

Techniczne aspekty bezpieczeństwa fotobiologicznego źródeł światła, stosowanych do użytku domowego, z uwzględnieniem zagadnień medyczno-prawnych

Streszczenie. W pracy opisane zostały dyrektywy Unii Europejskiej, z których wynikają wymagania odnośnie rodzajów stosowanych współcześnie, w gospodarstwach domowych, źródeł światła. Na tle historii rozwoju, stosowanych do celów oświetleniowych, lamp elektrycznych, przedstawiona została analiza technicznych aspektów bezpieczeństwa fotobiologicznego. Uwzględnione zostały także zagadnienia wpływu światła na zdrowie człowieka. Opisane zostały również dokumenty prawne dotyczące bezpieczeństwa fotobiologicznego źródeł światła i opraw oświetleniowych.

Abstract. The paper describes the European Union directive, which provided requirements for type and energy efficiency of light sources used in modern households. An analysis of the impact of different kind of light sources on human health are also presented. In the paper legal documents concerning photobiological safety of lamps and luminaries are taken under consideration. **(Technical, medical and legal aspects of domestic light sources photobiological safety)**

Słowa kluczowe: źródła światła, bezpieczeństwo fotobiologiczne, akty prawne

Keywords: light sources, photobiological safety, legal acts

Wstęp

Osiągnięcie wysokiego poziomu ochrony środowiska, poprzez ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, to jeden z priorytetów Unii Europejskiej. Założono, że zrealizowanie tego celu, możliwe będzie poprzez racjonalizację wykorzystania energii elektrycznej przez końcowych jej użytkowników oraz poprawę efektywności energetycznej stosowanych urządzeń elektrycznych. W 2005 r. Parlament Europejski i Rada opracowała dyrektywę 2005/32/WE [1], ustanawiającą ogólne zasady dotyczące wymogów ekoprojektu dla produktów wykorzystujących energię. Dyrektywa ta, w art. 15 zobowiązywała Komisję Europejską do przyjęcia środków wykonawczych mających na celu określenie sugerowanej listy grup produktów, które będą traktowane priorytetowo przy wprowadzaniu środków wykonawczych. W skali świata jednym z istotnych składników zużycia energii elektrycznej jest oświetlenie. W gospodarstwach domowych krajów unijnych, około (14÷15)% całkowitego zużycia energii elektrycznej [2,3] przypada na oświetlenie, a na terenie europejskich miast jest to aż 50% [4]. W związku z czym, poprawa efektywności energetycznej oświetlenia, czyli mniejsze zużycie energii na cele oświetleniowe, jest jednym z unijnych priorytetów. Dyrektywa 2005/32/WE, określa wymogi dla oświetlenia stosowanego w gospodarstwach domowych. Spośród stosowanych w gospodarstwach domowych, do celów oświetleniowych źródeł światła (żarówek, żarówek halogenowych, świetlówek, świetlówek kompaktowych, LED-ów), to żarówki zużywają największe ilości energii elektrycznej do osiągnięcia jednakowego poziomu jaskrawości i równomierności oświetlenia danej powierzchni [5,6]. W związku z czym, Komisja Europejska 18 marca 2009 r., wprowadziła rozporządzenie (WE) nr 244/2009 [7], w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE PE i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących ekoprojektu dla bezkierunkowych lamp do użytku domowego. Jego spełnienie, wiąże się z koniecznością powszechnej zmiany, w stosowanych do użytku domowego źródłach światła. Zakładano, że w dniu 1 września 2012 r. nastąpi ostatni akt wycofywania tradycyjnych żarówek z produkcji i sprzedaży a 1 września 2016 roku wycofane zostaną z rynku kierunkowe żarówki halogenowe. Na dzień 1 września 2018 roku określono termin wycofania z rynku bezkierunkowych żarówek halogenowych na napięcie 230V. Jako zamienniki wycofywanych lamp oferowane są

świetłówki kompaktowe, diody świecące zwane LED-ami, stosowane w zestawach jako lampy LED. Zamienniki te, mają być pomocne w osiągnięciu celów zawartych w dokumencie „Europa 2020” [8], w którym zawarto strategię na rzecz inteligentnego, trwałego i sprzyjającego włączeniu społecznemu, wzrostu gospodarczego. Analizy (tzw. Impact Assessment) przeprowadzone przez Komisję Europejską, potwierdziły zasadność rozporządzenie WE 244/2009. Uwzględniały one kryteria określone w art. 15 ust. 5 dyrektywy 2005/32/UE, które to m.in. wskazywały, iż środki wykonawcze, z punktu widzenia użytkownika, nie mogą mieć znacznego negatywnego wpływu na funkcjonalność produktu oraz na zdrowie, bezpieczeństwo i środowisko naturalne człowieka. Stwierdzono, że zamienniki są bezpieczne i spełniają wymagania Komisji Europejskiej dotyczących efektywności energetycznej, zużytego sprzętu elektrycznego, substancji niebezpiecznych (ROHS), i w wymaganych przypadkach również kompatybilności elektromagnetycznej. Ustalono, że w zwykłych lub w innych dających się w sposób uzasadniony przewidzieć warunkach naturalnego wyrobu, z uwzględnieniem czasu korzystania z niego, nie będzie on powodował jakiegokolwiek zagrożenia dla konsumentów lub też stwarzał będzie jedynie znikome zagrożenie, dające się pogodzić z jego zwykłym użytkowaniem. Niestety w badaniach tych nie przedstawiono parametrów jakościowych opisujących emitowane przez te źródła promieniowanie. Chcąc wskazać, które z zamienników spełniają wymagania zawarte w dyrektywach UE i jednocześnie spełniają swoje role użytkowe należy scharakteryzować i porównywać między sobą wszystkie parametry opisujące jakość emitowanego przez nie światła.

