

Tuby LED zamienniki świetlówek liniowych

Streszczenie. W artykule przedstawiono, przykłady tub LED, których konstrukcja umożliwia zamianę świetlówek liniowych w obecnie stosowanych oprawkach świetlówkowych. Inspiracją do przedstawienia tematyki związanej z zastosowaniem tub LED jako zamienników świetlówek liniowych są zmiany prawne. W związku z wymaganiami zawartymi w nowelizacji dyrektywy RoHS z 2022 r. od dnia 25.08.2023 r. nie będzie możliwe wprowadzanie świetlówek liniowych T8 i T5 na terytorium UE. Użytkownicy oprawk świetlówkowych w najbliższym czasie nie będą mogli kupić świetlówek liniowych na wymianę w stosowanych oprawkach oświetleniowych. W związku z tym pozostają alternatywne źródła światła, tuby LED stanowiące zamienniki świetlówek liniowych. W artykule opisane są techniczne możliwości zamiany świetlówek liniowych na tuby LED. Szczególną uwagę zwraca się na odpowiedni dobór tuby LED pod względem stosowanego zasilania świetlówek liniowych w oprawkach oświetleniowych. Przedstawione są pomiary podstawowych parametrów elektrycznych i świetlnych wybranych tub LED, w odniesieniu do ich deklarowanych wartości.

Abstract. The article presents examples of construction LED tubes, which allows the replacement of linear fluorescent lamps in currently used in luminaires for linear fluorescent lamps. The inspiration to present the topic related to the use of LED tubes as replacements for linear fluorescent lamps are legal changes. Due to the requirements contained in the amendment to the RoHS Directive of 2022, from August 25, 2023, it will not be possible to sale linear fluorescent lamps T8 and T5 in the territory of the EU. Users of luminaires for linear fluorescent lamps will not be able to buy these lamps for replacement in the luminaires used in the near future. Therefore, there are alternative light sources, LED tubes that are substitutes for linear fluorescent lamps. The article describes the technical possibilities of replacing linear fluorescent lamps to the LED tubes. Particular attention is paid to the appropriate selection of the LED tube in terms of the power supply circuit used in luminaires for linear fluorescent lamps. Measurements of the basic electrical and light parameters of selected LED tubes are presented, in relation to their declared values. (LED tubes replacements for linear fluorescent lamps)

Słowa kluczowe: świetlówki liniowe T8 i T5, tuby LED, świetlówkowe oprawy oświetleniowe, technologia LED, RoHS.

Keywords: linear fluorescent lamps T8 and T5, LED tubes, luminaires for linear fluorescent lamps, LED technology, RoHS.

Wstęp

W związku z nowymi wymaganiami zawartymi w nowelizacji dyrektywy RoHS z 2022r. [1] wiele typów tradycyjnych źródeł światła będzie wycofywanych ze sprzedaży w krajach unii europejskiej. Wymagania dotyczą świetlówek jednoroznowych, świetlówek liniowych, żarówek halogenowych i lamp wyładowczych. Od dnia 25.02.2023r. nie można wprowadzać świetlówek kołowych i jednoroznowych. Od dnia 25.08.2023r. nie będzie możliwe wprowadzanie świetlówek liniowych T8 i T5. Od dnia 01.09.2023r. zakaz obejmuje również żarówki halogenowe z trzonkami: G4, GY6.35 i G9. W dalszej perspektywie od dnia 25.02.2027r. zakaz wprowadzania obejmuje również lampy wyładowcze (lampy sodowe i metalohalogenkowe). Artykuł skoncentrowany jest na możliwościach technicznych wymiany świetlówek liniowych T8 i T5 na tuby LED w istniejących oprawkach oświetleniowych. Przedstawia opis techniczny dostępnych tub LED stanowiących odpowiedniki świetlówek liniowych T8 i T5. W artykule opisane są możliwości zastosowania tub LED oraz różnorodność sposobów ich zasilania. Zwraca uwagę na prostotę oraz niedogodności techniczne związane z bezpośrednią wymianą świetlówek liniowych na tuby LED. Przedstawione są wyniki pomiarów podstawowych parametrów elektrycznych i świetlnych tub LED stanowiących zamienniki powszechnie stosowanych świetlówek T8 o mocy 18 W i 36 W.

