

DOI: 10.5604/20830157.1148041

## BADANIE SYSTEMU OŚWIETLENIA EWAKUACYJNEGO NA STATKACH I PROMACH PASAŻERSKICH

**Małgorzata Zalesińska, Krzysztof Wandachowicz**

Politechnika Poznańska, Instytut elektrotechniki Przemysłowej, Zakład Techniki Świetlnej i Elektrotermii

**Streszczenie.** Systemy oświetlenia ewakuacyjnego (system LLL) na statkach i promach pasażerskich muszą nawet w sytuacji bardzo dużego zadymienia zapewnić prawidłowe prowadzenie wzrokowe umożliwiające odnalezienie drogi opuszczenia pokładów. Systemy LLL muszą być montowane w określonych miejscach ciągów komunikacyjnych oraz posiadać odpowiednie parametry fotometryczne po określonym czasie od ich aktywacji.

W artykule przedstawiono wymagania fotometryczne stawiane systemom LLL montowanym na statkach i promach pasażerskich, wyniki oraz analizę badań laboratoryjnych podstawowych właściwości typowych materiałów stosowanych na pasy fotoluminescencyjne oraz procedurę wykonywania badań terenowych efektywności świecenia systemu LLL.

**Słowa kluczowe:** technika świetlna, znakowanie dróg ewakuacyjnych, pasy fotoluminescencyjne, system LLL

### EXAMINATION OF EMERGENCY LIGHTING SYSTEM FOR PASSENGER SHIPS AND FERRIES

**Abstract.** Emergency lighting systems (system LLL) on passenger ships and ferries must even in the total smoke ensure proper conduct visual way to exit from the decks of ship. LLL systems must be installed in specific locations on ships and have proper photometric parameters after a specified time of their activation.

The article presents the photometric requirements for LLL systems mounted on ships and passenger ferries, the results of laboratory tests and analysis of basic properties of typical materials used for photoluminescent strips and the procedure for testing the efficiency of light LLL system in real condition.

**Keywords:** Lighting engineering, mark ways of evacuation, photoluminescent lighting system, low-location lighting system

### Wstęp

Podstawowym obowiązkiem kapitana każdej jednostki pływającej jest zapewnienie bezpieczeństwa na morzu wszystkim członkom załogi oraz pasażerom. Dokumentem regulującym przepisy związane z bezpieczeństwem załogi i pasażerów jest Międzynarodowa Konwencja o Bezpieczeństwie Życia na Morzu (The International Convention for the Safety of Life at Sea). Konwencja została uchwalona w dniu 1 listopada 1974 przez Międzynarodową Konferencję ds. Bezpieczeństwa Życia na Morzu, zwołaną przez Międzynarodową Organizację Morską (International Maritime Organization - IMO) i funkcjonuje jako SOLAS 1974 [7]. Od tego czasu konwencja kilkakrotnie była zmieniana i uzupełniana, aby zapewnić jak najwyższe standardy bezpieczeństwa w zakresie konstrukcji i eksploatacji jednostek pływających. W 1993 roku Komitet Bezpieczeństwa Morskiego uchwalił zbiór zasad [6], które zostały włączone do konwencji SOLAS, a dotyczących wymagań stawianych systemom ewakuacyjnym na statkach pasażerskich. Zgodnie z zapisami [6] i [7] od 1997 roku wszystkie statki pasażerskie przeznaczone do przewozu więcej niż 36 pasażerów muszą posiadać system nisko zlokalizowanego oświetlenia ewakuacyjnego (Low Location Lighting - LLL).

System LLL może być zbudowany jako samoświecący, zasilany energią elektryczną np. wykorzystujący diody świecące, lampy elektroluminescencyjne lub jako ciąg pasów wykonanych z materiałów fotoluminescencyjnych, które świecą po zaniku oświetlenia podstawowego i awaryjnego wykorzystując zjawisko fotoluminescencji.

System LLL jest ostatnim systemem bezpieczeństwa, który nawet przy dużym zadymieniu powinien wskazywać drogę ewakuacji. Z tego też względu system oświetlenia elektrycznego oraz pasy fotoluminescencyjne lokalizowane są na niewielkiej wysokości względem podłoża.

