

Krzysztof BARAN, Marcin LEŚKO, Henryk WACHTA
POLITECHNIKA RZESZOWSKA IM. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA,
Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

Badania laboratoryjne promieniowania UV wybranych energooszczędnych źródeł światła

Mgr inż. Krzysztof BARAN

Pracuje w Katedrze Energoelektroniki i Elektroenergetyki Politechniki Rzeszowskiej. Studia wyższe ukończył w 2011r. na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Obecnie jest uczestnikiem studiów doktoranckich i przygotowuje rozprawę doktorską z zakresu techniki świetlnej.



e-mail: kbaran@prz.edu.pl

Mgr inż. Marcin LEŚKO

Pracuje na stanowisku asystenta w Katedrze Energoelektroniki i Elektroenergetyki Politechniki Rzeszowskiej. Studia wyższe ukończył w 2011 roku na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej, gdzie następnie rozpoczął studia doktoranckie. Obecnie przygotowuje rozprawę doktorską z zakresu techniki świetlnej.



e-mail: mlesko@prz.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono problem związany z zastępowaniem źródeł żarowych przez źródła energooszczędne, głównie lampy fluorescencyjne, zgodnie z rozporządzeniem Komisji (WE) NR 244/2009. Promieniowanie ultrafioletowe emitowane przez źródła wyładowcze może stanowić zagrożenie dla użytkowników. Przeprowadzono badania sondażowe wybranych źródeł światła, które wykazały, że świetlówki dostępne na rynku nie stanowią istotnego zagrożenia ze względu na emisję UV, a produkty azjatyckie nie wykazują zwiększonego poziomu emisji w porównaniu do produktów europejskich.

Słowa kluczowe: promieniowanie UV, świetlówka kompaktowa, Rozporządzenie Komisji Europejskiej.

Laboratory investigations of ultraviolet radiation of selected energy-saving light sources

Abstract

In this paper there is presented the problem of replacing incandescent light sources by energy saving sources, especially by compact fluorescent lamps, in accordance with European Commission Regulation No 244/2009 [1]. Section 2 describes the principle of operation of a fluorescent lamp (Fig. 1). This lamp is a source of ultraviolet radiation (Tab. 1) [3] which can be a health threat for users. The UV spectrum has many effects, both beneficial and damaging, to human health. Section 3 characterizes these effects such as the production of vitamin D, the treatment of skin conditions, but also acute and chronic effects especially on the skin and eyes. Section 4 describes normative conditions of UV emission level and functionality conditions of compact fluorescent lamps according to the European Commission Regulation. Section 5 presents the detailed research method and results. There were measured two parameters: ultraviolet irradiance and illuminance, which were used to calculate the UV radiation emission level. For research there were used 20 W power compact fluorescent lamps with about 1200 lm luminous flux. The characteristics of UV emission depending on the radiating angle, the source distance and the voltage (Figs. 4-8) were obtained. There was performed a comparison of emission of different lamps, according to the producer, construction and color temperature (Figs. 9, 10). The research shows that the lamps offered in the market are not a crucial health threat for users, because their emission level is lower than that specified in regulations. Also the

Dr inż. Henryk WACHTA

Pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Energoelektroniki i Elektroenergetyki Politechniki Rzeszowskiej. Studia wyższe ukończył w 1993 roku na Wydziale Elektrotechniki Politechniki Rzeszowskiej. Doktorat z zakresu techniki świetlnej uzyskał w 2004 roku na Politechnice Warszawskiej. W 2007 roku uzyskał certyfikat Eksperta Polskiego Komitetu Oświetleniowego. Współautor dwóch patentów w dziedzinie konstrukcji opraw oświetleniowych. Prowadzi badania z zakresu wybranych problemów iluminacji architektonicznych.



e-mail: hwachta@prz.edu.pl

emission level of Asian products is not much higher than that of European products.

Keywords: UV radiation, compact fluorescent lamp, European Commission Regulation.