Tuby LED, zamienniki świetlówek liniowych T8 i T5

Tuby LED swoimi wymiarami nie różnią się od odpowiednich typów świetlówek T5 / T8 i pod względem wymiarów i typów stosowanych trzonek można je stosować bezpośrednio w obecnie stosowanych oprawkach świetlówkowych. Szeroka oferta konstrukcji tub LED pod względem ich wymiarów umożliwia zamianę wszystkich podstawowych typów świetlówek liniowych T8 i T5. Przy wymianie świetlówek liniowych na tuby LED należy zwracać szczególną uwagę na stosowane układy zasilające w oprawkach świetlówkowych. Ten temat przedstawiony jest w następnym rozdziale artykułu. Podstawowe parametry elektryczne i świetlne wybranych typów tub LED

stanowiących zamienniki świetlówek T8 i T5 przedstawione są w tabelach 1 i 2. W tabelach przedstawione są jedynie przykłady tub LED, zamienniki popularnych świetlówek T8 i T5, wybrane z bardzo szerokiej oferty firmy LEDVANCE, która zawiera ponad 200 różnych odmian tub LED. Wybrane zostały tuby LED wytwarzające światło o temperaturze barwowej najbliższej 4000 K i ogólnym wskaźniku oddawania barw $R_a > 80$. Dane techniczne tub LED przedstawione są na podstawie danych zawartych w katalogach firmy LEDVANCE [2] [3].

Tabela 1. Podstawowe parametry elektryczne i świetlne tub LED zamienników świetlówek T8

Typ tuby LED	Moc [W]	Zamiennik świetlówki T8 o mocy [W]	Strumień świetlny Tuby LED [lm]	Skuteczność świetlna [lm/W]	Trwałość L_{70} [h]
LED TUBE T8 EM	5,1	15,0	900	176	75000
LED TUBE T8 EM	6,3	18,0	1100	175	75000
LED TUBE T8 EM	9,7	30,0	1700	175	75000
LED TUBE T8 EM	14,0	36,0	2600	186	75000
LED TUBE T8 EM	23,1	58,0	3700	160	75000

Tabela 2. Podstawowe parametry elektryczne i świetlne tub LED zamienników świetlówek T5

Typ tuby LED	Moc [W]	Zamiennik świetlówki T8 o mocy [W]	Strumień świetlny Tuby LED [lm]	Skuteczność świetlna [lm/W]	Trwałość L_{70} [h]
LED TUBE T5 HF	7,0	14,0	1000	143	50000
LED TUBE T5 HF	10,0	10,0	1350	135	50000
LED TUBE T5 HF	16,0	28,0	2400	150	50000
LED TUBE T5 HF	18,0	35,0	2800	155	50000
LED TUBE T5 HF	26,0	49,0	4000	154	50000
LED TUBE T5 HF	36,0	80,0	5600	156	50000

Tuby LED stanowią bezpośrednie zamienniki świetlówek liniowych T8 i T5. Opisywane typy tub LED mają rurkę wykonaną ze szkła, dzięki czemu lampy nie uginają się pod wpływem temperatury. Wiele typów tub LED ma zastosowaną dodatkową powłokę PET, która zabezpiecza przed rozpryskiem elementów szkła w przypadku jej uszkodzenia mechanicznego. Zastosowane diody mają wysoką jednorodność barw $SDCIM \geq 5$, wytwarzają światło

o niskim tętnieniu $SVM \leq 0,4$; $PstLM \leq 1$. Tuby LED można stosować w szerokim zakresie temperatur otoczenia od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mają wysoką odporność na liczbę włączeń wynoszącą średnio 200000 razy. Wiele cech technicznych, parametrów świetlnych i eksploatacyjnych przemawia na korzyść stosowania tub LED zamiast świetlówek. Do najważniejszych zalet tub LED w porównaniu ze świetłówkami można zaliczyć:

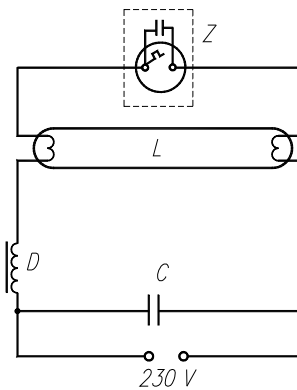
- 1) wysoką skuteczność świetlną, której wartość w zależności od typu tuby LED waha się w granicach od 120 lm/W do 185 lm/W (wartość skuteczności świetlnej świetlówek wynosi średnio od 80 lm/W do 100 lm/W),
- 2) długą trwałość, której wartości wynoszą od 30000 godzin do 75000 godzin (wartość średniej trwałości typowych świetlówek T8 i T5 zawiera się w granicach od 20000 godzin do 24000 godzin),
- 3) Szeroki zakres dopuszczalnej temperatury otoczenia pracy, który wynosi od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (świetlótki pracują optymalnie w temperaturze otoczenia $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ / T8 i $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ / T5),
- 4) możliwość dużej liczby włączeń, bez ograniczenia czasu wyłączenia do ponownego włączenia,
- 5) uzyskiwanie pełnego strumienia świetlnego natychmiast po włączeniu zasilania,
- 6) możliwość bezpośredniego zasilania z sieci 230V, dla wersji EM, Universal i AC.

Wymienione własności tub LED w porównaniu do świetlówek liniowych T5 i T8 powodują, że ich zastosowanie w wielu przypadkach może być zasadne w związku z brakiem dostępności świetlówek liniowych. Jednak przy wyborze typu tuby LED szczególną uwagę należy zwrócić na sposób zasilania świetlótki w istniejącej oprawie oświetleniowej w celu odpowiedniego doboru zamiennej tuby LED.

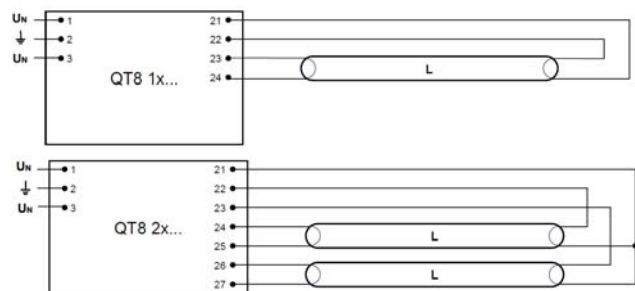
Zasilanie tub LED

W obecnie stosowanych oprawach oświetleniowych do świetlówek liniowych T8 i T5 stosuje się dwa typy układów zasilających. W przypadku świetlówek T8 stosuje się tradycyjny układ zasilający (dławik + zapłonnik) lub statecznik elektroniczny. W przypadku świetlówek liniowych T5 stosuje się wyłącznie stateczniki elektroniczne.

Przykładowy schemat elektryczny tradycyjnego układu zasilającego świetlówkę T8 przedstawiony jest na rysunku 1 [4]. Typowy schemat elektryczny zasilania świetlówek T8 i T5 przez statecznik elektroniczny przedstawiony jest na rysunku 2. Od wielu lat stateczniki elektroniczne są stosowane do zasilania świetlówek T8 i T5, zamiast układów tradycyjnych do świetlówek T8. Spowodowane to było głównie, zaletami elektronicznych układów zasilających pod względem zmniejszenia mocy układu, przedłużeniem trwałości świetlówek i ograniczeniem efektu tętnienia światła wytwarzanego przez świetlótki. Świetlótki T5 przewidziane i zaprojektowane były do zasilania wyłącznie przez stateczniki elektroniczne. W związku z tym użytkownicy opraw świetłówkowych mogą liczyć się z tym, że w przypadku opraw do świetlówek T8 (najpopularniejsze moce 18W, 36W i 58W) mogą w nich być zastosowane tradycyjne układy zasilające lub elektroniczne stateczniki. W przypadku opraw do świetlówek liniowych T5 stosowane są tylko stateczniki elektroniczne. W związku z taką sytuacją należy zwrócić uwagę na typ zastosowanego układu zasilającego świetlówkę / świetlótki w oprawie oświetleniowej, w której będą wymieniane świetlótki liniowe na tuby LED.