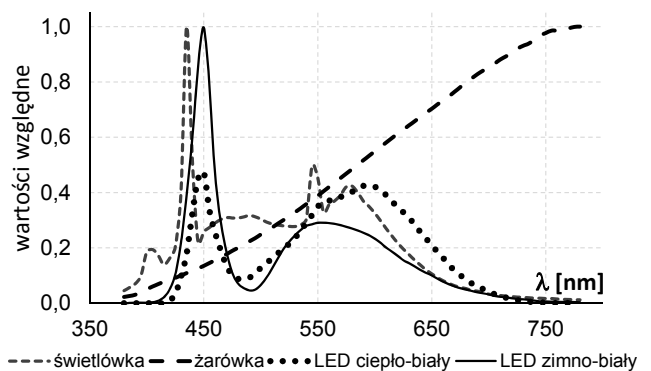
Typowe, parametry opisujące jakość elektrycznych źródeł światła

Do typowych, wielkości opisujących jakość parametrów świetlnych elektrycznych źródeł światła, emitujących promieniowanie barwy białej zalicza się:

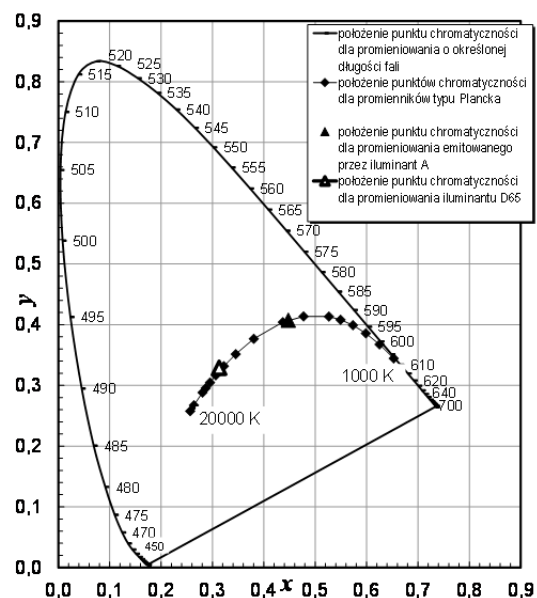
- rozkład widmowy (rys. 1) emitowanego promieniowania elektromagnetycznego, obrazujący np. względne wartości mocy promienistej przypadające na poszczególne długości fali;
- strumień świetlny Φ [lm] stanowiący miarę energii promienistej z zakresu widzialnego tj. (380÷780) nm, określający całkowitą ilość światła wytwarzanego przez dane źródło;

- światłość I [Cd] tj. stosunek emitowanego w kąt bryłowy $d\omega$ strumienia świetlnego $d\Phi$ do wartości tego kąta;
- luminancja L [Cd/m²] wyrażająca iloraz elementarnej światłości dI , jaką emituje elementarne otoczenie dS danego punktu świecącego w tym kierunku, do wielkości powierzchni pozornej tego otoczenia widzianej z danego kierunku;
- współrzędne trójchromatyczne barwowe określane np. w układzie kolorymetrycznym CIE 1931 (rys. 2), które (w postaci danych liczbowych x, y) definiują barwę emitowanego światła;
- temperatura barwowa T_b [K] tj. miara odbieranego przez człowieka wrażenia barwy promieniowania emitowanego przez daną lampę, odpowiadające wrażeniu wywoływanemu w oku przez ciało czarne o tej temperaturze. Współrzędne trójchromatyczne żarowych źródeł światła znajdują się na tzw. krzywej Plancka (rys. 2) wynikającej z położenia punktu chromatyczności ciała czarnego. Punktowi o konkretnie określonej wartości x, y odpowiada tylko jedna wartość temperatury barwowej T_b . Przyjęto, że światło nazywane jest ciepło-białym wtedy gdy $T_b < 3500$ K, ze światłem o barwie neutralnej mamy do czynienia, gdy jego T_b zawiera się w granicach (3500 – 4500 K), a ze światłem nazywanym zimnym przy $T_b > 4500$ K.
- temperatura barwowa najbliższa T_{cb} [K], określana w przypadku źródeł światła, których położenie punktu chromatyczności x, y nie znajduje się na krzywej Plancka. Jej wartość oznacza taką temperaturę ciała czarnego, dla którego barwa postrzegana jest najbardziej zbliżona do barwy rozpatrywanego źródła;
- skuteczność świetlna źródła światła LES, której miarą jest liczba lumenów [lm] uzyskanych z 1 Wata [W] dostarczonej energii elektrycznej tj. sprawność η [lm/W] konwersji energii elektrycznej na świetlną. Im ten parametr ma wyższą wartość tym źródło jest bardziej energooszczędne. W praktyce wartość η zależy od mocy lub temperatury barwowej źródła światła [9].
- skuteczność świetlna LER emitowanego przez dane źródła światła promieniowania, definiowana jako iloraz wartości jego strumienia świetlnego do wartości strumienia energetycznego tego źródła (wartość LER zależna jest jedynie od charakteru rozkładu widmowego emitowanego promieniowania);
- ogólny wskaźnik oddawania barw R_a (ang. CRI) [10, 11], zawierający się w zakresie od 0 do 100. Określa jakość reprodukcji barw wzorcowych oświetlonych danym światłem. Najwyższym wskaźnikiem odznaczają się źródła żarowe ($R_a = 100$). W innych źródłach światła parametr ten przyjmuje wartości od około 20 do 95 w zależności od rodzaju źródła i technologii wykonania. Przyjmuje się, że $R_a < 70$ oznacza słabe oddawanie barw i tego rodzaju źródło światła może znaleźć jedynie zastosowanie przy oświetleniu zewnętrznym. Wtedy, gdy wartości R_a są z zakresu pomiędzy 70 a 80 oznacza to zadowalające oddawanie barw przez dane źródło światła. Przyjmuje się, że tego typu lampy są używane w oświetleniu zewnętrznym. Bardzo dobre oddawanie barw, charakteryzowane jest przez R_a pomiędzy 80 a 90. Zgodnie ze standardami przyjętymi w oświetleniu jedynie tego rodzaju źródło światła, może znaleźć zastosowanie przy oświetleniu wewnątrz. W przypadku, gdy $R_a > 90$ przyjmuje się, że to oświetlenie zapewnia ponad przeciętne oddawanie barw i nadaje się do oświetlenia wewnątrz oraz do oświetlenia specjalistycznego;

