

Elektryczne źródła światła - wpływ na zdrowie człowieka

Streszczenie. Podstawowym zadaniem elektrycznych źródeł światła jest generowanie promienia widzialnego o właściwej charakterystyce widmowej. Jednak emitują one także pole elektryczne i magnetyczne o różnicowanej charakterystyce częstotliwościowej i poziomach, jak również są źródłami promieniowania optycznego, które może być szkodliwe dla zdrowia.

Abstract. The main task of electrical light sources is to generate visible light. However, they also emit electric and magnetic fields of diverse frequency characteristics and levels, as well as they are sources of optical radiation harmful to health. **Influence of the electric light into human health**

Słowa kluczowe: elektryczne źródła światła, pole elektromagnetyczne, promieniowanie optyczne.

Keywords: electric light sources, electromagnetic field, optical radiation.

Wstęp

Niewątpliwie przełomową dla historii ludzkości chwilą okazało się odkrycie ognia. Wówczas, odkąd człowiek nauczył się go wykorzystywać, ewolucja nabrała tempa. Zaczęło się od ogniska, potem pojawiły się świece, lampy naftowe (głównie dzięki Ignacemu Łukasiewiczowi), w końcu żarówka (przypisywane Edisonowi, choć pierwszą, z włóknem węglowym, opatentował w 1845 r. John W. Starr) i energooszczędne źródła światła.

Zasadniczo do roku 1990 z trzonkiem E27 lub E14 dostępne były w Polsce żarówki tradycyjne o mocy 60 W, 75 W i 100 W. Wprowadzane od kilku lat tzw. żarówki energooszczędne, czyli de facto urządzenia oświetleniowe (źródło światła razem z układem zapłonowym, czy zasilającym) wypierają żarówki. Jednym z głównych powodów stosowania żarówek energooszczędnych jest zmniejszenie poboru prądu. Mają więc one odpowiednio mniejszą moc, np. w przybliżeniu odpowiednikiem żarówki 60 W jest 12 W źródło energooszczędne i odpowiednio: 75 W – 16 W i 100 W – 20 W. Jednak nabywając „żarówkę” energooszczędną należy zwrócić także uwagę na strumień świetlny, barwę światła i kąt padania, czego nie brało się pod uwagę przy żarówkach tradycyjnych. Większość producentów podaje te parametry na opakowaniu.

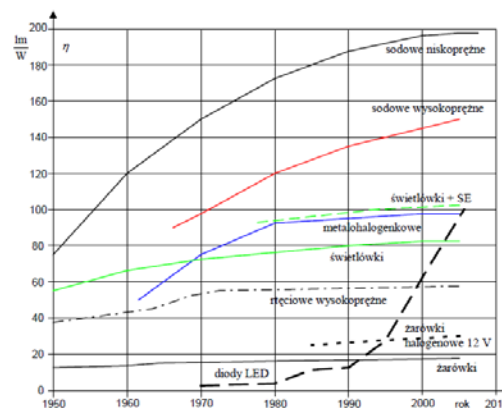
Energooszczędne źródła światła mogą być jednak źródłem promieniowania elektromagnetycznego: zarówno pól elektromagnetycznych, promieniowania podczerwonego, widzialnego oraz nadfioletowego, które jest niepożądane. Może ono mieć negatywny wpływ na stan zdrowia człowieka oraz na funkcjonowanie urządzeń elektronicznych - zależnie od parametrów amplitudowo-częstotliwościowych natężenia składowych tego promieniowania. Również promieniowanie widzialne o nieodpowiednich parametrach może mieć niekorzystny wpływ na stan zdrowia i zdolność do pracy.

Elektryczne źródła światła

Technika pierwszych elektrycznych źródeł światła w niewielkim stopniu uwzględniała skuteczność świetlną źródeł oraz własności barwowe światła, czyli czynniki, które obecnie mają pierwszorzędne znaczenie. Rysunek 1 poglądowo przedstawia rozwój skuteczności świetlnej wybranych źródeł światła w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat. Przedstawione linie są zbliżone do górnej granicy pasm obejmujących pełen zakres wartości skuteczności świetlnej źródeł [1].

