

PIOTR JAKUBOWSKICzłonek Polskiego Komitetu Oświetleniowego, e-mail: piotr.7akubowski@gmail.com

ANALIZA PORÓWNAWCZA PARAMETRÓW ŚWIETLNYCH ŹRÓDEŁ LED ORAZ OLED W KONTEKŚCIE EMISJI PROMIENIOWANIA NIEBIESKIEGO

W artykule zaprezentowano analizy rozkładu widmowego promieniowania emitowanego przez diody LED oraz źródła światła wykonane w technologii OLED. Szczególną uwagę zwrócono na zawartość w ich promieniowaniu światła niebieskiego w zakresie od 380 nm do 500 nm. W związku z tym, że za zastosowaniem danego źródła światła w konkretnej aplikacji, decydują głównie jego względy użytkowe, ekonomiczne oraz estetyczne, przeanalizowane zostały również takie parametry jak: skuteczność świetlna, wskaźnik oddawania barw oraz czas życia.

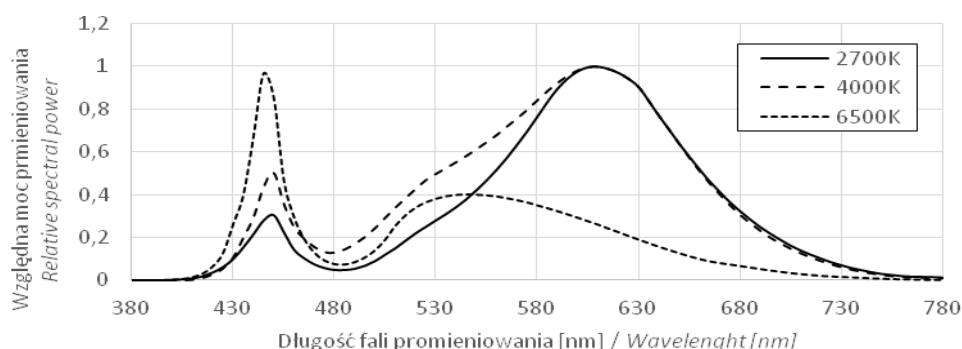
Słowa kluczowe: zanieczyszczenie światłem niebieskim, LED, OLED,

I. WSTĘP

Z fizycznego punktu widzenia, światło jest falą elektromagnetyczną, której długość zawiera się w zakresie od 380 nm do 780 nm. Fale o tych długościach są w stanie pobudzać receptory w oku (czopki i pręciki) i powodować wrażenie widzenia. Promieniowanie spoza wspomnianego zakresu nie jest odbierane przez narząd wzroku, ale mimo to pełni istotną rolę w funkcjonowaniu człowieka oraz innych żywych organizmów. W coraz większej liczbie współczesnych opraw oświetleniowych wykorzystuje się diody LED jako źródło światła. Pomimo zdecydowanych zalet stosowania technologii LED, jedną z często przytaczanych wad jest zawartość światła niebieskiego w generowanym przez nie promieniowaniu. Z tego względu rośnie problem tzw. zanieczyszczenia środowiska światłem niebieskim [Jakubowski 2015]. Ponieważ istnieje negatywny wpływ światła niebieskiego na organizm ludzki oraz środowisko, należy dążyć do ograniczania ilości tego rodzaju światła w otoczeniu [Falchi i in. 2001].

Diody LED wytwarzają światło w wyniku zjawiska elektroluminescencji (rekombinacja promienista pary dziura – elektron). Tak powstałe promieniowanie odznacza się jednak bardzo wąskim zakresem widmowym, którego połówkowa długość fali sięga kilkunastu/kilkudziesięciu nanometrów. Z tego względu idea funkcjonowania większości białych diod LED została oparta na zjawisku konwersji i mieszaniu światła. W wyniku rekombinacji promienistej w półprzewodnikowym złączu p-n wytwarzane jest światło niebieskie (około 440 – 460 nm), które służy do pobudzania luminoforu generującego światło żółte. Tak powstałe promieniowanie odznacza się szerokim zakresem widmowym i po dotarciu do ludzkiego oka wywołuje w nim wrażenie światła białego. Odpowiedni dobór własności chemicznych luminoforu oraz proporcji światła niebieskiego i żółtego umożliwiają producentom wytwarzanie diod o różnych parametrach (temperatura barwowa, wskaźnik oddawania barw). Przykładowe charakterystyki rozkładu mocy promienistej białych diod LED

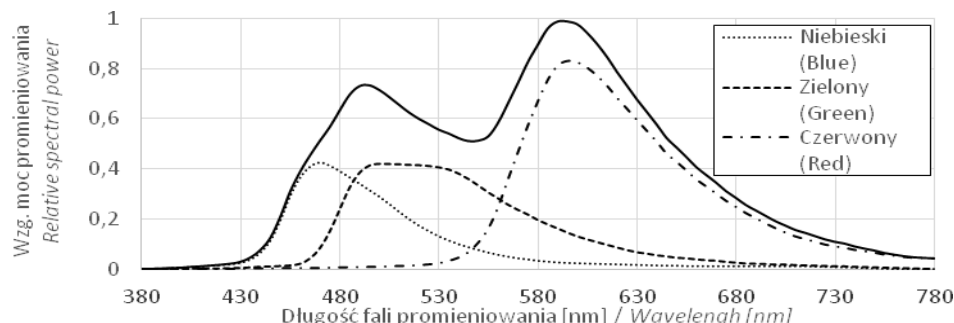
przedstawiono na rycinie 1. Uwidacznia się zależność, że im wyższa temperatura barwowa tym większa jest składowa mocy promienistej w obrębie światła niebieskiego.