- czas życia źródeł światła ma kilka definicji. W przypadku żarówek określony jest on jako czas po którym połowa badanych lamp (tj. 500 z 1000 sztuk) przestaje świecić. W LED-ach, do całkowitego zaniku emisji promieniowania może dochodzić nawet po setkach tysięcy godzin użytkowania. W związku z czym, ich czas życia definiowany jest jako ten po którym w połowie badanej populacji LED-ów, strumień świetlny spadnie poniżej 70% jego wartości początkowej. Ten parametr określany jest symbolem L70/B50. W aplikacjach profesjonalnych, gdzie utrzymanie parametrów świetlnych ma kluczowe znaczenie, spotyka się bardziej restrykcyjne podejście opisane symbolem L70/B10 tj. czas po którym 10% populacji badanych źródeł osiągnie poziom strumienia świetlnego wynoszący 70% jego wartości początkowej;
- trwałość, którą producenci określają w latach pracy np. (15÷30) lat. Jest ona określana przy założeniu, że źródło pracuje jedynie przez pewien czas w ciągu doby (np. 2,7h/dobę). Pomimo tego, iż czas życia diod LED jest bardzo długi, to trwałość źródła może być ograniczana przez jakość elektroniki zasilającej, która to może ulec uszkodzeniu częściej i szybciej niż sam element świecący.



Rys. 1. Przykładowe charakterystyki względnego rozkładu mocy promienistej różnych źródeł światła



Rys. 2. Graficzne przedstawienie położenia punktu chromatyczności X, Y w układzie kolorymetrycznym CIE 1931

Wraz z historycznym rozwojem rodzajów i konstrukcji lamp stosowanych w celach oświetleniowych, wartości użytkowych parametrów elektrycznych źródeł światła, podlegały i podlegają znaczącym zmianom. W początkowej fazie historycznego rozwoju źródeł światła, najistotniejszym

parametrem było uzyskanie stabilnego i działającego relatywnie długi czas promieniowania. Jednocześnie miało ono nie stwarzać zagrożenia i nie zanieczyszczać otoczenia, a wymagania dotyczące osiągania dużych wartości skuteczności świetlnej, były wtórnymi w stosunku do tych które charakteryzowały jakość i komfort oświetleniowy uzyskiwany daną lampą.

Historia rozwoju elektrycznych źródeł światła stosowanych do celów oświetleniowych

Pierwsze w świecie lampy elektryczne działały na zasadzie wykorzystania zjawiska termoemisyj. Na początku XIX wieku (1808 rok) angielski chemik Sir Humphrey Davy, zademonstrował lampę elektryczną, o elektrodach węglowych. Poważną wadą tej konstrukcji było to, że świeciła bardzo jaskrawym promieniowaniem i w znacznym stopniu zanieczyszczała powietrze. W związku z czym, stosowano ją jedynie przy oświetlaniu terenów zewnętrznych. Równocześnie trwały dalsze prace nad ulepszeniem tej lampy, które zaowocowały tym, że w 1840 roku W. R. Grove, opracował lampę żarową z drutem platynowym. Dwadzieścia lat później, bo w 1860 roku Joseph Wilson Swan, opracował żarówkę na bazie wytrawionego kwasem siarkowym włókna bawełnianego oraz zwęglonego papieru. Ten prototyp nie wytwarzał promieniowania o wystarczającej jaskrawości, ponieważ Swan nie był w stanie wytworzyć wystarczająco wysokiej próżni w bańce lampy. Inną konstrukcją tego typu lampy była ta, którą zaprezentował w roku 1876 Paweł Jabłoczkow. Opracował on żarowe źródło światła, na bazie dwóch pręcików węglowych izolowanych cienką płytka gipsową. Jednak lampa, która może być uznana jako prototyp współczesnych żarówek, pojawiła się dopiero w roku 1879, kiedy to Thomas Alva Edison przedstawił lampę węglową, świecącą ponad 40 godzin.