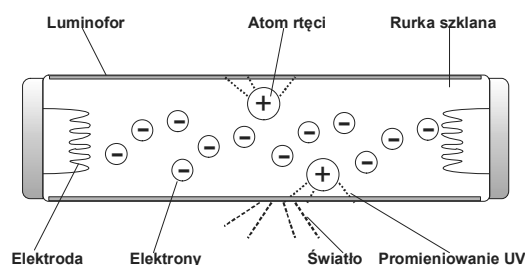
1. Wstęp

Potrzeba ograniczenia konsumpcji energii elektrycznej dotyczy wszystkich sektorów gospodarki, także odbiorców komunalnych. Głównym odbiornikiem energii elektrycznej w warunkach domowych jest oświetlenie. Działania proekologiczne doprowadziły do powstania regulacji prawnych, dotyczących wykorzystywania odpowiednich źródeł światła. Zgodnie z Rozporządzeniem Komisji (WE) NR 244/2009 z dnia 18 marca 2009 r. [1] w sprawie wykonania Dyrektywy 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy [2] nastąpiło stopniowe wypieranie energochłonnych źródeł żarowych, charakteryzujących się dużą emisją promieniowania termicznego oraz zastępowanie ich przez źródła energooszczędne.

Wprowadzanie wymogów następuje w sześciu etapach według przedstawionego harmonogramu. Docelowo planuje się całkowite wycofanie z produkcji źródeł żarowych. Na obecnym etapie rozwoju technologicznego najlepszą alternatywą dla źródeł temperaturowych są źródła wyładowcze, głównie rtęciowe lampy niskociśnieniowe. Źródła elektroluminescencyjne nie są obecnie jeszcze pełnoprawnymi zamiennikami żarówek. Z tego względu dla przeciętnego użytkownika najrozsądniejszym wyborem są kompaktowe lampy fluorescencyjne. Jednak warto zwrócić uwagę na poziom emisji promieniowania ultrafioletowego produktów dostępnych na rynku.

2. Zasada działania lampy fluorescencyjnej

Z zasady działania lampy fluorescencyjnej (rys. 1) wynika, że promieniowanie wytwarzane bezpośrednio z wyładowania elektrycznego, zachodzącego wewnątrz rury wypełnionej gazem szlachetnym, emitowane przez drgania par rtęci, stanowiących domieszkę gazu, jest głównie promieniowaniem nadfioletowym.



Rys. 1. Wyładowanie w lampie fluorescencyjnej
Fig. 1. Discharge process of a fluorescent lamp

Światło powstaje w warstwie luminoforu, pokrywającej wewnętrzne ściany rury wyładowczej, która zamienia promieniowanie ultrafioletowe na promieniowanie widzialne. Jednak promieniowanie UV nie jest całkowicie pochłaniane przez luminofor. Skuteczność przemiany zależy od właściwości zastosowanego materiału fluorescencyjnego.

Tab. 1. Bilans energetyczny przykładowej świetlówki
Tab. 1. Energy balance of the exemplary fluorescent lamp

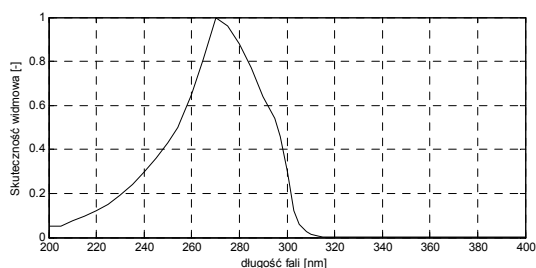
| 36 W (100%) | Wewnątrz świetlówki | Luminofor | Na zewnątrz świetlówki |
|--|---|-------------------------------|-------------------------------|
| | 16,4% straty mocy na ciepło w elektrodach | | 73% promieniowanie IR, ciepło |
| | 83,6% moc wyładowania | 18% straty mocy w wyładowaniu | |
| | | 62,5% promieniowanie UV | 37,5% promieniowanie IR |
| 0,5% promieniowanie UV | | | 0,5% promieniowanie UV |
| 24,4% światło wytworzone przez luminofor | | 27,6% światło | |
| 3,2% światło bezpośrednie z wyładowania | | | |

Z bilansu energetycznego, na przykładzie lampy o mocy 36 W [3], przedstawionego w tabeli 1, wynika, że moc promieniowania ultrafioletowego powstającego bezpośrednio z wyładowania stanowi ok. 62,5% mocy całkowitej lampy, natomiast moc promieniowania emitowanego na zewnątrz rurki, w której zachodzi wyładowanie, stanowi ok. 0,5% mocy całkowitej lampy. Wynika z tego, że luminofor nie zamienia w całości nadfioletu na promieniowanie widzialne, a więc lampy fluorescencyjne są źródłem promieniowania nadfioletowego, które może w pewnych przypadkach stanowić zagrożenie dla użytkowników.

