Tb [K]	CIE Ra [-]	CIE Rf [-]	TM-30-15 Rf [-]
1	FL1	6430	76	81	78
2	FL2*	4230	64	71	67
3	FL3	3450	57	63	59
4	FL4	2940	51	57	52
5	FL5	6350	72	78	75
6	FL6	4150	59	67	63
7	FL7*	6500	90	92	90
8	FL8	5000	96	96	96
9	FL9	4150	90	91	90
10	FL10	5000	81	80	78
11	FL11*	4000	83	80	78
12	FL12	3000	83	78	75

Tabela 5. Różnice w wartości wskaźników barw dla poszczególnych źródeł fluorescencyjnych

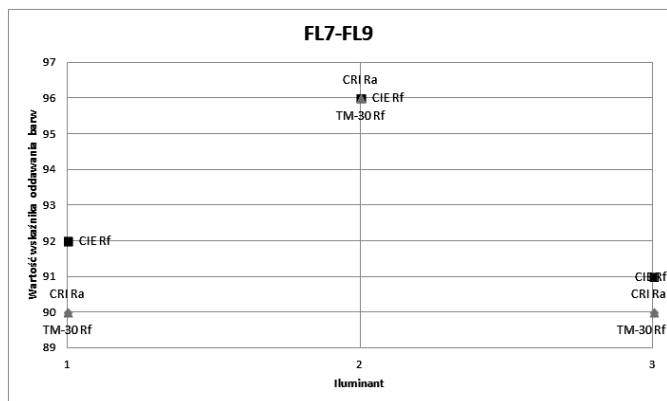
Lp.	Iluminant CIE	Δ (CIE Ra i CIE Rf)	Δ (CIE Ra i TM Rf)	Δ (CIE Rf i TM Rf)
1	FL1	5	2	3
2	FL2*	6	3	4
3	FL3	6	2	4
4	FL4	5	1	5
5	FL5	6	3	3
6	FL6	8	4	4
7	FL7*	1	0	2
8	FL8	0	0	0
9	FL9	1	0	1
10	FL10	1	3	2
11	FL11*	3	5	2
12	FL12	5	8	3

Wartości różnych wskaźników oddawania barw nie można porównywać ze sobą w prosty sposób. Porównywanie może dotyczyć tylko wskaźnika jednej miary i to przy ocenie źródeł światła o maksymalnie zbliżonych wartościach temperatury barwowej najbliższej T_b [K].

Metoda wyznaczania R_a została zaprojektowana do właściwego oceniania parametrów barwy świetlówek od F1 do F6 [16]. Dla tych źródeł światła każda z współczesnych metod oceny barwy światła zachowuje podobne tendencje (rys. 1). Dla tego typu źródeł światła wartości każdego ze wskaźników będą reagowały w podobny sposób i będą możliwe do intuicyjnej oceny przez użytkownika. Porównanie wartości wskaźników dla świetlówek FL2 i FL6, które posiadają zbliżoną temperaturę barwową (różnica mniejsza niż 100 K), pozwala na ocenę jakości oddawania barw przez źródło FL2 jako lepszą niż FL6. Taka sama interpretacja dotyczy także źródeł FL1 i FL5.



Rys. 1. Zestawienie wartości wskaźników oddawania barw CIE R_a , CIE R_f , TM-30-15 R_f dla standardowych lamp fluorescencyjnych.

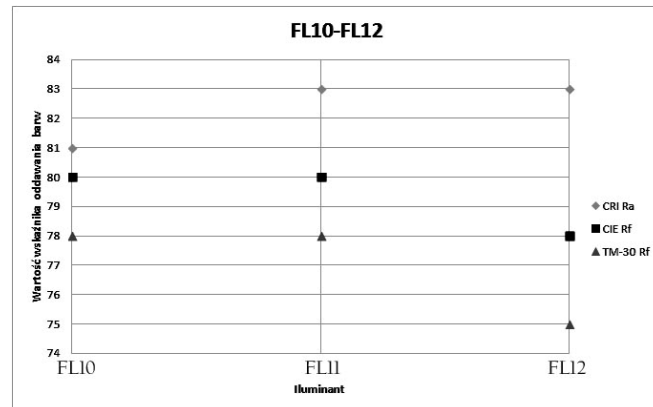


Rys. 2. Zestawienie wartości wskaźników oddawania barw CIE R_a , CIE R_f , TM-30-15 R_f dla szerokopasmowych lamp fluorescencyjnych