Ryc. 1. Charakterystyki względnego rozkładu mocy promienistej białych diod LED w zależności od temperatury barwowej

Fig. 1. Relative spectral power distribution of white LEDs

OLED to szczególny rodzaj półprzewodnikowego źródła światła w którym aktywną warstwą jest materiał organiczny (tj. zawierający węgiel). W uproszczeniu, struktura OLED składa się z dwóch warstw odpowiednio domieszkowanego, organicznego półprzewodnika, które są umieszczone pomiędzy elektrodami zasilającymi. W wyniku działania pola elektrycznego do półprzewodników wstrzykiwane są dziury i elektrony, które ulegają rekombinacji, po wcześniejszym przejściu przez stany pośrednie zwane ekscytonami. Część z tych przejść ma charakter promienisty. W przeciwieństwie do typowych diod LED promieniowanie generowane przez materiały organiczne odznacza się szerokim zakresem długości fal, dzięki czemu w wyniku zmieszania podstawowych barw w odpowiednich proporcjach - możliwe jest uzyskanie wysokiej jakości światła białego (ryc. 2) [Garditz 2010]. Dodatkową zaletą jest fakt, iż warstwy generujące poszczególne barwy są bardzo cienkie i przezroczyste. Dzięki temu po złożeniu ich w stos, emitowane światło jest jednorodne.



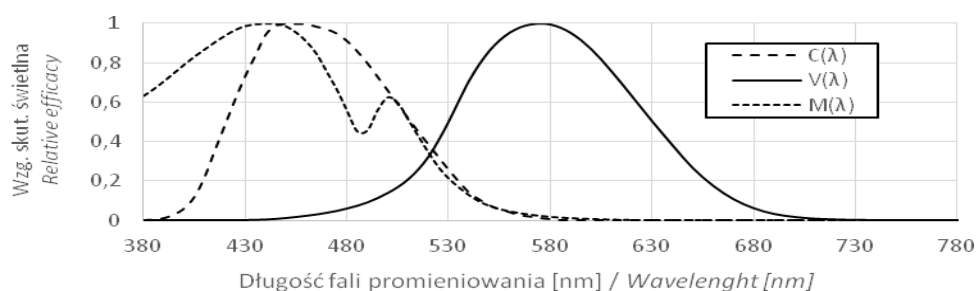
Ryc. 2. Względna moc promienista poszczególnych warstw aktywnych modułu OLED oraz charakterystyka światła białego, powstała w wyniku zmieszania barw

Fig. 2. Relative spectra power distribution of each OLED layer and white light mixing result

W roku 2001 dowiedziono, że poza czopkami i pręcikami w ludzkim oku występują komórki zwojowe RGC (retina ganglion cells). Zaledwie 1% z nich wykazuje się czułością na światło (ipRGC). Komórki te są połączone z podwzgórzem, a ich stymulacja bodźcami światła

niebieskiego przyczynia się do ograniczania wydzielania melatoniny, która to z kolei pełni kluczową rolę w regulacji cyklu okołodobowego [Lahti 2008]. Przeciętna długość takiego cyklu to 24 godziny. Zarówno niedobór jak i nadmiar promieniowania niebieskiego może prowadzić do zaburzeń w cyklu dobowym, czego konsekwencją może być przemęczenie i ogólne złe samopoczucie, a nawet choroby przewlekłe [Rea 2015]. Z drugiej jednak strony, w okresach jesienno – zimowych, gdy mamy do czynienia z niedoborem naturalnego światła odpowiednia stymulacja światłem może mieć pozytywny wpływ na samopoczucie i wydajność pracy.