3. Psychofizjologiczne oddziaływanie promieniowania UV na organizm człowieka

Promieniowanie ultrafioletowe zgodnie z PN-90/E-01005 [4] stanowi część widma promieniowania elektromagnetycznego o długościach fal z przedziału od 100 do 400 nm, przy czym wyróżnia się trzy pasma: UVA (nadfiolet bliski długości fal od 315 do 400 nm), UVB (nadfiolet średni 280 do 315 nm), UVC (nadfiolet daleki 100 do 280 nm). Promieniowanie UV pochodzi ze źródeł naturalnych, jest składową promieniowania słonecznego, jak również ze źródeł sztucznych, powstaje w procesach technologicznych, jest wytwarzane przez elektryczne źródła światła. Fale o długościach mniejszych niż 200 nm nie występują na stanowiskach pracy, gdyż są silnie pochłaniane przez atmosferę.

Promieniowanie ultrafioletowe jest najbardziej biologicznie czynnym promieniowaniem optycznym. Wywołuje szereg efektów o charakterze fotochemicznym w organizmie, zarówno korzystnych, jak również szkodliwych, co uwarunkowane jest długością fali (względna skuteczność widmowa oddziaływania nadfioletu zmienia się z długością fali, zgodnie z normą PN-T-06589: 2002 [5], rys. 2), rodzajem ekspozycji, natężeniem oraz czasem ekspozycji.



Rys. 2. Względna skuteczność widmowa zagrożenia nadfioletem
Fig. 2. Relative spectral efficiency of the ultraviolet threat

Do korzystnych efektów promieniowania nadfioletowego można zaliczyć np. działanie przeciw krzywicze, objawiające się wspomaganie syntezy witaminy D₃, regulującej gospodarkę wapniowo-fosforową organizmu, wzrost odporności organizmu, przyspieszone gojenie się ran i ustępowanie infekcji.

Jak wynika z krzywej skuteczności widmowej (rys. 2), największą skutecznością oddziaływania na organizm charakteryzują się pasma promieniowania UVB i UVC. Skuteczność pasma UVA jest znacznie mniejsza, co oznacza, że dla wywołania efektów przez bliski nadfiolet potrzebna jest długotrwała ekspozycja lub duże dawki, natomiast w paśmie średnim i dalekim nawet niewielkie dawki i krótka ekspozycja mogą prowadzić do powstania niekorzystnych efektów zarówno. Do szkodliwych skutków działania nadfioletu zalicza się:

- dla oczu: zapalenie rogówki, zapalenie spojówek oraz zaćmę;
- dla skóry: erytemę, spowodowaną rozszerzeniem naczyń krwionośnych, przyspieszone starzenie naskórka, a przy długotrwałym narażeniu na wysokie dawki możliwe zmiany nowotworowe.

Wobec powyższego pojawia się ryzyko, iż nie wszystkie dostępne na rynku kompaktowe lampy fluorescencyjne są bezpieczne dla użytkowników. W wyniku minimalizacji kosztów przez producentów może okazać się, że niektóre lampy charakteryzują się podwyższoną emisją promieniowania nadfioletowego i w pewnych warunkach mogą stanowić realne zagrożenie dla zdrowia. Tak więc zachodzi potrzeba badań, mających na celu ocenę zagrożenia w oparciu o wymagania normatywne oraz psychofizjologiczne aspekty oddziaływania promieniowania ultrafioletowego na organizm ludzki.

4. Ilościowe wymagania normatywne

Ogólne zasady pomiarów promieniowania, kryteria oceny zagrożenia, zalecane przyrządy i metody pomiarowe oraz wartości graniczne ekspozycji na promieniowanie ultrafioletowe opisane są szczegółowo w odpowiednich arkuszach norm PN-T-06589: 2002 [5], PN EN 14255 – 1: 2010 [6], PN-EN 62471: 2010 [7] oraz w rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej [8].