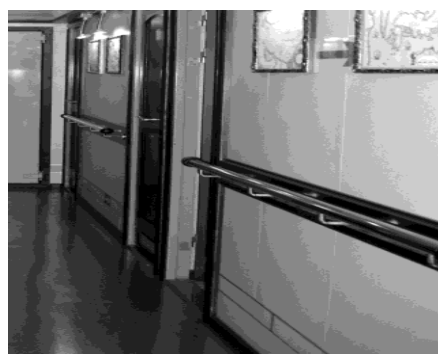
Z powodu niezawodności działania (brak konieczności zasilania elektrycznego) na statkach i promach pasażerskich powszechnie stosowany jest system LLL bazujący na pasach fotoluminescencyjnych.

Sposób oznakowania dróg ewakuacyjnych oraz wymagane wartości luminancji po czasie 10-ciu i 60-ciu minut od zaniku oświetlenia określone zostały w rezolucji IMO [6]. W normie ISO 15370 [8] przedstawiono wymagania dotyczące sposobu znakowania dróg ewakuacyjnych oraz dotyczące metody

sprawdzenia efektywności świecenia w warunkach terenowych i laboratoryjnych.

Zgodnie z wymaganiami normy [8] system LLL powinien być montowany na ścianach korytarzy, ścianach lub stopniach klatek schodowych oraz drzwiach prowadzących na schody do wyjść z pokładów oraz rozdzielających główne strefy korytarzy. W korytarzach, z wyjątkiem drzwi kabin, wnęk o szerokości mniejszej niż 2 m oraz połączeń z innymi ciągami komunikacyjnymi, pasy fotoluminescencyjne powinny być umieszczone tak, aby po zaniku oświetlenia podstawowego dawały ciągłą, wizualną informację o drodze ewakuacyjnej.

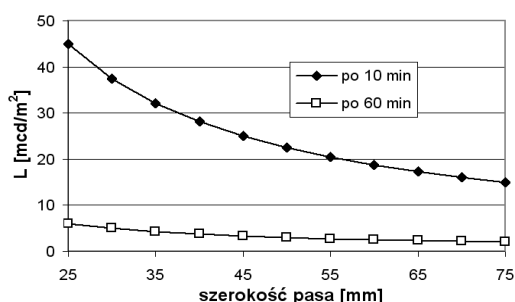
Przykład oznakowania drogi ewakuacyjnej za pomocą pasów fotoluminescencyjnych na jednym ze statków pasażerskich pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Oznakowanie drogi ewakuacyjnej za pomocą pasów fotoluminescencyjnych

Maksymalna przerwa w ciągłości pasów nie powinna przekraczać 2 m. Pasy fotoluminescencyjne powinny być instalowane na wysokości 300 mm nad podłogą lub na płaszczyźnie podłogi w odległości 150 mm od ściany. Na klatkach schodowych prowadzących do wyjść ewakuacyjnych system LLL powinien być instalowany na ścianach na wysokości nie większej niż 300 mm od podłoża lub na płaszczyźnie każdego stopnia. W każdym przypadku system LLL powinien być instalowany przynajmniej po jednej stronie ciągu komunikacyjnego, w przypadku gdy szerokości nie przekracza 2 m, oraz po dwóch stronach, gdy szerokość jest większa niż 2 m. Oznakowanie drzwi znajdujących się na drogach ewakuacyjnych powinno jednoznacznie wskazywać położenie klamki lub uchwytu umożliwiającego ich otwarcie.