Rys. 1. Przykład tradycyjnego układu zasilającego świetlówkę T8, D-dławik, Z- zapłonnik tłący, C – kondensator kompensacji mocy biernej [4]

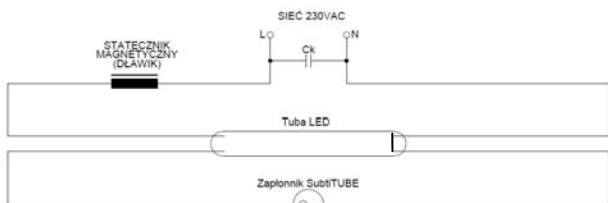


Rys. 2. Przykłady zasilania świetlótki / świetlówek przez statecznik elektroniczny

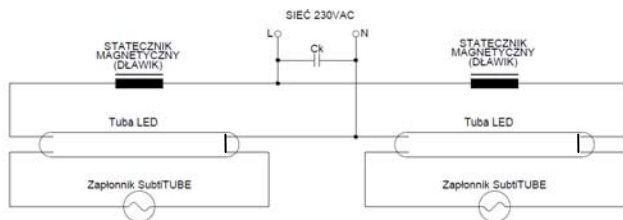
Tuby LED pod względem sposobu zasilania można podzielić na trzy grupy: zasilane przez tradycyjny układ zasilający (tylko zamienniki świetlówek T8), zasilane bezpośrednio z sieci 230V i zasilane przez statecznik elektroniczny. W konsekwencji do typów stosowanych układów zasilających świetlótki liniowe, tuby LED T8 (zamienniki świetlówek T8) produkowane są w wersjach zasilania przez tradycyjny układ zasilający, statecznik elektroniczny i zasilanych bezpośrednio z sieci zasilającej 230V. Tuby Led T5 (zamienniki świetlówek T5) oferowane są w wersjach zasilania przez statecznik elektroniczny lub w wersji zasilania bezpośrednio z sieci 230V.

Zasilanie tub LED przez tradycyjny układ zasilający świetlótki

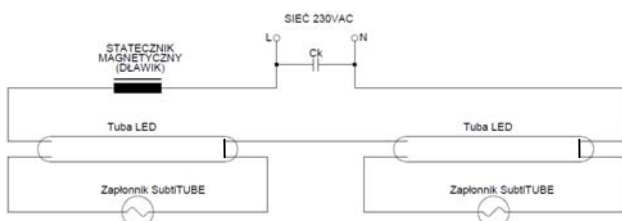
Zasilanie tub LED tradycyjnym układem zasilającym świetlótki dotyczy tylko wersji tub LED T8 zastępujących świetlótkę T8. Specjalnie przygotowane konstrukcje tub LED T8 nie wymagają zmian w połączeniu elektrycznym świetlótki T8. Wystarczy wymienić w oprawie świetlówkę liniową T8 na odpowiednią tubę LED T8 oraz zapłonnik tłący (potocznie zwany starterem) na zwórkę mającą ten sam kształt „Zapłonnik SubstiTUBE”. Schemat elektryczny połączenia tuby LED w tradycyjnym układzie zasilającym świetlówkę przedstawiony jest na rysunku 3. Schemat elektryczny połączenia dwóch tub LED w tradycyjnym układzie zasilającym świetlótki przedstawiony jest na rysunku 4. Schemat elektryczny połączenia tub LED w układzie szeregowym połączenia dwóch świetlówek przedstawiony jest na rysunku 5.



Rys. 3. Schemat elektryczny połączenia tuby LED w tradycyjnym układzie zasilającym świetlówkę



Rys. 4. Schemat elektryczny połączenia dwóch tub LED w tradycyjnym układzie zasilającym świetlówki

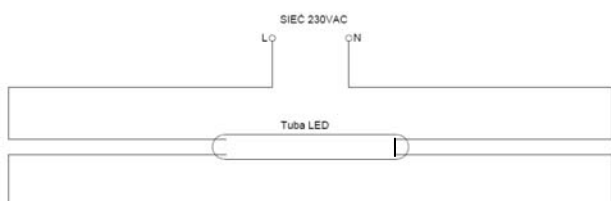


Rys. 5. Schemat elektryczny połączenia tub LED w układzie szeregowym połączenia dwóch świetlówek