Podstawowym zadaniem źródeł światła jest generowanie promieniowania widzialnego o właściwej dla danego miejsca charakterystyce widmowej. Należy też uwzględnić m.in. takie ich parametry, jak: temperatura

barwowa, strumień świetlny, wskaźnik oddawania barw (CRI), czy skuteczność świetlna. Na rysunku 1 przedstawiono wykres ewolucji skuteczności świetlnej wybranych elektrycznych źródeł światła.



Rys.1 Ewolucja skuteczności świetlnej wybranych źródeł światła (SE – statecznik elektroniczny) [1]

Dyrektywą 2005/32/WE [2] Unia Europejska nakazała wycofanie z rynku tradycyjnych żarówek o mocy powyżej 7 W ze względu na ich energochłonność, zastępując je „żarówkami energooszczędnymi”. Jednak jednym z mankamentów jest to, że muszą być utylizowane ze względu na ich szkodliwość dla otoczenia. Przy produkcji nowoczesnych świetlówek używa się od 1 do 5mg rtęci [3].

W miejsce standardowych żarówek (o trzonkach z gwintem E27 lub E14) mogą być stosowane żarówki halogenowe na napięcie 230 V, świetlówek kompaktowe i lampy LED w wersji zintegrowanej.

Żarówka

Dzisiejsza żarówka, mimo iż różni się nieco od tej z XIX w., to jej idea i podstawowe elementy pozostały bez zmian. Elementem świecącym jest żarnik ze stopu wolframowego, który pod wpływem przepływającego prądu elektrycznego nagrzewa się do 2800 °C, powodując żarzenie. Ok. 5% tej energii zostaje przeznaczona na światło widzialne, reszta zaś jest tracona w emisji ciepła przez promieniowanie, konwekcję i przewodność – stąd jej energochłonność. Powierzchnie zewnętrzne żarówek, zależnie od położenia pracy, osiągają temperatury od 65 nawet do 260 °C dla żarówki o mocy 100 W, a żarówek halogenowych 12 V jeszcze większe [1].

Żarówki halogenowe

Pomysł odwracalnego cyklu halogenowego został praktycznie zastosowany w 1959 r. Żarówki halogenowe posiadają żarnik wolframowy, są wypełnione gazem szlachetnym z niewielką ilością halogenu, który regeneruje żarnik, przeciwdziałając jego rozpylaniu, a tym samym ciemnieniu bańki od wewnętrznej strony. Żarówki te cechuje bardzo dobre oddawanie barw – wskaźnik Ra wynosi 98-100, ponadto osiągają do 25% wyższą skuteczność świetlną oraz 2-3 razy większą trwałość od tradycyjnych żarówek, zużywając przy tym do 30% mniej energii elektrycznej.

Świetlówki kompaktowe zintegrowane

Pierwsze odmiany świetlówek kompaktowych wiernie imitowały kształt żarówek. Następnie powstały się liczne odmiany, również o innych kształtach.

Strumień świetlny w świetlówkach kompaktowych powstaje dzięki przetwarzaniu przez warstwę luminoforu promieniowania nadfioletowego na promieniowanie widzialne o zadanym rozkładzie widmowym. Różnorodność kształtu, wymiarów i wartości emitowanego strumienia świetlnego świetlówek kompaktowych stwarza szerokie możliwości ich wyboru.

Zaletą świetlówek kompaktowych jest ich ok. pięciokrotnie mniejsze zużycie energii elektrycznej oraz nawet do piętnastu razy większa trwałość niż żarówek tradycyjnych. Mogą również emitować światło o temperaturze barwowej rzędu 2700 – 3000 K, czyli zbliżone do barwy światła żarówek. Wskaźnik oddawania barw jest na poziomie $Ra \geq 80$.

Jednak większość powszechnie dostępnych świetlówek kompaktowych wymaga po ich włączeniu aż kilkudziesięciu sekund na uzyskanie pełnego strumienia świetlnego.