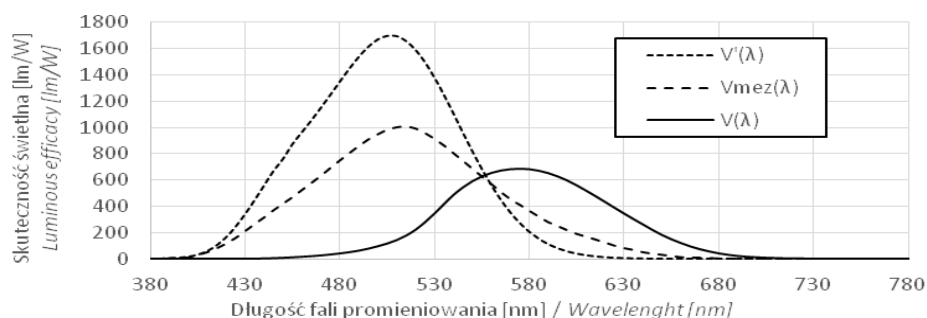
Na rycinie 3 przedstawiono względną charakterystykę skuteczności widmowej komórek ipRGC (krzywa $C(\lambda)$). Maksimum tej funkcji (ok. 470 nm) przypada w obszarze niskiej czułości oka w widzeniu fotopowym (tj. krzywej $V(\lambda)$). Oznacza to, że dwa źródła światła odznaczające się podobną jasnością i strumieniem świetlnym, ale różnymi rozkładami mocy promienistej, mogą w odmiennym stopniu oddziaływać na wspomniane komórki ipRGC. Na szczególną uwagę zasługują tutaj źródła światła białego o dużej zawartości promieniowania niebieskiego, tzw. Blue Rich White Light – BRWL. W tym przypadku nawet niewielkie, pochodzące od nich bodźce promieniste mogą znacząco wpływać na cykl okołodobowy.



Ryc. 3. Względna charakterystyka skuteczności świetlnej oka w widzeniu fotopowym, komórek ipRGC, oraz tłumienia wydzielania melatoniny

Fig. 3. Relative spectral efficacy of photopic vision, ipRGC and melatonin suppression

Należy też wspomnieć o pozytywnym aspekcie źródeł światła generujących zwiększoną ilość promieniowania w zakresie od 380 nm do 500 nm. W warunkach widzenia mezopowego i skotopowego światło takie jest lepiej postrzegane przez narząd wzroku, gdyż względna skuteczność widmowa oka ulega zmianie i przesuwa się w kierunku fal krótszych [Peng i in. 2009]. W przypadku widzenia skotopowego maksimum czułości oka wynosi około 507 nm (ryc. 4).



Ryc. 4. Skuteczność świetlna w funkcjach widzenia: fotopowego, mezopowego i skotopowego

Fig. 4. Luminous efficacy of photopic, mezopic and scotopic vision

Niezależnie od rodzaju źródła światła – jego promieniowanie może też mieć bezpośredni i niemal natychmiastowy wpływ na organizm człowieka, prowadząc do degradacji w obrębie ekspozowanych tkanek. W myśl standardu IEC 62741 do uszkodzeń tkanek może dochodzić na drodze termicznej, czyli w wyniku przegrzania prowadzącego do obumierania komórek. Efekt ten może być wywołany nawet w czasie bardzo krótkiej ekspozycji, a zagrożenie dotyczy szerokiego zakresu widmowego od 380 nm do 1400 nm. Drugi rodzaj zagrożenia, to uszkodzenie fotochemiczne, czyli rozkład pigmentu w czopkach oka pod wpływem promieniowania. Problem ten dotyczy narządu wzroku i ze względu na pasmowo przepustowy charakter rogówki, jest rozpatrywany w zakresie 300 nm – 700 nm. Na podstawie oceny ryzyka, zalecenia IEC 62741 definiują 4 grupy do których może zostać zaklasyfikowane źródło światła [Christine i in. 2012].

II. METODYKA

Analizie porównawczej poddano względne rozkłady widmowe sześciu modułów OLED dedykowanych do zastosowań w aplikacjach oświetleniowych oraz sześciu popularnych diod LED. Dostępne parametry nominalne oraz wskaźniki oddawania barw obliczone na podstawie rozkładów widmowych zostały zestawione w tabeli (tab.1). Analiza została przeprowadzona w kolejności uszeregowania źródeł.

Tabela 1- Table 1

Podstawowe parametry analizowanych źródeł światła / Basic parameters of analysed Light sources

Nr No	Producent Manufacturer	Oznaczenie Part number	Temp. barw CCT	Skuteczność światlna Luminous Efficacy	CRI	Czas życia L70 Life time L70
	[-]	[-]	[K]	[lm/W]	[-]	[tys. godz.] [kh]
1	Cree	XT-E	2200	91	91	50
2	Wisechip	Candelight OLED	2100	-	94	-
3	Osram	GW JDSMS1.EM	2700	128	82	50
4	Lumiotec	PO4E0606L-A12A	2700	40	85	10 - 50
5	MC Pioneer	OLE-P0909-L3	2700	33	77	10
6	Osram	GW PSLR32.EM	3000	148	82	50
6	MC Pioneer	OLE-P0909-L3A	3000	30	81	30
8	Kaneka	KN-P-P4-BF-30	3000	42	85	50
9	Philips	FL300 WW	3000	46	77	10 - 50
10	MC Pioneer	OLE-P0909-G2B	3000	12	90	10
11	Osram	GW JDSMS1.EC	4000	150	81	50
12	MC Pioneer	OLE-P0909-G2B	4000	12	89	10
13	Osram	GW JDSMS1.PC	5000	156	76	50
14	MC Pioneer	OLE-P0909-G2B	5000	12	82	10