Za kryterium oceny zagrożenia promieniowaniem nadfioletowym przyjmuje się niedopuszczenie do powstania erytemy, zapalenia rogówki i spojówki oka, rozwoju zmian nowotworowych skóry oraz zaćmy w wyniku działania tego promieniowania. Wobec powyższego określa się wartości maksymalnej dopuszczalnej ekspozycji (MDE) jako poziom promieniowania, na który w normalnych warunkach mogą być ekspozycjonowane osoby bez doznawania szkodliwych skutków dla zdrowia.

Dla promieniowania ultrafioletowego obowiązują obecnie następujące wartości MDE:

- napromienienie skuteczne dla oka i skóry w zakresie długości fali od 180 do 400 nm $H_s=30 \text{ J/m}^2$, w ciągu dobowego czasu pracy - zmiany roboczej, bez względu na długość jej trwania;
- napromienienie dla oka w zakresie fal o długości od 315 do 400 nm $H_{UVA}=10^4 \text{ J/m}^2$, w ciągu dobowego czasu pracy - zmiany roboczej, bez względu na długość jej trwania.

Normy podają także zalecane metody pomiaru, które zakładają albo bezpośredni pomiar napromienienia w czasie ekspozycji albo pomiar natężenia napromienienia skutecznego lub widmowego i uwzględnienie czasu ekspozycji, a następnie obliczenie wartości napromienienia skutecznego zgodnie z zależnością (1) lub (2) i porównanie jej z wartością dopuszczalną.

$$E_s = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda(\lambda) S(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

lub

$$H_s = \int_{\Delta t_{\text{exp}}} E_s(t) dt, \quad (2)$$

gdzie: E_s - skuteczne natężenie napromienienia, E_λ - widmowe natężenie napromienienia, $S(\lambda)$ - skuteczność widmowa, H_s - napromienienie skuteczne, Δt_{exp} - czas ekspozycji, λ - długość fali.

Jednak wymagania te odnoszą się przede wszystkim do stanowisk pracy, a więc głównie do pomieszczeń przemysłowych, w których pracuje wiele źródeł światła, często w znacznych odległościach osób, bądź zachodzą procesy technologiczne, którym towarzyszy znaczna emisja promieniowania ultrafioletowego. Natomiast porównywanie emisji pojedynczych źródeł światła o niewielkiej mocy, stosowanych w warunkach domowych z tymi wymaganiami nie jest zbyt miarodajne. Bardziej uzasadnione jest porównanie emisji promieniowania nadfioletowego w wymaganiach w zakresie funkcjonalności źródeł światła, zawartymi w rozporządzeniu Komisji Europejskiej [1] i dyrektywie [2]. Zgodnie z rozporządzeniem emisja promieniowania nadfioletowego niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych nie powinna przekraczać odpowiednio:

- dla pasm UVA+UVB 2 mW/klm,
- dla pasma UVC 0,01 mW/klm.

W związku z tym należy zmodyfikować metodę badania i oprócz natężenia napromienienia konieczny jest jednoczesny pomiar natężenia oświetlenia [9]. Po jego uwzględnieniu należy wyznaczyć docelowo poziom emisji nadfioletu w odniesieniu do natężenia oświetlenia.

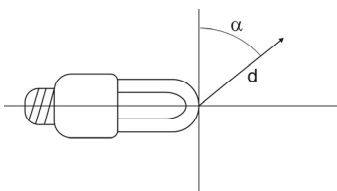
5. Badania laboratoryjne

W przeprowadzonych badaniach zastosowana została metoda bezpośredniego pomiaru natężenia napromienienia z wykorzystaniem radiometru wyposażonego w głowice pomiarowe dla pasm promieniowania UVA, UVB i UVC. Do badań wybrane zostały kompaktowe lampy fluorescencyjne o mocy 20 W, stanowiące, ze względu na wartość strumienia świetlnego w okolicach 1200 lm, zamienniki dla tradycyjnych żarówek o mocy ok. 100 W. Ze względu na sondażowy charakter badań wybrane lampy pochodzą od różnych producentów oraz charakteryzują się różną temperaturą barwową i mają zróżnicowane konstrukcje rurki wyładowczej, spiralne i liniowe. Zestawienie wybranych parametrów eksploatacyjnych badanych źródeł światła przedstawia tabela 2.