LED

Diody elektroluminescencyjne LED (lighting emitted diode) są półprzewodnikowymi źródłami światła, emitującymi promieniowanie optyczne na zupełnie innej zasadzie niż konwencjonalne źródła. LED składa się z dwóch różnych bezpośrednio połączonych ze sobą półprzewodników, charakteryzujących się różnym typem przewodnictwa. Dołączenie do złącza p-n napięcia stałego, polaryzującego go w kierunku przewodzenia, wymusza ruch nośników prądu elektrycznego. W zależności od rodzaju materiału półprzewodnika jest emitowane promieniowanie o określonej długości fali [4]. Diody LED wytwarzają promieniowanie w bardzo wąskim zakresie widma o szerokości nieprzekraczającej kilkunastu nanometrów, co oznacza, że w praktyce są źródłami światła monochromatycznego. Światło białe jest wrażeniem wzrokowym, które odczuwa człowiek w wyniku pobudzenia siatkówki oka światłem o widmie pasmowym o częstotliwościach odpowiadających wrażliwości komórek oka dla całego zakresu promieniowania widzialnego.

W dostępnych na rynku oprawkach LED najczęściej stosowane są diody o mocy od 1 do 5W, a zależnie od rodzaju użytej soczewki kąt świecenia może wynosić od 10 do 160 stopni, co umożliwia praktycznie dowolną aranżację świetlną wewnątrz.

Lampy wyładowcze

Lampy wyładowcze to cała paleta lamp składającą się z lamp metalohalogenkowych oraz sodowych nisko i wysokoprężnych, a każde z tych źródeł cechuje się innymi parametrami oświetleniowymi oraz użytkowymi.

Do wytwarzania światła wykorzystują zjawisko luminescencji. Spośród różnych odmian tego zjawiska w lampach elektrycznych są wykorzystywane dwie:

elektroluminescencja i fotoluminescencja. Produkowane są lampy nisko- i wysokoprężne (HID). Pierwsze z nich mają ciśnienie cząstkowe głównego składnika atmosfery wypełniającej jarznik rzędu 1 Pa, drugie na ogół rzędu $10^5 \div 10^7$ Pa.

Zależnie od ośrodka, w którym następuje wyładowanie, lampy dzielone są na poszczególne kategorie: wysokoprężne lampy rtęciowe, wysokoprężne lampy sodowe oraz wysokoprężne lampy metalohalogenkowe. Lampy tego typu stosowane były głównie w oświetleniu zewnętrznym miejskim do oświetlenia drogowego, w oświetleniu terenów zielonych, czy obiektów sportowych oraz we wnętrzach, jako oświetlenie obiektów przemysłowych, galerii handlowych i w oświetleniu sklepowym. Lampy te mają bardzo wysoki strumień świetlny nawet do 200 tys. lm, wysoką skuteczność świetlną aż do 150 lm/W, wysoki współczynnik oddawania barw nawet $Ra = 93$ oraz trwałość dochodzącą do 55 tysięcy godzin. Jednak lampy wyładowcze, a szczególnie ich zasilacze, czy układy zapłonowo-stabilizujące, generują zakłócenia elektromagnetyczne (EMI) i mogą wymagać filtrów przeciwzakłóceń, ekranowania lub innych środków zapobiegawczych [1]. Zużyte lampy wyładowcze powinny być poddawane recyklingowi w odpowiednich zakładach.

Żarówki indukcyjne

Zjawisko, w którym środowisko wyładowcze jest pobudzane do emisji promieniowania przez działanie pola elektromagnetycznego o częstotliwości radiowej lub mikrofalowej, wytwarzanego przez wzbudnik w postaci cewki, nazywane jest światłem indukcyjnym.