W związku z faktem, iż temperatura barwowa jest związana z zawartością światła niebieskiego – analizę porównawczą przeprowadzono pomiędzy źródłami o zbliżonych temperaturach barwowych. Rozpatrywano diody charakteryzujące się temperaturą barwową wynoszącą około 5000 K, 4000 K oraz 2200K, 2800K i 3000K. Takie porównywanie uzasadnione jest tym, że w danej aplikacji oświetleniowej temperatura barwowa jest parametrem z góry określonym i nie zawsze może być zmieniona. Ponadto, aby porównanie

było miarodajne charakterystyki w poszczególnych grupach zostały znormalizowane, tak aby LEDy i OLEDy emitowały jednakowy strumień świetlny.

Najprostszą miarą zawartości promieniowania niebieskiego w zakresie od 380 nm do 500 nm jest stosunek mocy promienistej w tym zakresie do całej mocy promienistej generowanej przez dane źródło, co może zostać wyrażone jako:

$$Z_{nieb} = \frac{\int_{380nm}^{500nm} S(\lambda) d\lambda}{\int_{380nm}^{780nm} S(\lambda) d\lambda} 100\%$$

gdzie $S(\lambda)$ oznacza względny rozkład mocy promienistej rozpatrywanego źródła światła.

Tak wyrażona miara zawartości promieniowania niebieskiego nie ma jednak odniesienia do tego, jak odbierane jest światło przez narząd wzroku ani jak oddziałuje ono na organizm człowieka. Z drugiej strony, ocena postrzegania światła niebieskiego, tylko w funkcji widmowej widzenia fotonowego może okazać się niewystarczająca, gdyż wrażliwość oka na bodźce w tym zakresie jest niewielka. Z tego względu stosuje się wskaźnik S/P określający stosunek postrzegania w widzeniu skotopowym do postrzegania w widzeniu fotonowym [Zukauskas i in. 2014], wyrażany jako:

$$S/P = \frac{K'_0 \int_{380nm}^{780nm} V'(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{K_0 \int_{380nm}^{780nm} V(\lambda) S(\lambda) d\lambda}$$

gdzie:

$V'(\lambda)$ – funkcja skuteczności widmowej widzenia skotopowego,

$V(\lambda)$ – funkcja skuteczności widmowej widzenia fotonowego,

$S(\lambda)$ – względny rozkład mocy promienistej rozpatrywanego źródła światła,

K'_0 oraz K_0 – fotometryczny równoważnik promieniowania w funkcji widzenia skotopowego i fotonowego, odpowiednio 1700lm/W oraz 683 lm/W.

Kolejnym, z możliwych do zastosowania kryteriów oceny zawartości światła niebieskiego w danym rozkładzie widmowym jest współczynnik oddziaływania cyrkadialnego, określający wpływ światła na rytm dobowy człowieka [Wandachowicz 2012]. Współczynnik ten definiowany jest w następujący sposób:

$$a_{cv} = \frac{\int_{380nm}^{780nm} C(\lambda) S(\lambda) d\lambda}{\int_{380nm}^{780nm} V(\lambda) S(\lambda) d\lambda}$$

gdzie:

$C(\lambda)$ – funkcja skuteczności widmowej komórek ipRGC,

$V(\lambda)$ – funkcja skuteczności widmowej widzenia fotonowego,

$S(\lambda)$ – względny rozkład mocy promienistej rozpatrywanego źródła światła.

Inną z metod oceny zawartości światła niebieskiego jest wskaźnik tłumienia wydzielania melatoniny (MSI), definiowany jako:

$$MSI = \frac{\int_{380}^{730} S(\lambda) M(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{730} S_{D65} M(\lambda) d\lambda}$$

gdzie:

$M(\lambda)$ - funkcja skuteczności widmowej hamowania wydzielania melatoniny,

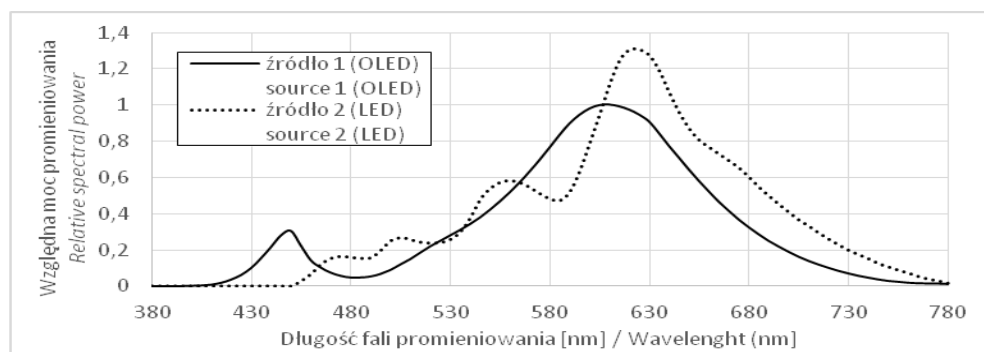
$S_{D65}(\lambda)$ – rozkład widmowy źródła odniesienia (iluminant D65),

$S(\lambda)$ – względny rozkład mocy promienistej rozpatrywanego źródła światła.

III. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Względne charakterystyki widmowe analizowanych źródeł emitujących strumień świetlny o tej samej wartości, zostały zaprezentowane w formie graficznej na rycinach od 5 do 10.

Na podstawie rozkładów mocy promienistej oraz zależności zdefiniowanych w poprzednim paragrafie obliczono i przeanalizowano wskaźniki zawartości światła niebieskiego oraz kilka podstawowych parametrów świetlnych rozpatrywanych źródeł światła (tabele od 2 do 6).



Ryc. 5. Względny rozkład mocy promienistej źródeł o temperaturze barwowej ok. 2200K

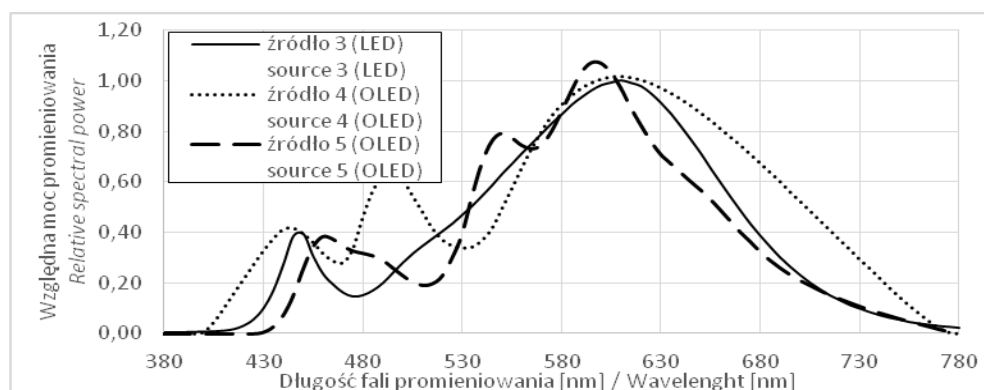
Fig. 5. Relative spectral power distribution of light sources with CCT value about 2200K

Tabela 2 - Table 2

Obliczone parametry analizowanych źródeł o temperaturze barwowej około 2200K / Calculated parameters of analyzed light sources with CCT value about 2200K

Nr No	Technologia Technology	Obliczona temp. barw. Calculated CCT	Współrz. chrom. x:y Chromatic coordinates x:y	Z_{nieb} blue light content	S/P	a_{cv}	MSI
		[K]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]
1	LED	2183	0,4942 0,3972	8	0,89	0,23	0,15
2	OLED	2104	0,5237 0,4259	4	1,00	0,19	0,09

W przypadku źródeł o bardzo niskiej temperaturze barwowej około 2200K – zawartość światła niebieskiego emitowanego przez moduł OLED jest dwukrotnie niższa niż porównywanej diody LED. Pozostałe wskaźniki również świadczą na korzyść OLED.



Ryc. 6. Względny rozkład mocy promienistej źródeł o temperaturze barwowej około 2800K

Fig. 6. Relative spectral power distribution of light sources with CCT value about 2800K

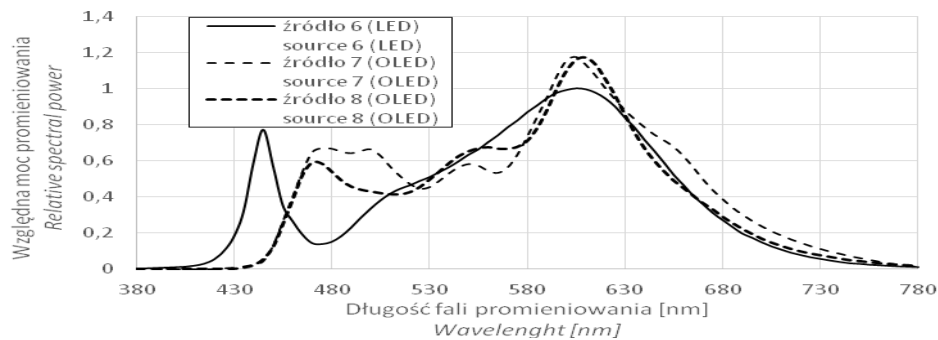
Tabela 3 - Table 3

Obliczone parametry analizowanych źródeł o temperaturze barwowej około 3000K / Table 3