Tab. 2. Wybrane parametry badanych źródeł
Tab. 2. Selected parameters of tested lamps

| Lp. | P, W | Φ , lm | Temperatura barwowa, K | Ra, % | Zawartość Hg, mg |
|-----|------|-------------|------------------------|-------|------------------|
| 1 | 20 | 1160 | 2700 | >80 | <2,5 |
| 2 | | 1200 | 2700 | >80 | <4 |
| 3 | | 1280 | 2700 | >80 | <3 |
| 4 | | 1155 | 2700 | >80 | <2 |
| 5 | | 1218 | 2700 | >80 | 1,5 |
| 6 | | 1200 | 2700 | >80 | 3 |
| 7 | | 1155 | 4000 | >80 | 1,5 |
| 8 | | 1155 | 6500 | >80 | <2 |
| 9 | | 1160 | 6500 | >80 | 1,3 |

Przeprowadzone zostały pomiary natężenia napromienienia promieniowaniem nadfioletowym przy zadanej odległości od źródła światła w funkcji kąta wypromieniowania światła, celem określenia kierunku maksymalnej emisji promieniowania nadfioletowego. W uproszczeniu procedurę tę ilustruje rysunek 3.



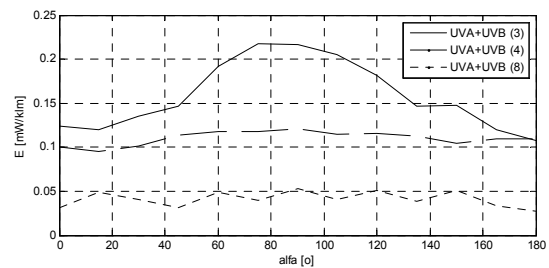
Rys. 3. Procedura pomiaru natężenia napromienienia, α - kąt wypromieniowania,

Fig. 3. Measurement procedure of irradiance, α - radiating angle, d - distance from a light source

Następnie w określonym kierunku dokonano pomiaru natężenia napromienienia w funkcji odległości od źródła światła oraz napięcia zasilania lampy. Dodatkowo dla możliwej interpretacji wyników w kontekście wymagań dyrektywy europejskiej, przeprowadzono pomiar natężenia oświetlenia w tych samych punktach, co natężenie napromienienia oraz wyznaczono poziom irradancji odniesiony do natężenia oświetlenia, celem porównania rzeczywistej emisji badanych źródeł z wartościami granicznymi określonymi w dyrektywie.

Pomiar emisji promieniowania nadfioletowego w funkcji kąta wypromieniowania przeprowadzono z odległości 5 cm przy napięciu znamionowym 230 V. Sporządzone charakterystyki pokazują skumulowany poziom emisji pasm UVA i UVB, zgodnie z wymaganiami dyrektywy. Zmierzone poziomy natężenia napromienienia w paśmie UVC mieścił się w granicach niepewności pomiarowej, natomiast po uwzględnieniu natężenia oświetlenia wartości okazały się pomijalnie małe i nie są prezentowane.

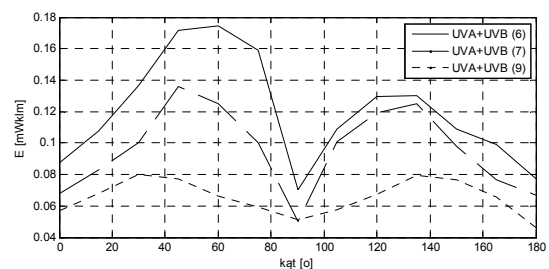
W przypadku świetlówek o konstrukcji spiralnej maksymalna emisja występuje w kierunku osi świetlówki, jak pokazują charakterystyki na rys. 4, a więc przy kącie 90°.