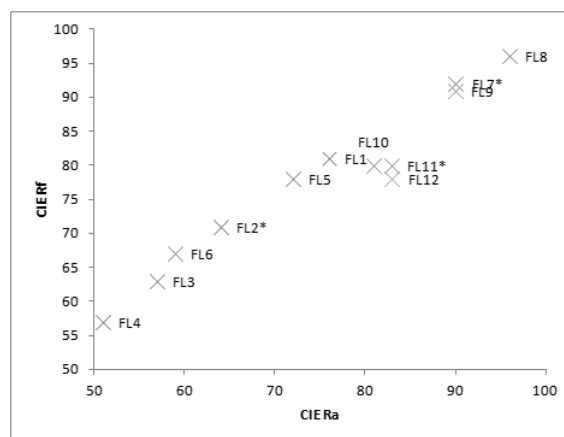
W przypadku drugiej grupy źródeł światła, gdzie oddawanie barw jest na bardzo wysokim poziomie, ocena jakości oświetlenia przy użyciu każdej z miar jest jednakowa. Próg odróżniania zmian w postrzeganiu barwy dla metody CIE R_a wynosi 5, a dla danych wskaźników niewielkie różnice w wartościach mogą zostać pominięte. Powodem dobrego oddawania barw przez ten typ źródeł światła jest zachowanie ciągłego rozkładu widmowego, który pozwala na oddawanie każdej barwy postrzegalnej przez oko ludzkie, a także każdej barwy próbki testowej.

Trzecia grupa zawiera źródła światła o nieciągłym wykresie widmowym, złożonym z trzech głównych pasm. Różnice w położeniu poszczególnych pasm kształtują

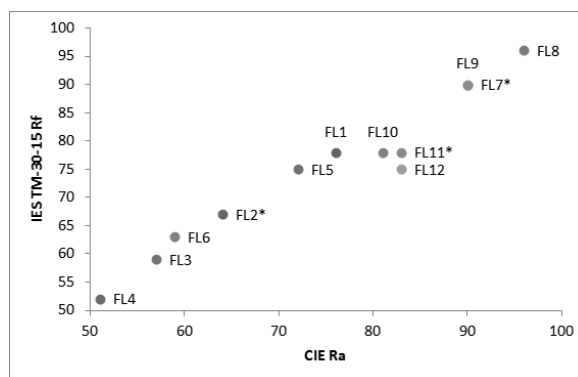
wartości wskaźnika oddawania barw R_a , co szczególnie wykorzystywane jest przez nowoczesne źródła LED, które osiągają bardzo wysokie wartości wskaźnika przy słabym oddawaniu barw w rzeczywistości. W tej grupie źródeł światła możemy zauważyć znaczne rozbieżności w wartościach wskaźników, natomiast porównanie wartości wskaźników R_f i R_a zamieszczonych na rysunkach 4 i 5 pokazuje, że nowa metoda pomimo licznych udoskonaleń zachowuje taką samą względną ocenę tych źródeł światła.



Rys. 3. Zestawienie wartości wskaźników oddawania barw CIE R_a , CIE R_f , TM-30-15 R_f dla trójpasmych lamp fluorescencyjnych



Rys. 4. Porównanie wartości wskaźników oddawania barw CIE R_a , CIE R_f dla wybranego zbioru źródeł światła.



Rys. 5. Porównanie wartości wskaźników oddawania barw CIE R_a , IES TM-30-15 R_f dla wybranego zbioru źródeł światła.

4. WNIOSKI

Przez wiele lat, ogólnie zalecaną i opisaną w normach, miarą określania jakości barwnej światła był wskaźnik CIE R_a . Dla niego zostały wyznaczone zakresy oceniające jakość

oddawania barw i zalecenia co do miejsca zastosowania. Dla niego została wyznaczona skala, mówiąca o postrzeganiu różnicy w barwie przy $\Delta R_a=5$.

Współcześnie dowiedziono, że ocena oddawania barw poprzez wskaźnik oddawania barw, nie jest i nie będzie jednoznaczna dla użytkowników końcowych, w tym projektantów i zwykłych konsumentów. Analizy wskazują, że wskaźnik oparty tylko i wyłącznie na porównaniu podobieństwa w oddawaniu barw w stosunku do wzorca przekazuje zbyt mało informacji, aby był wystarczającą miarą oceny jakości oświetlenia [17]. Dlatego wprowadzono dodatkowe miary określające jakość barwną światła, wskazując że mogą istnieć równoległe do R_a .