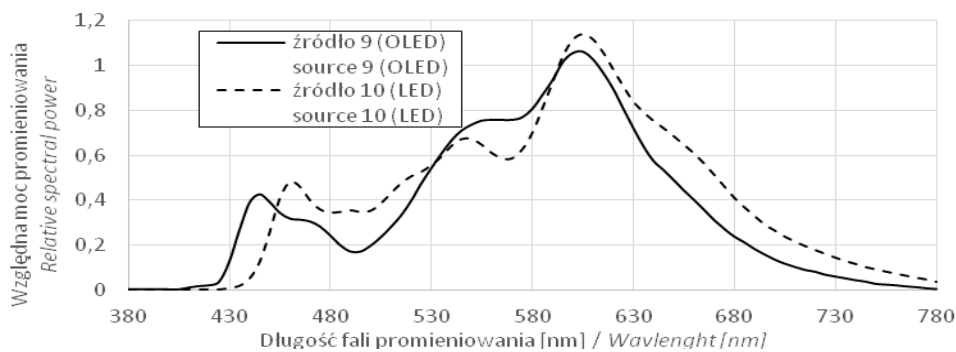
Calculated parameters of analyzed light sources with CCT value about 2800K

Nr No	Technologia Technology	Obliczona temp. barw. Calculated CCT	Współrz. chrom. x:y Chromatic coordinates x:y	Z_{nieb} blue light content	S/P	a_{cv}	MSI
		[K]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]
3	LED	2794	0,4534 0,4107	11	1,22	0,31	0,19
4	OLED	2826	0,4296 0,3697	17	1,56	0,51	0,24
5	OLED	2910	0,4503 0,4197	12	1,22	0,31	0,18

Porównanie źródeł emitujących światło bardzo ciepłe (tj. około 2700K) nie jest już tak jednoznaczne. W tym przypadku wskaźniki określone dla źródła numer 3 oraz 5 są na niemal jednakowym poziomie, zaś moduł OLED o numerze 4 wypada na tym tle zdecydowanie mniej korzystnie. Odznacza się on niemal o połowę większym udziałem mocy promienistej w zakresie 380 – 500 nm, wyższym wskaźnikiem tłumienia melatoniny oraz oddziaływania cyrkadialnego. Natomiast zaletą źródła numer 4 jest wyższy wskaźnik S/P, dzięki czemu emitowane światło jest lepiej postrzegane w warunkach widzenia nocnego.



Ryc. 7. Względny rozkład mocy promienistej źródeł o temperaturze barwowej około 3000K
Fig. 7. Relative spectral power distribution of light sources with CCT about 3000K



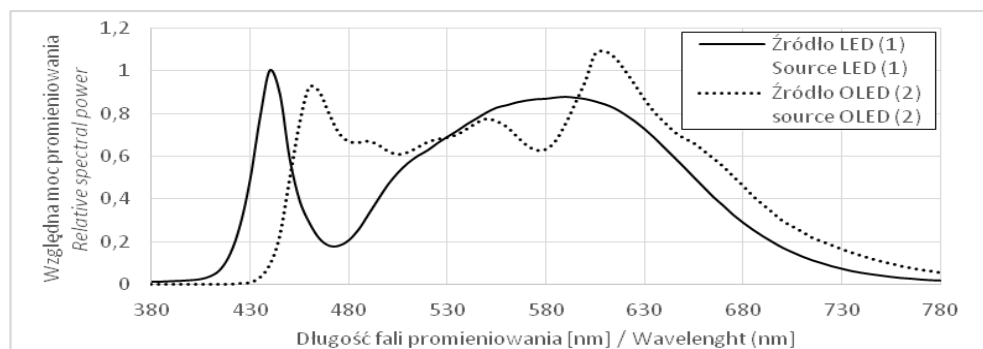
Ryc. 8. Względny rozkład mocy promienistej źródeł o temperaturze barwowej około 3000K
Fig. 8. Relative spectral power distribution of light sources with CCT about 3000K

Tabela 4 - Table 4

Obliczone parametry analizowanych źródeł o temperaturze barwowej około 3000K / Table 4
 Calculated parameters of analyzed light sources with CCT about 3000K

Nr No	Technologia Technology	Obliczona temp. barw. Calculated CCT	Współrz. chrom. x:y Chromatic coordinates x:y	Z_{nieb} blue light content	S/P	a_{cv}	MSI
		[K]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]
6	LED	3070	0,4258 0,3890	16	1,36	0,41	0,25
7	OLED	3049	0,4332 0,4022	17	1,72	0,48	0,23
8	OLED	3010	0,4404 0,4125	15	1,52	0,40	0,22
9	OLED	3099	0,4317 0,4052	14	1,29	0,36	0,23
10	OLED	2985	0,4420 0,4126	13	1,45	0,38	0,20

W grupie źródeł emitujących światło ciepłe o temperaturze barwowej około 3000K, najkorzystniej wypada moduł OLED o numerze 10. Odznacza się on najmniejszym procentowym udziałem promieniowania w zakresie 380 – 500 nm, niskim wskaźnikiem oddziaływania cyrkadialnego oraz najniższym wskaźnikiem tłumienia melatoniny (MSI). Co istotne, nie oznacza to, że generowane światło jest gorzej postrzegane w warunkach widzenia skotopowego. Wręcz przeciwnie, wskaźnik S/P tego źródła jest na wyższym poziomie niż w przypadku źródeł 6 oraz 8, które mają większy udział mocy promienistej w zakresie światła niebieskiego. Pomimo, iż źródło OLED o numerze 7 posiada najwyższy udział światła niebieskiego i odznacza się wysokimi wskaźnikami S/P oraz a_{cv} , to wskaźnik określający tłumienie melatoniny jest na niższym poziomie niż źródła LED o numerze 6.