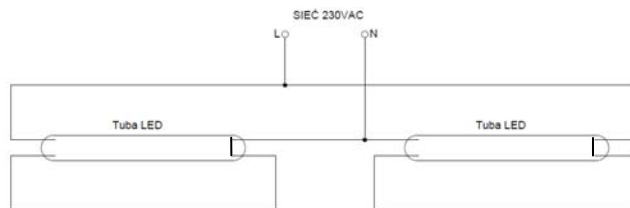
Szczególną uwagę przy połączeniu elektrycznym tub LED, przeznaczonych do zasilania przez tradycyjny układ zasilający i bezpośrednio z sieci 230 V, należy zwrócić na zwarcie elektryczne bolców trzonka po jednej stronie tuby LED. Taka konstrukcja tuby LED zapewnia bezpieczne podłączenie zasilania z dwóch stron tuby LED (zasilanie dwustronne). W tak dedykowanym układzie zasilającym tuba LED może być zasilana przez tradycyjny układ zasilający świetlówkę i bezpośrednio z sieci 230 V.

Zasilanie Tub LED bezpośrednio z sieci 230V AC

Produkowane są również tuby LED przystosowane do bezpośredniego zasilania z sieci 230 V. Tuby tego typu oferowane są w wersji T8 i T5. Schemat elektryczny bezpośredniego zasilania z sieci 230V tuby LED T8/T5 przedstawiony jest na rysunku 6. Schemat elektryczny bezpośredniego zasilania z sieci dwóch tub LED T8/T5 przedstawiony jest na rysunku 7.

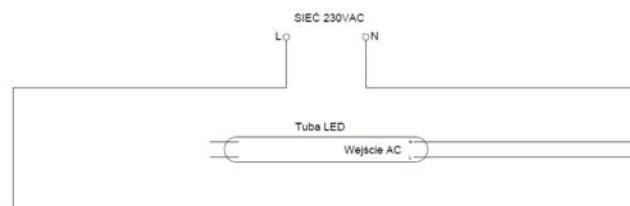


Rys. 6. Schemat elektryczny bezpośredniego zasilania z sieci 230V tuby LED T8/T5



Rys. 7. Schemat elektryczny bezpośredniego zasilania z sieci dwóch tub LED T8/T5

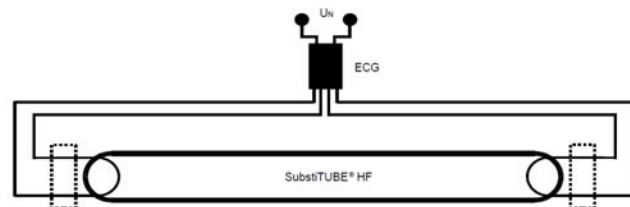
W przypadku zasilania tub LED bezpośrednio z sieci zalecane jest zasilanie dwustronne (zgodnie ze schematami przedstawionymi na rysunkach 6 i 7. W konstrukcji tub LED zasilanych bezpośrednio z sieci 230V (podobnie w przypadku tub LED T8 przeznaczonych do zasilania w tradycyjnym układzie zasilającym świetlówkę) zasilanie znajduje się z jednej strony tuby LED (standardowo po stronie jej oznaczenia) z drugiej strony dwa bolce tuby są ze sobą zwarte. Przedstawione schematy elektryczne (rysunki 3, 4, 5, 6 i 7) zapewniają bezpieczne połączenie tuby LED nawet w przypadku zmiany jej położenia (odwrócenie) w oprawie oświetleniowej. Część konstrukcji tub LED przeznaczonych do bezpośredniego zasilania sieciowego 230V ma możliwość zasilania jednostronnego. W tych konstrukcjach tub LED zasilanie znajduje się z jednej strony (standardowo po stronie oznaczenia) z drugiej strony bolce trzonka tuby LED nie są zwarte. Schemat elektryczny bezpośredniego zasilania sieciowego 230V (jednostronnego) tuby LED przedstawiony jest na rysunku 8. W układzie odwrócenie tuby LED w oprawie oświetleniowej spowoduje brak jej świecenia.