Sukces tej konstrukcji wpłynął na to, że zbudowane 1859 roku przez Johanna Heinricha Wilhelma Geisslera wyładowcze źródła światła tzw. świecące rurki Geisslera, nie zostały docenione przez ówczesnych użytkowników. Lampy tego typu znalazły zastosowanie dopiero w 1893 roku, kiedy to Daniel McFarlan Moore opracował swoje konstrukcje tego typu lamp wyładowczych (od 1914 roku nazywanych neonami). W efekcie dalszych prac nad lampami wyładowczymi, w roku 1938 George E. Inman, zaprezentował światu wersję lampy fluorescencyjnej zwanej świetlówką. Lampy tego typu (w czterech rozmiarach) zostały umieszczone w ofercie handlowej koncernu GE. Ówczesnie, i słusznie, uważano że mają one za duże i niepraktyczne wymiary. Dlatego też, prace nad ulepszeniem konstrukcji świetlówek były kontynuowane i w ich efekcie 1978 roku, powstała wygodniejsza w zastosowaniach świetlówka kompaktowa.

Innym zjawiskiem fizycznym wykorzystywanym przy konstruowaniu źródeł światła jest elektroluminescencja. Na tej zasadzie jest skonstruowana dioda LED. Masowa produkcja LED-ów datuje się od lat 70 XX, kiedy to handlowo były dostępne LED-y emitujące promieniowanie o barwie czerwonej. Następne lata przyniosły rozwój technologii barwnych LED-ów, a od roku 2000 można mówić o dostępności diod świecących na biało, znajdujących zastosowanie do ogólnych celów oświetleniowych. Emisja promieniowania o barwie białej, jest możliwa w LED-ach, dzięki użyciu różnego rodzaju metod konstrukcyjno-technologicznych. Światło to, może być otrzymywane, poprzez zmieszanie w odpowiednich proporcjach, promieniowania jednobarwnych LED-ów lub też można wykorzystywać zjawisko luminescencji zachodzące w luminoforze tj. fakt, że docierające do luminoforu promieniowanie, jest konwertowane na

promieniowanie o dłuższej fali, w stosunku do tej, która padała na luminofor. W LED-ach możliwe jest wytwarzanie światła białego o różnorodnych rozkładach widmowych dzięki czemu możliwe jest uzyskiwanie promieniowania charakteryzującego się temperaturą barwową od ciepłej do chłodno białej.

Dzięki wieloletniemu rozwojowi możliwości konstrukcyjnych różnego typu źródeł światła współcześnie dostępne są lampy charakteryzujące się znaczną rozpiętością parametrów technicznych. W związku z tym bardzo utrudnionym, a wręcz niemożliwym stało się stworzenie prostej do zastosowania metody ich klasyfikacji pod względem jakościowym.

Elektryczne źródła światła stosowane współcześnie do użytku domowego

Podstawowe katalogowe wartości parametrów świetlnooptycznych, różnego rodzaju typowych źródeł światła, stosowanych współcześnie w gospodarstwach domowych, zostały zestawione w tabelach od 1 do 3. W tabelach tych pokazany został również wygląd lampy i rozkład widmowy emitowanego promieniowania. Z punktu widzenia jakości oświetlenia użytkowane źródło światła powinno najworniej oddawać naturalne warunki oświetleniowe. Ten wymóg najlepiej spełniają klasyczne żarówki, które charakteryzują się wskaźnikiem oddawania barw R_a na poziomie 100.

Żarowe źródła światła, niemal bezzwłocznie po załączeniu, osiągają nominalną wartość strumienia świetlnego Φ oraz nie generują zakłóceń do sieci zasilającej. Ponadto ich zaletą jest odporność na czynniki zewnętrzne takie jak wilgotność i temperatura otoczenia. Wadą jest niska skuteczność świetlna η (maksymalnie do 16 lm/W) oraz krótki czas życia (ok. 1000 h). Parametry te uległy nieznacznej poprawie w kolejnej generacji źródeł żarowych, jakimi są lampy halogenowe. W lampach tych przy zachowaniu parametrów jakościowych emitowanego światła uzyskano podwyższenie skuteczności świetlnej η do 22 lm/W oraz wydłużenie czasu życia do ponad 2000 h. Jednak dopiero kolejna generacja źródeł światła tj. lampy wyładowcze (rozkład widmowy o charakterze prądkowym charakteryzujący się trzema lub pięcioma maksimami oraz znaczącą emisją promieniowania w zakresie światła niebieskiego) nazywane świetlówkami, przyniosła znaczną poprawę skuteczności świetlnej η (powyżej 50 lm/W) i wydłużenie czasu życia (powyżej 10 tysięcy godzin). Stosowanie stateczników elektronicznych w tego typu źródłach światła pozwoliło na dalszą poprawę skuteczności świetlnej η (do ponad 100 lm/W) oraz wydłużenie czasu życia lampy nawet do około 50 tysięcy godzin. Osiągnięcie tych dobrych właściwości energetycznych źródła światła było jednak okupione jakością generowanego promieniowania, i w efekcie obniżeniu do (60÷90) uległa wartość wskaźnika oddawania barw R_a . Ich poważną wadą jest to, że wymagają zasilania poprzez dławik lub układ elektroniczny co sprawia, że współczynnik mocy może być wyraźnie niższy od jedności a do sieci emitowane są zakłócenia w postaci wyższych harmonicznych. Wprawdzie układy zasilania najnowszej generacji wyraźnie ograniczają te efekty, to jednak nie można ich pominąć. Ich wadą jest między innymi to, że nie nadają się one do stosowania w pomieszczeniach używanych krótkotrwale i sporadycznie (np. łazienki), ponieważ lampy wyładowcze osiągają pełny strumień świetlny dopiero po określonym czasie działania. Dodatkowo cykle włączenia i wyłączenia skracają użytecz-