Lampy indukcyjne nie posiadają wewnątrz naczynia wyładowczego elektrod, przez co uzyskują znacznie wyższą trwałość od lamp o klasycznej konstrukcji. Zasada ich pracy jest podobna do świetlówek, różni się natomiast sposobem pobudzania środowiska wyładowczego. Podobnie jak źródła światła fluorescencyjne, w większości generują wyładowanie UV w środowisku wyładowczym składającym się z gazów szlachetnych i rtęci. Następnie jest ono transformowane na obszar widzialny widma za pomocą luminoforu naniesionego na bańkę zewnętrzną. Jonizacja gazów w rurce wyładowczej uzyskiwana jest w procesie indukcji elektromagnetycznej pola wysokiej częstotliwości [5].

Działanie opiera się na dwóch zjawiskach:

- indukcji elektromagnetycznej w bańce lampy,
- promieniowaniu w parach rtęci o niskim ciśnieniu.

Promieniowanie UV wytwarzane jest przez pole magnetyczne uzyskiwane dzięki odpowiedniemu skonstruowaniu cewek zasilanych elektronicznym układem zasilającym pracującym w wysokiej częstotliwości [6].

Żarówki takie stosowane są do oświetlenia wewnętrznego i zewnętrznego tam, gdzie jest szczególnie utrudniona i kosztowna wymiana lamp, a oświetlenie powinno być niezawodne (np. wysokie maszyny i kominy).

Wymagania dotyczące parametrów użytkowych

Do parametrów użytkowych źródeł światła należą: moc źródła [W], strumień świetlny [lm], skuteczność świetlna [lm/W], trwałość [h], temperatura barwowa [K] oraz wskaźnik oddawania barw Ra (CRI). Można tu również zaliczyć klasę efektywności energetycznej (od A do G), minimalną liczbę cykli wyłączeniowych oraz czas nagrzewania. Podstawowe parametry dla wybranych źródeł światła przedstawiono w tabeli 1.

Sprawność energetyczna źródła światła, czyli stosunek energii wyemitowanej przez źródło w postaci światła do pobranej energii elektrycznej można obliczyć z zależności:

$$\eta_E = \frac{E_{sw}}{E_{el}} = \frac{\eta}{\max(\eta)}$$

Przy doborze barwy światła, ogólną zasadą jest stosowanie światła o barwie cieplejszej (niska temperatura barwowa) [7] w pomieszczeniach, w których ważny jest komfort np. w pomieszczeniach rekreacyjnych oraz mieszkaniach. Natomiast światło o chłodnej barwie (wysoka temperatura barwowa) należy stosować tam, gdzie wymagane są wysokie poziomy natężenia oświetlenia (powyżej 750 lx) [8].

Dla użytkownika ważny jest też czas nagrzewania lampy. Na podstawie wyników badań [9] stwierdzono, iż w przypadku świetlówek czas ten nie przekraczał 48 s, natomiast dla pozostałych lamp wynosił 0 s. Czas stabilizowania się strumienia świetlnego w przypadku dwóch świetlówek nastąpiła po ok. 15 minutach, dla jednej świetlóweki proces ten trwał ponad 30 minut (ze względu na zastosowany amalgamat rtęci). W przypadku badanych lamp LED, mimo iż charakteryzowały się natychmiastowym czasem nagrzewania ($t_{60\% \Phi} = 0$ s), proces stabilizacji strumienia świetlnego nie był zakończony nawet po upływie 30 minut.

Tabela 1. Porównanie parametrów wybranych elektrycznych źródeł światła

Parametr	Lampy indukcyjne	Świetłówki o jakości			Żarówki
		wysokiej	przeciętnej	niskiej	
Trwałość [h]	do 60 000	12000-15000	ok. 6000	ok. 2000	1000
Skuteczność świetlna [lm/W]	do 70	50-65	30-50	20-30	12-15
Temp. barwowa	3000, 4000	2700-3000	3300-5300	5000-6000	2100-3000
Wskaźnik oddawania barw	> 80	do 95	ok. 80	40-60	100
Wrażliwość na temp. otoczenia	niska	duża	duża	duża	brak
Wrażliwość na częste wyłączenie	niska	niska	średnia/duża (skrócenie trwałości)	duża	brak
Czas pełnego uzyskania strumienia świetlnego	natychmiast	kilka - kilkanaście sekund	kilka minut	kilkanaście minut	natychmiast
Negatywne oddziaływanie na sieć		niewielkie odkształcanie przebiegu napięcia	odkształcanie przebiegu napięcia	znaczne odkształcanie przebiegu napięcia	brak
Zanieczyszczenie środowiska	rtęć	rtęć	rtęć	rtęć	brak