Ryc. 9. Względny rozkład mocy promienistej źródeł o temperaturze barwowej około 4000K

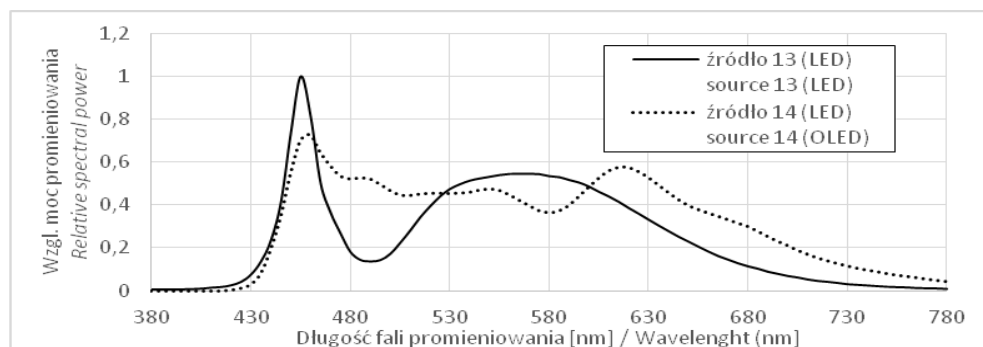
Fig. 9. Relative spectral power distribution of light sources with CCT about 4000K

Tabela 5 - Table 5

Obliczone parametry analizowanych źródeł o temperaturze barwowej około 4000K / Table 5
Calculated parameters of analyzed light sources with CCT about 4000K

Nr No	Technologia Technology	Obliczona temp. barw. Calculated CCT	Współrz. chrom. x:y Chromatic coordinates x:y	Z_{nieb} blue light content	S/P	a_{cv}	MSI
		[K]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]
11	LED	4023	0,3809 0,3816	16	1,36	0,41	0,25
12	OLED	3949	0,3842 0,3836	17	1,72	0,48	0,23

W kategorii źródeł światła neutralnego (tj. około 4000K) wagowy udział mocy promienistej w zakresie 380 – 500 nm jest zbliżony. Mimo to, światło emitowane przez źródło OLED o numerze 12 będzie zdecydowanie lepiej postrzegane w warunkach widzenia skotopowego, a przy tym w mniejszym stopniu wpłynie na wydzielanie melatoniny. Natomiast na korzyść źródła LED o numerze 11 przemawia niższy wskaźnik oddziaływania cyrkadialnego.



Ryc. 10. Względny rozkład mocy promienistej źródeł o temperaturze barwowej około 4000K

Fig. 10. Relative spectral power distribution of light sources with CCT about 4000K

Tabela 6 - Table 6

Obliczone parametry analizowanych źródeł o temperaturze barwowej około 5000K / Table 6
Calculated parameters of analyzed light sources with CCT about 5000K

Nr No	Technologia Technology	CCT	Współrz. chrom. x:y Chromatic coordinates x:y	Z_{nieb} blue light content	S/P	a_{cv}	MSI
		[K]	[-]	[%]	[-]	[-]	[-]
13	LED	5043	0,3445 0,3572	27	1,86	0,65	0,37
14	OLED	5072	0,3432 0,3514	26	2,34	0,80	0,34

Wyniki analizy źródeł światła zimnego (tj. około 5000K) wypadły analogicznie jak źródeł światła neutralnego. Źródło 13 oraz 14 prezentują zbliżony udział procentowy mocy promienistej w zakresie fal 380 – 500 nm, ale wskaźniki S/P oraz MSI są korzystniejsze dla źródła OLED. Można natomiast oczekiwać, że źródło LED o numerze 12 w mniejszym stopniu będzie wpływało na zaburzenia cyklu okołodobego (niższy wskaźnik a_{cv}).

Skuteczność świetlna jest zdecydowanie domeną diod LED. Na ich tle moduły OLED prezentują się nad wyraz skromnie gdyż oferują skuteczność na nawet kilkukrotnie niższym poziomie. Warto przy tym nadmienić, że dość często wyjściowy strumień świetlny (a więc pośrednio - skuteczność świetlna) jest deklarowany przy temperaturze 25°C. Wyższa temperatura w warunkach pracy przyczyni się do obniżenia strumienia i skuteczności świetlnej.