ny czas życia tych źródeł. Ważną zaletą świetlówek jest ich dostępność w różnych temperaturach barwowych.

Świetłówki kompaktowe są odmianą świetlówek rurowych o zmienionej tak konstrukcji, że zmniejszeniu uległy ich rozmiary, co pozwoliło na ich szersze zastosowanie w oświetleniu domowym. Ich wadą jest to, że podobnie jak typowe świetłówki liniowe nie są odporne na częste cykle włączania i wyłączania, a zintegrowanie z elektronicznymi układami zasilania znacznie ogranicza ich czas życia i zmniejsza skuteczność świetlną η .

Współczesne lampy LED charakteryzują się skutecznością świetlną przekraczającą tę, którą oferują świetłówki. O ile cykle włączania/wyłączania są w zasadzie obojętne dla samych

diod LED (chip-ów) to elektronika zasilająca może mieć ograniczoną odporność na ten czynnik. Ponadto w zależności od konstrukcji zasilacza, może on wносить opóźnienie w czasie załączania [12]. Charakterystykę rozkładu widmowego białych lamp LED można uznać za ciągłą z pojedynczym maksimum w obrębie światła niebieskiego (niebieski chip LED, którego światło ma za zadanie wzbudzić żółty luminofor pełniący funkcję konwertera).

Promieniowanie optyczne i pola elektromagnetyczne źródeł światła są znanym potencjalnym zagrożeniem dla człowieka, a w szczególności dla oka i skóry [13,14].

Tabela 1. Charakterystyka współcześnie użytkowanych żarowych źródeł światła


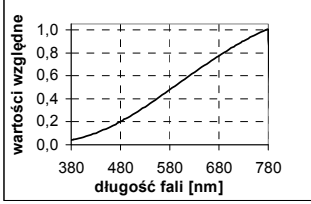

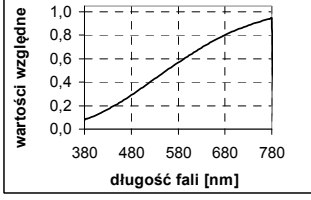
źródło światła	wygląd	przykładowy rozkład widmowy mocy promienistej	parametry
żarówka			skuteczność świetlna η - (6÷17) lm/W temperatura barwowa T_b - 2700 K strumień świetlny Φ - (90÷8300) lm czas życia - 1000 h wskaźnik oddawania barw R_a - 100
żarówka halogenowa			skuteczność świetlna η - (14÷22) lm/W temperatura barwowa T_b - (2900÷3000) K strumień świetlny Φ - (840÷44000) lm czas życia - 2500 h wskaźnik oddawania barw R_a - 100

Tabela 2. Charakterystyka współcześnie użytkowanych fluorescencyjnych źródeł światła


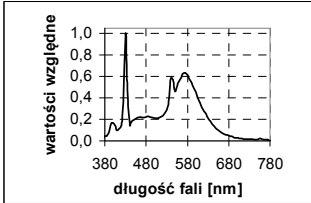


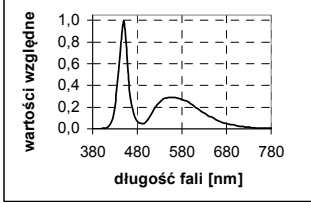
źródło światła	wygląd	rozkład widmowy mocy promienistej	parametry
świetlówka liniowa			skuteczność świetlna η - (60÷120) lm/W temperatura barwowa T_b - (2700÷8000) K strumień świetlny Φ - (200÷13000) lm czas życia - 20000 h wskaźnik oddawania barw R_a - (60÷90)
świetlówka kompaktowa			skuteczność świetlna η - (60÷70) lm/W temperatura barwowa T_b - (2700÷6500) K strumień świetlny Φ - (200÷13000) lm czas życia - 8000 h wskaźnik oddawania barw R_a - (60÷90)

Tabela 3. Charakterystyka współcześnie użytkowanych LED-owych źródeł światła

źródło światła	wygląd	przykładowy rozkład widmowy mocy promienistej	parametry
dioda LED (światło białe)			skuteczność świetlna η - (60÷120) lm/W temperatura barwowa T_b - (2200÷6500) K strumień świetlny Φ - (10÷1300) lm czas życia - (35000÷50000) h wskaźnik oddawania barw R_a - (60÷90)