Zagrożenia eksploatacji urządzeń oświetleniowych

Urządzenia oświetleniowe wytwarzają pola elektryczne i magnetyczne o zróżnicowanej charakterystyce częstotliwościowej i poziomach. Są one przede wszystkim źródłem promieniowania z zakresu światła widzialnego, ale niektóre źródła światła wykorzystywane do celów oświetleniowych są również źródłami promieniowania z zakresu UV, które może być szkodliwe dla zdrowia. Drugim niekorzystnym czynnikiem, jest promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwościach do 300 GHz, które występują przy źródłach pola i promieniowania elektromagnetycznego, emitujących fale o długości powyżej 1 mm, nierejestrowane bezpośrednio przez wzrok człowieka i niewywołujące jonizacji ośrodka, przez który przechodzą [10].

Wartości graniczne ekspozycji, technikę pomiarów kontrolnych i schemat klasyfikacji do oceny oraz kontroli zagrożeń fotobiologicznych od wszystkich szerokopasmowych źródeł promieniowania niekoherentnego określono w normie [11]. Kryteria oceny zagrożenia zdrowia promieniowaniem optycznym oraz wartości graniczne ekspozycji określają Rozporządzenie MPiPS z dnia 29 lipca 2010 r. [12] oraz dyrektywa 2006/25/WE [13].

Większość źródeł światła „energooszczędnych” objętych badaniami w [8] zaklasyfikowano do grupy niskiego lub umiarkowanego ryzyka. Ekspozycja na promieniowanie optyczne tych źródeł nie jest bezpieczna przez dowolnie długi okres czasu i mogą one potencjalnie stwarzać ryzyko ze względu na zagrożenie fotochemiczne lub termiczne siatkówki oka oraz aktywność UV oka i skóry. Istotny wpływ na występowanie określonego zagrożenia dla zdrowia ma odległość źródła od ekspozycyjnych części ciała. Z tego powodu wyznaczane są graniczne odległości bezpieczne.

Najkrótsze dopuszczalne czasy ekspozycji (zagrożenie siatkówki oka światłem niebieskim) występują dla źródeł LED: od 10-142 s, a następnie dla żarówek halogenowych 57-307 s. Najdłuższy maksymalny dopuszczalny czas

ekspozycji wyniósł 53,22 minuty dla źródła LED – PARATHOM GLOBE G95 3W, WW firmy OSRAM.

Pomiary emisji elektromagnetycznych urządzeń oświetleniowych

Tradycyjne żarówki wytwarzają sinusoidalnie zmienne pole magnetyczne i elektryczne o częstotliwości przemysłowej (50 Hz). W widmie częstotliwości emitowanego pola brak zarówno wyższych harmonicznych częstotliwości przemysłowej, jak i pól z zakresu średnich częstotliwości. Pole magnetyczne przy żarówkach tego typu przekracza Poziom 0 jedynie bezpośrednio przy żarówce, natomiast w odległości 15 cm wszystkie składowe pola magnetyczne nie przekraczają granicy Poziomu 0 [8].

Zaden zamiennik (urządzenia świetlne nieżarowe) nie posiada zbliżonych do żarówki lub lepszych właściwości w zakresie parametrów pól elektromagnetycznych ocenianych ze względu na poziom ich oddziaływania na ludzi. Tylko świetłówki umieszczone w oprawach metalowych spełniają kryterium nie przekraczania granicy Poziomu 0 we wszystkich przypadkach.

Świetłówki kompaktowe zintegrowane oraz diody elektroluminescencyjne wytwarzają pole elektromagnetyczne o częstotliwości podstawowej 50 Hz lub 100 Hz z dużą zawartością wyższych harmonicznych, o przebiegu ciągłym. Pola te są wytwarzane przez układy zasilania źródeł światła. Dodatkowo, świetłówki kompaktowe wytwarzają pola o częstotliwościach podstawowych z pasma 10-75 kHz, również o przebiegu ciągłym wskutek procesu elektroluminescencji i wyładowań gazowych.