Rys. 4. Zależność emisji promieniowania UV od kąta wypromieniowania, świetlówka z rurką spiralną

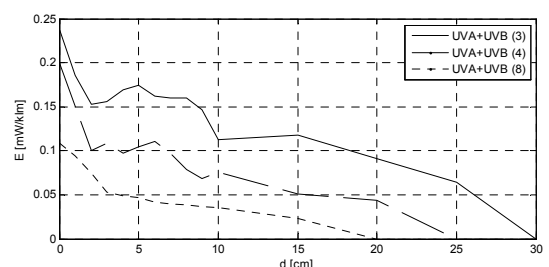
Fig. 4. Dependence of the UV emission on the radiating angle, the lamp with a spiral tube

W świetlówkach o konstrukcji liniowej natomiast w osi lampy występuje minimum promieniowania, a maksimum jest rozłożone symetrycznie wokół osi i przypada na kąty 45 i 135° (rys. 5), co wynika z różnic w rozsyłu światłości pomiędzy świetlówkami o różnych konstrukcjach.



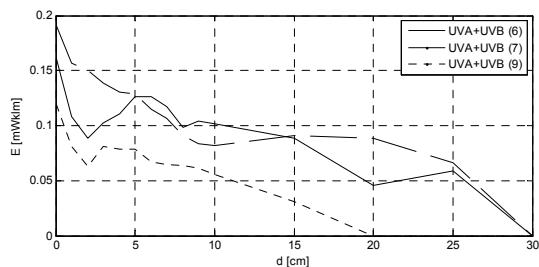
Rys. 5. Zależność emisji promieniowania UV od kąta wypromieniowania, świetlówka z rurką liniową

Fig. 5. Dependence of the UV emission on the radiating angle, the lamp with a linear tube



Rys. 6. Zależność emisji promieniowania UV od odległości od źródła, świetlówka z rurką spiralną

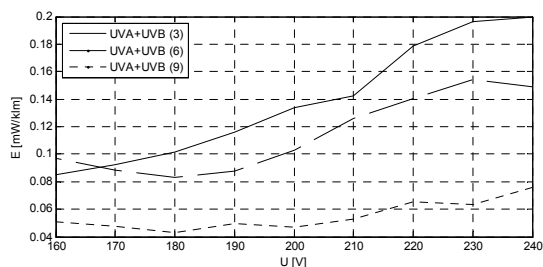
Fig. 6. Dependence of UV emission from source distance, lamp with spiral tube



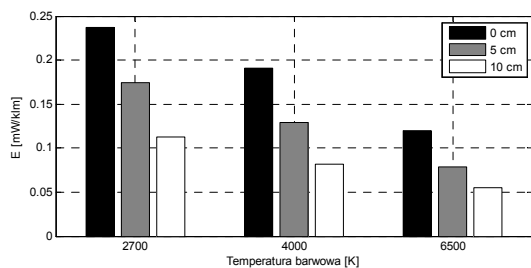
Rys. 7. Zależność emisji promieniowania UV od odległości od źródła, świetlówka z rurką liniową
Fig. 7. Dependence of the UV emission on the source distance, the lamp with a linear tube

Z rysunków 6 i 7 wynika, że poziom emisji promieniowania nadfioletowego wyraźnie maleje ze wzrostem odległości od źródła światła. Dla świetlówek z rurką spiralną zmierzono poziom emisji dla kąta 45° , a dla świetlówek z rurką liniową dla 90° , przy napięciu znamionowym.

Wpływ napięcia zasilania na natężenie napromienienia zmierzono dla kąta maksymalnej emisji z odległości 5 cm, w zakresie napięcia od 160 do 240 V. Wartości zostały dobrane tak, aby z jednej strony nie dopuścić do przepalenia świetlówki, a z drugiej do jej gaśnięcia. Jak widać na rysunku 8, ogólnie zawartość promieniowania UV jest proporcjonalna do napięcia. Pewne odchylenia od trendu wynikają z różnic w zmianie natężenia napromienienia i natężenia oświetlenia, które zmieniają się nieliniowo, co daje efekt taki, że w niektórych przypadkach, zawartość promieniowania UV czasem nieznacznie maleje ze wzrostem napięcia.