Wpływ źródeł światła na zdrowie człowieka

Istnieje tzw. „zagrożenia światłem niebieskim” (ang. blue light hazard). Światło niebieskie, charakteryzujące się długością fali λ z zakresu (400÷500) nm, może negatywnie oddziaływać na narząd wzroku m.in. przez przyspieszone starzenie się siatkówki związane ze stresem oksydacyjnym. Fotochemiczne uszkodzenie siatkówki, jest jednym z możliwych negatywnych wpływów na organizm ludzki, niebieskiego składnika z zakresu widma światła emitowanego przez lampy LED. Jednakże, niebieskiego zakresu widma, nie można usunąć ze źródeł służących do oświetlania, gdyż jest ono niezbędne do prawidłowego oddawania barw i percepcji wzrokowej. Efekt biologiczny promieniowania zależy od rozkładu widmowego, ilości pochłoniętego promieniowania, czasu i częstotliwości ekspozycji oraz rodzaju ekspozowanej tkanki. Luminancja jest czynnikiem o dużym znaczeniu dla rozwoju uszkodzeń siatkówki. Szczególnie podatne na rozwój możliwych powikłań po ekspozycji na światło niebieskie są noworodki i niemowlęta oraz osoby cierpiące na fotodermatozy i związane z nimi pewne choroby autoimmunologiczne takie jak toczeń rumieniowaty lub mające zdiagnozowane określone patologie w obrębie gałki ocznej. Zgodnie z opracowaniem przedstawianymi przez Departament Energii Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej mimo, że produkty oświetleniowe oparte na technologii LED nie stwarzają większego zagrożenia niż inne technologie oświetleniowe o tej samej temperaturze barwowej, to jednak podczas ekspozycji na zlokalizowane w niewielkiej odległości od oka silne źródła jaskrawego światła lub światła innego niż białe w szczególności emitowanego przez niebieskie diody LED, powinno zachować się zwiększoną czujność [15]. Wnikliwej ocenie należy poddać wpływ zagrożenia światłem niebieskim szczególnie u małych dzieci, które nie w pełni rozwinęły jeszcze mechanizmy obronne takie jak mruganie powiekami lub odwracanie głowy od źródła intensywnego światła oraz u osób z afakią, czyli brakiem soczewki oka na skutek operacyjnego jej usunięcia lub wady wrodzonej i pseudofakii po wszczepieniu sztucznej soczewki do oka operowanego na zaćmę. Obecny stan wiedzy dotyczący mechanizmów fototoksycznego wpływu światła niebieskiego jest wciąż daleki od doskonałości. Przedmiotem intensywnych badań naukowych jest wpływ przewlekłej ekspozycji siatkówki oka na małe dawki światła niebieskiego. Badania przeprowadzone na szczurach, wykazały, że w porównaniu z oświetleniem lampami fluorescencyjnymi, po ekspozycji na światło emitowane przez LED-y, dochodzi do zwiększonej produkcji wolnych rodników tlenowych i związanej z tym przyspieszonej apoptozy i nekrozy fotoreceptorów [16]. Uszkodzenie siatkówki, było szczególnie nasilonie po zastosowaniu niebieskich diod LED emitujących światło o maksimum przypadającym na długość fali λ wynoszącą 460 nm. Światło odgrywa też istotną rolę w regulacji rytmu dobowego, głównie poprzez zahamowanie produkcji melatoniny, nazywanej również „hormonem snu lub ciemności”. Wykazano, że supresja syntezy melatoniny w szyszynce ma związek z pobudzeniem przez bodziec świetlny fotoreceptorów zawierających światłoczułą melanopsynę w komórkach zwojowych siatkówki (intrinsically photoreceptive retinal ganglion cells - ipRGCs). Czulość widmowa melanopsyny przyjmuje największą wartość przy długości fali λ około 480 nm, co odpowiada barwie niebiesko-zielonej światła [17]. Silnie oddziałujące na siatkówkę źródła światła emitujące promieniowanie niebieskie, zależne od poziomu luminancji, mogą nasilać efekty pozawzrokowego oddziaływania światła [18]. Przy projektowaniu systemów oświetleniowych należałoby więc

uwzględniać pozawzrokowe mechanizmy oddziaływania światła na organizm człowieka. Należy przy tym wziąć pod uwagę fakt, że np. wydajność osób pracujących w godzinach nocnych przy jaskrawym oświetleniu emitowanym z niebieskich źródeł światła wzrośnie, jednakże będzie to związane z zaburzeniami rytmu dobowego i snu, które mogą prowadzić do poważnych konsekwencji zdrowotnych. Źródła światła oparte na technologii LED umożliwiają sterowanie rozkładem widmowym emitowanego promieniowania i dzięki temu kontrolowanie pozawzrokowych oddziaływań światła na organizm. Może to np. odgrywać rolę w terapii schorzeń związanych z dysfunkcją zegara biologicznego.