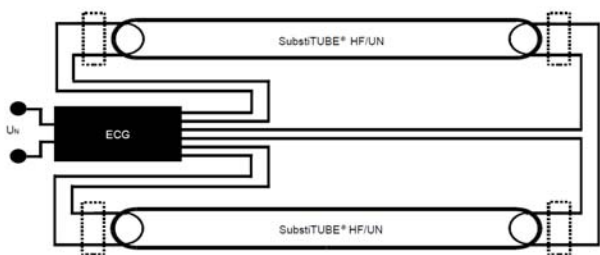
Rys. 8. Schemat elektryczny bezpośredniego zasilania sieciowego 230V (jednostronnego)

Zasilanie Tub LED przez stateczniki elektroniczne

Świetlówki liniowe T8 i T5 zasilane statecznikami elektronicznymi mogą być zamieniane odpowiednimi typami tub LED przeznaczonych do zasilania przez stateczniki elektroniczne. Na rysunku 9 przedstawiony jest schemat elektryczny połączenia tuby LED przeznaczonej do zasilania przez statecznik elektroniczny, na rysunku 10 przedstawiony jest schemat podłączenia dwóch tub LED do statecznika elektronicznego.



Rys. 9. Schemat elektryczny połączenia tuby LED przeznaczonej do zasilania przez statecznik elektroniczny



Rys. 10. Schemat elektryczny połączenia dwóch tub LED przeznaczonych do zasilania przez statecznik elektroniczny

W przypadku stosowania tub LED T8/T5 w oprawach wyposażonych w stateczniki elektroniczne należy zachować szczególną ostrożność. Nie wszystkie typy tub LED mogą być zasilane przez stateczniki elektroniczne dowolnego typu. Producenci tub LED informują o dopasowaniu stateczników elektronicznych do danego typu tuby LED. Tak zwane listy kompatybilności tub LED ze statecznikami elektronicznymi przedstawiane są w katalogach. To jest ważna informacja techniczna, ponieważ konstrukcja stateczników elektronicznych do świetlówek zmieniała się sukcesywnie, natomiast symbole i nazwy stateczników pozostawały często bez zmian. Ważny w odpowiednim doborze tuby LED do statecznika elektronicznego zastosowanego w oprawie jest jego nazwa handlowa i dodatkowo kod produkcji. Te dwie informacje dają dużą szansę na prawidłowy dobór tuby LED do zastosowanego w oprawie statecznika elektronicznego. Pomyłka w prawidłowym doborze tuby LED do statecznika najczęściej powoduje jej uszkodzenie lub znaczne skrócenie trwałości.

Pomiary podstawowych parametrów elektrycznych i świetlnych wybranych tub LED

Do pomiarów podstawowych parametrów elektrycznych wybrano 18 wzorów tub LED stanowiących zamienniki świetlówek T8 o mocach 18W i 36W. Wybrano do pomiarów wzory tub LED, po trzy egzemplarze z każdej mocy i trzech różnych temperatur barwowych najbliższych wytwarzanego światła dla każdej wybranej mocy tuby LED (3000 K, 4000 K i 6500 K). Dla każdego zestawu 3 tub LED T8 przedstawiono średnie wartości zmierzonych i obliczonych parametrów (moc, współczynnik mocy, strumień świetlny i skuteczność świetlna). W tabeli 3 przedstawione są wyniki pomiarów w porównaniu z wartościami deklarowanymi.

Tabela 3. Porównanie deklarowanych podstawowych parametrów elektrycznych i świetlnych z parametrami zmierzonymi

l.p	Zamiennik świetłówki	Parametry deklarowane				Parametry zmierzone			
		P / T _c [W] / [K]	P [W]	PF [-]	Φ [lm]	η [-]	P [W]	PF [-]	Φ [lm]
1	18 / 3000	8,0	0,80	800	100	8,3	0,82	808	97
2	18 / 4000	7,3	0,90	1100	151	7,4	0,93	1150	155
3	18 / 6500	7,3	0,90	1100	151	7,5	0,93	1130	151
4	36 / 3000	15,0	0,90	1620	108	15,1	0,91	1660	110
5	36 / 4000	15,0	0,90	1800	120	15,2	0,92	1810	119
7	36 / 6500	15,0	0,90	1800	120	15,4	0,93	1820	118