Wprowadzenie, przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową CIE, nowego wskaźnika R_f do oceny jakości oddawania barw w 2017 roku postawiło wiele pytań dotyczących użyteczności tej nowej miary. Niestety wraz z wprowadzeniem nowego wskaźnika nie zaprezentowano nowych zakresów ani zaleceń, do których projektanci oświetlenia mogliby się odnosić. Badania zaprezentowane w powyższym artykule miały na celu zaprezentowanie możliwości interpretacji nowego wskaźnika oraz ocenę różnic występujących w porównaniu do popularnego wskaźnika CIE R_a .

5. BIBLIOGRAFIA

1. Raport Techniczny CIE 13.3-1995 Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources
2. Raport Techniczny CIE 224:2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use
3. 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
4. Kowalska J., Fryc I.: Analiza porównawcza metod oceny jakości oddawania barw źródeł światła przy użyciu wskaźników CIE R_a , NIST CQS oraz IES TM 30-15 R_f i R_g , *Zeszyty Naukowe Wydziału*

- Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej*, (2017), Nr 55, s. 139-143.
5. Kowalska J.: Niejednoznaczności i ograniczenia w określaniu jakości oddawania barw źródeł światła wskaźnikiem R_a (CIE CRI), *Przegląd Elektrotechniczny*, (2017), Nr 5, s. 74-78
6. Houser K., Mossman M., Smet K., Whitehead L., Tutorial: Color Rendering and Its Applications in Lighting, *Leukos*, 12 (2016), s. 7-26
7. 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*, 92 (2016), Nr 2, s. 218-223
8. Davis W., Ohno Y., Approaches to color rendering measurement, *Journal of Modern Optics*, 56(13) (2009), s. 1412-1419
9. Žukauskas A., Shur M.S.: *Handbook of Advanced Lighting Technology*, Springer International Publishing, Switzerland, 2016, pp.1-29
10. Smet K., Whitehead L., Schanda J., Luo MR.: Toward a replacement of the CIE color rendering index for white light sources, *Leukos*, Vol. 12, (2016), s. 61-69
11. Report on quality metrics related to colour quality Euromet (2013)
12. Kowalska J.: Określanie jakości oddawania barw źródeł światła parametrami przedstawionymi w zaleceniach IES TM-30-15 i CIE 13.3-1995, *Przegląd Elektrotechniczny* R. 93, Nr 6 (2017), s. 50-54
13. <http://lighting.pl/Wydarzenia-branzowe/raporty-i-analazy/Perspektywy-globalnego-rynku-oswietleniowego-do-2020-roku>
14. Hunt R.W.G., Pointer M.R.: *Measuring Colour* Fourth Edition, John Wiley & Sons, (2011)
15. Raport Techniczny CIE 15:2004 Colorimetry
16. Kowalska J., Fryc I.: Wskaźnik oddawania barw R_a (CRI) – czy umożliwia on jednoznaczną ocenę jakości barwnej oświetlenia uzyskiwanego przy użyciu dowolnego rodzaju źródła światła?, *Elektro Info* 9/2017
17. Royer M.P.: Comparing measures of average color fidelity, *Leukos* (2017), Vol. 14 No. 2, s. 1–17.

COLOR RENDERING INDEX R_a AND COLOR FIDELITY INDEX R_f – ANALYSIS OF LIGHT SOURCES COLOR RENDITION MADE FOR CIE STANDARD ILLUMINANT F EVALUATED ACCORDING TO METHOD IES TM-30-15, CIE 13.3 AND CIE 224

For many years, the generally recommended and described in the standards, the measure of determining the quality of the colored light was the CIE color rendering index R_a index. In 2015 IES recommended new measures for this purpose – color fidelity index R_f and color gamut R_g , and in 2017 CIE introduced their R_f index. The paper presents the results of a comparative analysis of three indices for the quality of light sources – R_a and R_f according to CIE recommendations and R_f according to IES TM-30-15 documents. The research presented in the article is aimed at presenting the possibilities of interpreting the new CIE and IES indicators designed for description of light color quality. The assessment of usability and the possibility of interpreting the value of given indices was carried out on a group of 12 normalized fluorescent sources (CIE standard F illuminants). The article shows that the interpretation of color fidelity indices for standard fluorescent sources can take place in a very similar way as in the case of R_a , and the new method does not introduce drastic changes in the value of those index. This allows to keep continuity in interpreting the new index for the most popular light sources.

Keywords: color rendering, CIE R_a , CIE R_f , TM-30-15 R_f .