Dla świetlówek kompaktowych poziom pola elektrycznego niskiej częstotliwości jest porównywalny z poziomem pola emitowanym przez żarówki i w odległościach powyżej 50 cm osiąga typowe wartości występujące w otoczeniu układów i instalacji zasilającej 230 V (od kilku do kilkunastu V/m).

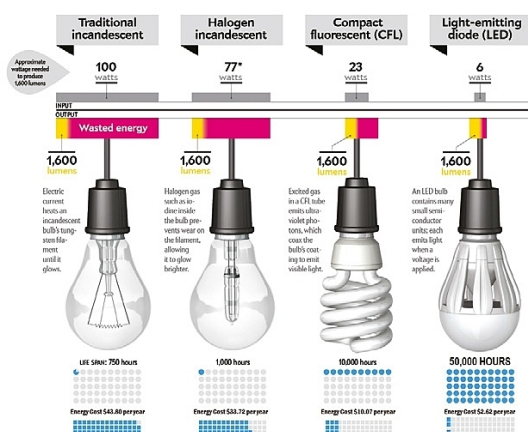
W przypadku źródeł LED i halogenowych poziom emisji pola magnetycznego jest porównywalny z emisją żarówek i nie przekracza poziomów uznawanych za bezpieczne z

punktu widzenia przepisów BHP. Natężenie pola elektrycznego, z uwagi na zasilanie źródeł napięciem 230 V, nie odbiega od poziomów występujących przy innych układach i instalacjach zasilających 230 V [8].

Zgodnie z dyrektywą unijną 2006/25/WE [13] wzrok należy chronić w takim samym stopniu przed promieniowaniem widzialnym emitowanym przez LEDy jak i przed promieniowaniem laserowym. W związku z tym każda dioda świecąca musi mieć swój własny układ świetlny-optyczny.

Wnioski

Od września 2009 roku wprowadzono zakaz sprzedaży tradycyjnych żarówek 100-watowych, od września 2010 – 75-watowych, od 2011 – 60-watowych, a od 2012 – wszystkich. Fluorescencyjna świetlówka kompaktowa, nazywana potocznie „żarówką energooszczędną” nie jest idealnym rozwiązaniem, ale nie ma w tej chwili konkurencyjnej alternatywy. Mogłyby nią stać się LED-y, pod warunkiem obniżenia ceny. Od pewnego czasu dostępne są świetlówki z wymiennymi elementami. Po zużyciu fragmentu świecącego (spirali), można dokupić nowy, bez konieczności wymiany zarówno trzonka jak i całej elektroniki. Zaletą takiego rozwiązania jest znaczna oszczędność materiałów, pieniędzy i środowiska. Na rysunku 2 przedstawiono porównanie parametrów różnych elektrycznych źródeł światła.



Rys. 2. Porównanie cech i parametrów różnych źródeł światła (dane amerykańskiego Departament Energetyki) [14]

Nadal trudnym i skomplikowanym problemem jest utylizacja i recykling zużytych świetlówek, a zawartość rtęci stanowi dodatkowy kłopot. Pytanie, czy zysk ekologiczny wynikający ze zmniejszenia zużycia energii, rekompensuje środowiskowe koszty wyprodukowania i utylizacji tych źródeł światła.

Pola elektromagnetyczne układów zasilających źródła światła mają częstotliwości z pasma 50-1000 Hz, ze względu na zniekształcenia harmoniczne.