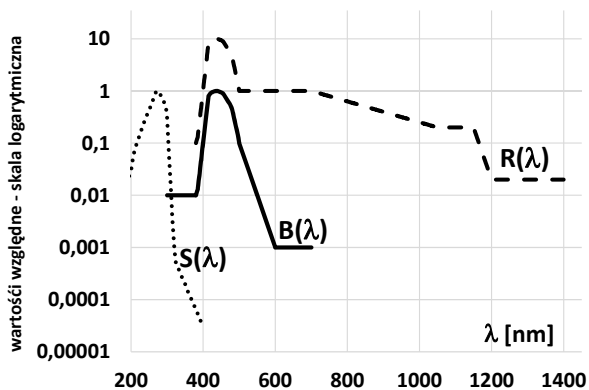
Obowiązujące na terenie UE akty prawne dotyczące zagadnień bezpieczeństwa fotobiologicznego wyrobów oświetleniowych

Bezpieczeństwo fotobiologiczne źródeł światła i opraw oświetleniowych opisują zalecenia zawarte w dokumentach: - CIE S009-2002 “Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems” [19], - ANSI/IES RP27 “Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps and Lamp Systems” [20] - IEC/EN 62471 “Photobiological Safety of Lamps and Luminaires” [21], której omówienie znalazło się w IEC/TR 62471-2 [22] oraz w IEC/TR 62778 [23]. W Polsce dokument IEC/EN 62471 znany jest jako norma PN-EN 62471 “Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych” [24]. Norma ta została zharmonizowana z dyrektywą 2006/95/EC [25] Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie harmonizacji ustawodawstwa państw członkowskich odnoszących się do sprzętu elektrycznego przewidzianego do stosowania w określonych granicach napięcia (Dz. Urz. UE L 374 z dnia 27.12.2006). Wynika z niej konieczność klasyfikowania zamienników ze względu na stopień ryzyka dla zdrowia, potencjalnie związanego z ich stosowaniem. Przy dokonywaniu oceny, czy produkt jest bezpieczny, uwzględnia się bezpośrednie lub odsunięte w czasie skutki używania produktu (w tym stopień i prawdopodobieństwo utraty zdrowia lub życia przez konsumentów) oraz stopień narażenia poszczególnych kategorii konsumentów oraz możliwość prawidłowej oceny ryzyka przez konsumentów i możliwości jego uniknięcia. Według PN-EN 62471 wyróżnia się cztery grupy ryzyka (tabela 4). Ryzyko ujęte w normie PN-EN 62471 jest związane z możliwością uszkodzenia siatkówki, do czego może dojść na drodze fotochemicznej lub termicznej. W każdym przypadku ryzyko jest uzależnione od długości fali światła (rys. 3). Z rysunku 3 wynika, że światło niebieskie w zakresie długości fali (400÷500) nm może nieść ze sobą nawet 10-cio krotnie większe ryzyko uszkodzenia termicznego siatkówki niż światło w zakresie długości fali (500÷700) nm. W związku z czym, różne źródła światła mogą odznaczać się odmiennym charakterem i stopniem zagrożenia. Ryzyko to jest również warunkowane również czasem ekspozycji oraz kątem brylowym w którym emitowane jest promieniowanie (gęstość mocy). Na przykład długotrwałe obserwacje rozproszonego na ścianie światła niebieskiego (np. pochodzącego od opraw LED) nie wiąże się z tak dużym ryzykiem jak nawet krótkotrwała ekspozycja na silnie skolimowaną wiązkę światła ze źródła żarowego o dużej mocy. Będzie tak, pomimo że w przypadku źródeł żarowych, udział promieniowania z zakresu niebieskiego jest stosunkowo niewielki w całej mocy promienistej. Należy również mieć na uwadze, że współczesne źródła światła to często zaawansowane układy elektro-optyczne, które mogą zarówno podnosić jak i obniżać stopień ryzyka (np. zasilanie impulsowe lub optyka skupiająca/rozpraszająca

światło). Dodatkowo należy pamiętać, że pomiary gęstości mocy promieniowania [26] należy przeprowadzać dla takich warunków oświetleniowych - odległości fotometrycznej, przy której natężenie oświetlenia E wynosi 500 lx, i zarazem jest ona nie mniejsza niż 20 cm. W związku z tym, przynależność do danej grupy ryzyka powinna być rozpatrywana zawsze na poziomie finalnego produktu, a nie komponentów składowych.

Tabela. 4. Klasyfikacja stopnia ryzyka lamp i systemów lampowych wg PN-EN 62741

Grupa ryzyka	Stopień ryzyka	Uwagi
wolna od ryzyka	brak	w możliwych do przewidzenia warunkach mamy do czynienia z brakiem ryzyka
1	niskie	w razie narażenia ryzyko jest ograniczone przez normalne ograniczenia behawioralne
2	umiarkowane	ryzyko jest ograniczone przez reakcje awersyjne na bodziec świetlny pochodzący od jaskrawych źródeł
3	wysokie	nawet w przypadku krótkiego narażenia może występować ryzyko



Rys. 3. Funkcje skuteczności widmowej, na podstawie których określa się stopień ryzyka związany z promieniowaniem elektromagnetycznym, gdzie $R(\lambda)$ – krzywa dotycząca uszkodzenia termicznego siatkówki oka, $B(\lambda)$ – krzywa dotycząca uszkodzenia fotochemicznego siatkówki oka, $S(\lambda)$ – krzywa dotycząca zagrożenia fotochemicznego nadfioletem