Często eksponowaną cechą źródeł LED jest ich długi czas życia, który definiuje się jako czas pracy po którym następuje utrata strumienia do poziomu 70% wartości początkowej. Należy jednak nadmienić, iż ten parametr nie zawsze może być zdefiniowany jednoznacznie, gdyż zależy od warunków pracy (prąd zasilania i temperatura). Metodyka badań i szacowania czasu życia jest procesem złożonym i wykracza poza ramy niniejszego artykułu. Odnosząc się jednak do nominalnych warunków pracy źródeł LED i OLED można zauważyć, że w przypadku dobrej jakości diod LED minimalny czas życia przekracza 50 tysięcy godzin, zaś w przypadku źródeł OLED jest to zaledwie poziom 10 – 30 tysięcy godzin.

IV. PODSUMOWANIE

Niezależnie od technologii wykonania, uwidacznia się prawidłowość, że im wyższa jest temperatura barwowa danego źródła światła, tym większy udział promieniowania w zakresie od 380 nm do 500 nm. Zatem ocena zawartości światła niebieskiego niemal zawsze wypadnie na korzyść źródeł emitujących światło cieplejsze (tj. o niższej temperaturze barwowej). Szczegółowa analiza pokazuje, iż jednoznaczna ocena zawartości światła niebieskiego zależy od przyjętych kryteriów. Nawet jeśli dane źródło cechuje się mniejszym udziałem wagowym promieniowania niebieskiego, to nie oznacza to, że jego wpływ na organizm również będzie mniejszy. Przeanalizowane przykłady dają podstawę sądzić, iż w kontekście emisji światła niebieskiego, niektóre moduły OLED mogą być alternatywą dla źródeł LED. Tym nie mniej, problem wpływu na organizm jest złożony i ściśle związany z tym jak ukształtowany jest rozkład widmowy danego produktu. Z uwagi na bardzo szeroki asortyment zarówno źródeł LED jak i OLED, niezbędna jest dokładna analiza mocy promienistej pod kątem konkretnych oczekiwań ze strony użytkownika (tj. postrzeganie w nocy, wpływ na wydzielanie melatoniny lub inne kryteria). W obecnej chwili, stosowanie źródeł OLED nie wnosi zalet z ekonomicznego punktu widzenia, przez co ich zastosowanie ogranicza się przeważnie do celów dekoracyjnych. Nie jest jednak wykluczone, że w niedalekiej przyszłości postęp technologiczny przyczyni się do upowszechnienia tej technologii, jak miało to miejsce w przypadku diod LED.

BIBLIOGRAFIA

1. Christine R., Stich. A, Wolfgang T. 2012. Details on photobiological safety of LED light sources. [dok. elektr.: www.osram-os.com, data wejścia wrzesień 2012].
2. Falchi F., Pierantonio Cinzano D., David M.K., Haima A. 2001. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *J. Environ. Manag.* 92. 14-22.
3. Garditz Ch. 2010. OLED Technology Introduction [dok. elektr.: www.osram-os.com, data wejścia wrzesień 2010].
4. Jakubowski P. 2015. Wpływ rozkładu widmowego mocy promienistej ulicznych opraw oświetleniowych typu LED na zanieczyszczenie światłem otoczenia. *Kosmos*. Tom 64. Numer 4. 643-653.
5. Lahti T. 2008. Circadian rhythm disruptions and health. Publications of the National Public Health Institute Helsinki. Finland 2008.
6. Peng J., Yi-Feng W., Qi-Feng Z., Rooymans J., Chun-Yu Y. 2009. Luminous efficiency of white LED in the mesopic vision state. *Optoelectronic Letter*. Vol. 5 no. 4. 265-267.
7. Rea M. S. 2015. Light – much more than vision, Lighting Research Center. Rensselaer Polytechnic Institute. Troy. NY. USA. 12180. 1-15.
8. Wandachowicz K. 2012. Obliczanie rozkładów cyrkadialnych wielkości promienistych we wnętrzach. *Prace Inst. Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej. Politechnika Poznańska*. Z. 256. 101-111.
9. Zukauskas A., Vaicekauskas R., Tuzikas A., Petulius A., Stanikunas R., Svegza A., Eidikas P., Vitta P.: Firelight LED Source. 2014. Toward a Balanced Approach to the Performance of Solid-State Lighting for Outdoor Environments. *IEEE Photonics Journal*. DOI: 10.1109/JPHOT.2014.2319102-1943-0655.

COMPARATIVE ANALYSIS OF LED AND OLED LIGHTING PARAMETERS IN THE CONTEXT OF BLUE LIGHT EMISSION

Summary

Amount of blue light in spectral radiation is an important aspect of today's light sources. The article presents analysis of blue light content in spectral flux of LEDs and OLEDs. In fact, decision about light source selection is mostly driven by some additional factor, thus other parameters have been analyzed: luminous efficacy, color rendering index and lifetime.

Key words: blue light pollution, LED, OLED