Na podstawie badań [6] można stwierdzić, że:

- wszystkie zamienniki klasycznych żarówek emitują pole elektromagnetyczne o częstotliwościach przekraczających 50 Hz, jakich nie emitują żarówki,
- wszystkie urządzenia oświetleniowe emitują pole elektryczne małych częstotliwości, przekraczające Poziom 0. Można ograniczyć jego oddziaływanie, stosując ekranowanie opraw oświetleniowych i instalacji zasilającej lub zwiększanie odległości do kilku metrów od opraw oświetleniowych i instalacji zasilającej,
- w przypadku świetlówek zintegrowanych występuje pole elektryczne średnich częstotliwości znacznie przekraczające Poziom 0 – dlatego nie powinny być stosowane w oprawach oświetlenia miejscowego,

- źródła LED i halogenowe emitują pole magnetyczne małej częstotliwości, które jest porównywalne z poziomem pola magnetycznego żarówek; nie występuje tu jednak emisja pól elektromagnetycznych średnich częstotliwości. Dlatego takie źródła światła powinny być wykorzystywane przy oświetleniu miejscowym.

Zalecanym w [8] środkiem ochrony przed promieniowaniem elektromagnetycznym jest instalowanie opraw oświetleniowych w odpowiedniej odległości od stanowisk pracy.

Jak widać nie ma optymalnego źródła światła, ekonomika produkcji łączy się z kosztami eksploatacji. Widmo ciągłe i relatywnie niska temperatura barwowa są przeciwstawiane widmu pasmowemu i odpowiadającej mu wysokiej temperaturze barwowej światła. Trwałość przestaje być wynikiem czynników technicznych, które muszą ustąpić miejsca opacznie pojmowanej ekonomii. Wobec bardzo szybkiego rozwoju, wpływ nowoczesnych źródeł światła, na organizm ludzki nie jest jeszcze dogłębnie rozpoznany, aczkolwiek można wnioskować, że im są one bardziej wydajne i skomplikowane tym zagrożenie, tak na etapie eksploatacji, jak produkcji utylizacji, może być większe.

Autorzy: dr inż. Agnieszka Wantuch, Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki, e-mail: awantuch@agh.edu.pl; dr inż. Mirosław Janowski, Katedra Surowców Energetycznych, AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza al. Mickiewicza 30, 30-065 Kraków, e-mail: janowski@agh.edu.pl

LITERATURA

- [1] Musiał E., Przegląd elektrycznych źródeł światła. Główne właściwości i tendencje rozwojowe, Biul. SEP INPE *Informacje o normach i przepisach elektrycznych*, 79 (2006), 3-66
- [2] 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)
- [3] www.steruj.pl/artykuly/1/68-wietlowki-mity-i-fakty (13.04.2015)
- [4] http://przemyslawtabaka.info/materialy/EL_EN_L/zrodla_kol.pdf (13.04.2015)
- [5] www.zue.pwr.wroc.pl/download/lab_urzadzen/8.pdf (13.04.2015)
- [6] www.im.mif.pg.gda.pl/download/materialy_dydaktyczne/elektrotechnika_elektronika/11_elektryczne_zrodla_swiatla.pdf (13.04.2015)
- [7] Norma PN-EN 12464-1 Światło i oświetlenie miejsc pracy. Część 1. Miejsca pracy we wnętrzach
- [8] Ocena zagrożeń związanych z emisjami elektromagnetycznymi przy eksploatacji nowo wyprodukowanych urządzeń oświetleniowych, CIOP-BIP, Warszawa (2010)
- [9] Zalesińska M., Analiza porównawcza parametrów fotometrycznych i elektrycznych bezkierunkowych źródeł światła do użytku domowego, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, 255 (2012)
- [10] Strzyżewski J., Zagrożenia związane z użytkowaniem zamienników żarówek, *Elektroinstalator*, 2 (2013)
- [11] PN-EN 62471:2010 Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych
- [12] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 lipca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. (Dz. U. nr 141, poz. 950, 2010)
- [13] Dyrektywa 2006/25/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (sztucznym promieniowaniem optycznym) (Dz. Urz. UE Nr L 114 z 27.04.2006, str. 38)
- [14] http://ep.com.pl/artykuly/10301-Chlodzenie_LED_sredniej_i_duzej_mocy_jak_to_sie_robi_i_dlaczego_jest_to_wazne.html (16.11.2015)