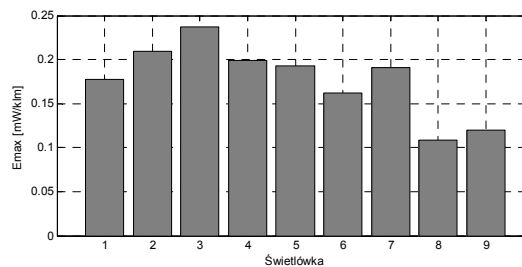
Rys. 8. Zależność emisji promieniowania UV od napięcia zasilania
Fig. 8. Dependence of the UV emission on the voltage



Rys. 9. Poziom emisji UV dla świetlówek o różnej temperaturze barwowej
Fig. 9. UV emission level depending on the color temperature

Można zaobserwować pewne różnice w emisji promieniowania ultrafioletowego pomiędzy świetlówkami o różnej temperaturze barwowej. Okazuje się, że im wyższa temperatura barwowa, tym mniejsza zawartość promieniowania UV (rys. 9).

Porównanie maksymalnych wartości emisji prezentuje rysunek 10. Można zauważyć ponad dwukrotne różnice zawartości promieniowania nadfioletowego UV pomiędzy świetlówkami o największym i najmniejszym poziomie emisji. Jednak w żadnej z badanych świetlówek poziom emisji nie przekracza wartości dopuszczalnej określonej w Rozporządzeniu Komisji Europejskiej.



Rys. 10. Porównanie maksymalnych wartości emisji badanych źródeł
Fig. 10. Comparison of the maximum emission values

6. Wnioski

W wyniku pomiarów otrzymano charakterystyki emisji promieniowania ultrafioletowego w poszczególnych pasmach dla wybranych świetlówek. Dokonano analizy otrzymanych wyników w kontekście wymagań normatywnych.

Wyniki pomiarów wskazują, iż świetlówki kompaktowe charakteryzuje kierunkowość promieniowania w zależności od konstrukcji rurki wyładowczej. Ponadto zaobserwowano duży wpływ odległości od źródła na poziom emisji promieni UV, a także wpływ napięcia zasilania i temperatury barwowej na rejestrowane wartości UV.

W badanych lampach nie odnotowano przekroczenia dopuszczalnych limitów emisji UV określonych w Rozporządzeniu Komisji Europejskiej. Różnice w zawartości promieniowania nadfioletowego w badanych świetlówkach różnych producentów są zauważalne, jednak należy pamiętać o sondazowym charakterze badań. Zatem nie można jednoznacznie stwierdzić, iż wyroby azjatyckich producentów źródeł światła stanowią większe zagrożenie od produktów europejskich.

Praca powstała z wykorzystaniem aparatury zakupionej w wyniku realizacji Projektu nr POPW.01.02.00-18-012/09 "Rozbudowa infrastruktury naukowo-badawczej Politechniki rzeszowskiej", współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej, w ramach Programu Operacyjnego Rozwój Polski Wschodniej 2007-2013, Priorytet I. Nowoczesna Gospodarka, Działanie 1.3 Wspieranie innowacji.

7. Literatura

- [1] Rozporządzenie Komisji (WE) NR 244/2009, Dz.U. Unii Europejskiej L 76/3 z 24.3.2009.
- [2] Dyrektywa 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy Dz.U. UE L 191 z 22.7.2005.
- [3] Wiśniewski A.: Elektryczne źródła światła. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2010.
- [4] PN-90/E-01005, Technika świetlna. Terminologia, Wydawnictwa Normalizacyjne Warszawa 1991.
- [5] PN-T-06589: 2002. Ochrona przed promieniowaniem optycznym. Metody pomiaru promieniowania nadfioletowego na stanowiskach pracy.
- [6] PN EN 14255 – 1: 2010. Pomiar i ocena ekspozycji osób na niespójne promieniowanie optyczne - Część 1: Promieniowanie nadfioletowe emitowane przez źródła sztuczne na stanowisku pracy.
- [7] PN-EN 62471: 2010. Bezpieczeństwo fotobiologiczne lamp i systemów lampowych.
- [8] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 lipca 2010 zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U. Nr 141, Poz. 950.
- [9] Domke K., Pelko M.: Pomiar i kalibracja stanowiska do sprawdzenia zawartości promieniowania UV w widmie lamp. Technika świetlna 2010, XIX Krajowa Konferencja Oświetleniowa, Warszawa 2010.
- [10] The IESNA Lighting Handbook. Reference & Application, The Lighting Authority 2000.