Autorzy: dr hab. inż. Irena Fryc, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroenergetyki, Fotoniki i Techniki Świetlonej, 15-351 Białystok, ul. Wiejska 45d, E-mail: i.fryc@pb.edu.pl; dr Justyna Fryc, Uniwersytet Medyczny w Białymstoku, Wydział Lekarski z Oddziałem Stomatologii i Oddziałem Nauczania w Języku Angielskim, ul. Jana Kilińskiego 1, 15-089 Białystok, E-mail: justyna.fryc@umb.edu.pl; mgr inż. Piotr Jakubowski, członek Polskiego Komitetu Oświetleniowego SEP, E-mail: piotr.jakubowski@gmail.com, dr Krzysztof Andrzej Wąsowski, Uniwersytet Warszawski, Wydział Prawa i Administracji, Instytut Nauk Prawno-Administracyjnych, Katedra Prawa i Postępowania Administracyjnego, 00-927 Warszawa, ul. Krakowskie Przedmieście 26/28, E-mail: k.wasowski@wpia.uw.edu.pl

LITERATURA

[1] Dyrektywa 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 lipca 2005 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących eko-projektu dla produktów wykorzystujących energię. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej Nr L 190 z dnia 22 lipca 2005 r

- [2] Guide on the Importance of Lighting, (2011), http://www.lightingeurope.org/uploads/files/CELMA_ELC_Guid_e_Importance_Lighting_June_2011.pdf
- [3] Tomczykowski J., Zużycie energii elektrycznej na cele oświetleniowe w gospodarstwach domowych, *Energia Elektryczna*, (2010), nr 1
- [4] Energie et patrimoine communal, 2005, ADEME
- [5] Czyżewski D., Zamienniki LED klasycznych żarówek, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2012), nr 11a, 123-127
- [6] Czyżewski D., Zamienniki LED klasycznych żarówek (2), *Przegląd Elektrotechniczny*, (2015), nr 2, 199-204
- [7] Rozporządzenie Komisji Wspólnoty Europejskiej nr 244/2009 z dnia 18 marca 2009 r. w sprawie wykonania dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wymogów dotyczących eko-projektu dla bezkierunkowych lamp do użytku domowego
- [8] EUROPA 2020 Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu, (2010), program rozwoju społeczno-gospodarczego Unii Europejskiej (UE) na lata 2010-2020, http://ec.europa.eu/eu2020/pdf/1_PL_ACT_part1_v1.pdf
- [9] Żagan W., Rozważania teoretyczne o skuteczności świetlnej i oddawaniu barw przez źródła światła, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2013), R. 89, nr 10, 284-286
- [10] Publikacja CIE 177:2007, Colour Rendering of White LED Light Sources
- [11] Fryc I., Fryc J., Wąsowski K., A., Rozważania o jakości oddawania barw źródeł światła, wyrażanej wskaźnikiem Ra (CRI), uwzględniające fizjologię widzenia oraz zagadnienia techniczno-prawne; *Przegląd Elektrotechniczny*, (2016); R. 92 nr 2, 218-223
- [12] Fryc I., Wpływ modulacji impulsu zasilającego LEDa na parametry świetlne emitowanego promieniowania, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2012) nr 6, 131-133
- [13] Wojska A., Latała A., Pawlak A., Bezpieczeństwo fotobiologiczne wybranych źródeł światła stosowanych do celów oświetleniowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2012), nr 6, 259-263
- [14] Pawlak A., Bezpieczeństwo fotobiologiczne zamienników żarówek, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, (2015), z. 269, 67-81
- [15] http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/optical_safety_fact_sheet.pdf
- [16] Shang YM, Wang GS, Sliney D, Yang CH, Lee LL., White light-emitting diodes (LEDs) at domestic lighting levels and retinal injury in a rat model. *Environ Health Perspect.* (2014); 122(3), 269-76
- [17] Panda S1, Nayak SK, Campo B, Walker JR, Hogenesch JB, Jegla T., Illumination of the melanopsin signaling pathway, *Science*, (2005); 307(5709), 600-604.
- [18] West KE, Jablonski MR, Warfield B, Cecil KS, James M, Ayers MA, Maida J, Bowen C, Sliney DH, Rollag MD, Hanifin JP, Brainard GC., Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans, *J Appl Physiol.* (2011); 110(3), 619-26
- [19] Publikacja CIE S009-2002, Photobiological Safety of Lamps and Lamp Systems
- [20] ANSI/IES RP27, Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps and Lamp Systems
- [21] IEC/EN 62471:2006, Photobiological Safety of Lamps and Luminaires (2006)
- [22] IEC/TR 62471-2, Photobiological safety of lamps and lamp systems - Part 2: Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety, (2009)
- [23] IEC/TR 62778, Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires, (2014)
- [24] PN-EN 62471:2010 Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych
- [25] Dyrektywa 2006/95/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstwa państw członkowskich odnoszących się do sprzętu elektrycznego przewidzianego do stosowania w określonych granicach napięcia
- [26] Pietrzykowski J., Aspekty metrologiczne stosowania Normy PN-EN 62471 Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, (2012), zeszyt 255, 45-52