Wartości deklarowanej mocy, współczynnika mocy, strumienia świetlnego i skuteczności świetlnej nie różnią się praktycznie od wartości zmierzonych. W tabeli 4 przedstawione są wyniki pomiarów wartości temperatury barwowej najbliższej (T_c) wytwarzanego światła oraz obliczeń ogólnego wskaźnika oddawania barw (R_a) i porównanie ich z wartościami deklarowanymi. Wartości T_c i R_a zostały określone na podstawie pomiarów rozkładu

widmowego wytwarzanego światła przez testowane tuby LED.

Tabela 4. Porównanie deklarowanych podstawowych parametrów świetlnych z parametrami zmierzonymi

Tuba LED	Zamiennik świetłówki	Parametry deklarowane		Parametry zmierzone	
		P [W] / T _c [K]	T _c [K]	R _a [-]	T _c [K]
Tuba LED	18 / 3000	3000	≥80	3072	81
	18 / 4000	4000	≥80	3947	82
	18 / 6500	6500	≥80	6482	84
Tuba LED	36 / 3000	3000	≥80	3070	81
	36 / 4000	4000	≥80	3966	82
	36 / 6500	6500	≥80	6493	84

Deklarowane wartości temperatury barwowej najbliższej i ogólnego wskaźnika oddawania barw nie różnią się istotnie od wartości zmierzonych i obliczonych. Wartości T_c i R_a wytwarzanego światła.

Wnioski

Wycofanie świetlówek spowoduje duże zapotrzebowanie na ich zamienniki. Tuby LED mogą być bezpośrednim zamiennikiem świetlówek liniowych. Zastosowanie tub LED w oświetleniu wnętrz zamiast świetlówek liniowych nie spowoduje obniżenia wymagań oświetleniowych dotyczących jakości wytwarzanego światła pod względem temperatury barwowej najbliższej, ogólnego wskaźnika oddawania barw wytwarzanego światła, tętnienia światła, efektywności energetycznej (tuby LED mają znacznie wyższą skuteczność świetlną od świetlówek) [5]. W artykule przedstawiono problemy techniczne związane z zamianą świetlówek liniowych na tuby LED pod względem ich prawidłowego zasilania. Przedstawiono również przykładowe parametry opisujące jakość wytwarzanego światła (T_c i R_a). Z dostępnych danych katalogowych oraz porównania wybranych parametrów technicznych z wynikami ich pomiarów wynika, że tuby LED są energooszczędną alternatywą świetlówek liniowych. Przy zastosowaniu Tub LED zamiast świetlówek należy zwrócić dodatkowo szczególną uwagę na wartość współczynnika mocy i nieco inny rozsył strumienia świetlnego tub LED od świetlówek liniowych. Współczynnik mocy tub LED ma charakter pojemnościowy. Niewielka zmiana w rozsył strumienia świetlnego tub LED w porównaniu do świetlówek może spowodować zmianę krzywej światłości oprawy oświetleniowej (głównie w oprawach z odbłyśnikami, rastrami lub innymi układami optycznymi), w efekcie zmiany rozkładu natężenia oświetlenia w pomieszczeniu. Zamiana świetlówek na tuby LED powinna być poprzedzona analizą techniczną wielu parametrów. Parametrów technicznych związanych z zasilaniem tub LED i wpływem zamiany na parametry oświetleniowe.

Autor: dr inż. Andrzej Wiśniewski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: Andrzej.Wisniewski@ien.pw.edu.pl

LITERATURA

- [1] Nowelizacja dyrektywy 2002/95/WE. RoHS. 2011/65/UE DYREKTYWA RoHS II, 2015/863 DYREKTYWA RoHS III, DYREKTYWA 2017/2102
- [2] Katalog źródeł światła, strona www.ledvance.com.
- [3] Katalog lamp LED firmy LEDVANCE, 2023r.
- [4] A.Wiśniewski, Źródła Światła, COSIW SEP 2013, ISBN 978-83-61163-34-3
- [5] Polska Norma PN-EN 12464-1:2022-01 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach. 2012r.