Prowadzenie wzrokowe systemu LLL powinno być zapewnione przez cały czas niezbędny na opuszczenie wszystkich pokładów statku. Z tego też względu system LLL powinien działać co najmniej 60 minut po jego aktywacji. Materiały fotoluminescencyjne, z jakich wykonane są pasy powinny posiadać luminancję ( $L$ ) nie mniejszą niż  $15 \text{ mcd/m}^2$  po upływie 10 minut i  $2 \text{ mcd/m}^2$  po 60 minutach od zaniku oświetlenia podstawowego [7, 8]. Wymagania te odnoszą się do pasów o szerokości nie mniejszej niż 75 mm. W przypadku pasów o mniejszej szerokości wartości luminancji muszą być odpowiednio większe. Wymagane wartości luminancji pasów w zależności od ich szerokości, dla 10-ciu i 60-ciu minut świecenia przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Zależność wymaganej wartości luminancji od szerokości pasa systemu LLL

## 1. Opis układu pomiarowego oraz procedury pomiarowej stosowanej w badaniach efektywności świecenia systemu LLL na statkach i promach pasażerskich

Zgodnie z wymaganiami normy ISO 15370 poprawność działania systemu LLL powinna być sprawdzana w warunkach normalnej ich eksploatacji nie rzadziej niż co pięć lat przez osoby posiadające uprawnienia w zakresie pomiarów tego typu. Norma [8] wymaga stosowania wzorowanych mierników luminancji o błędzie korekcji widmowej głowicy fotometrycznej oznaczany przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową CIE [5] jako  $f_1$ , a określającym niedopasowanie krzywej czułości widmowej fotodetektora do względnej widmowej skuteczności świetlnej obserwatora normalnego (krzywej  $V(\lambda)$ ), nie większym niż 8% oraz zakresie pomiarowym od  $1 \text{ mcd/m}^2$  do  $45 \text{ kcd/m}^2$ .

Zgodnie z wymaganiami normy [8] minimalna liczba punktów pomiarowych na każdym pokładzie nie powinna być mniejsza niż 2. Norma jednak nie określa szczegółowego sposobu wyboru punktów pomiarowych. Jest mowa tylko o tym, że pomiary nie powinny być wykonywane w obszarach, gdzie materiał mógłby być naświetlony światłem dziennym oraz pasy fotoluminescencyjne przed rozpoczęciem pomiarów powinny być naświetlane światłem sztucznym przez 24 godziny.

Pomiary sprawdzające właściwości fotometryczne systemu LLL w trakcie normalnej eksploatacji statku wykonywane są przez zespół pomiarowy zgodnie z procedurą uznaniową towarzystwa klasyfikacyjnego DNV [4]. Układ pomiarowy złożony jest miernika luminancji typu LMK L1009 wraz z dodatkowym wyposażeniem (opracowanie własne):

- 1) osłona punktu pomiarowego,
- 2) podstawa mocująca dla miernika i osłony,
- 3) przykrywka otworu okularu.
- 4) soczewka umożliwiająca wykonanie pomiaru w odległości od 25 do 50 cm.

Miernik luminancji LMK L 1009 jest wysokiej klasy miernikiem posiadającym głowicę fotometryczną o bardzo dobrym dopasowaniu względnej czułości widmowej do krzywej skuteczności świetlnej  $V(\lambda)$ , w związku z czym błąd korekcji widmowej  $f_1$  wynosi tylko 2,2%. Miernik posiada zakres pomiarowy od  $0,1 \text{ mcd/m}^2$  do  $19\,990 \text{ kcd/m}^2$  oraz możliwość wyboru kąta pomiarowego w zakresie wartości  $3^\circ$ ,  $1^\circ$ ,  $20'$  i  $6'$ .

Osłona rurowa, połączona ściśle z obiektywem miernika luminancji, umożliwia wydzielenie pola pomiarowego o średnicy  $D = 7 \text{ cm}$  i całkowite (światłoszczelne) jego zasłonięcie w czasie pomiaru. Przy długości osłony  $l = 27 \text{ cm}$  i nastawie kąta pomiarowego miernika na wartość  $3^\circ$ , średnica punktu pomiarowego wynosi  $d = 1,4 \text{ cm}$ .

Pasy fotoluminescencyjne montowane są zwykle na różnych wysokościach od podłogi. Regulowana podstawa miernika i osłony umożliwiają właściwe ustawienie przyrządu pomiarowego na badanym punkcie pomiarowym.

Przykrywka otworu okularu eliminuje światło rozproszone wewnątrz miernika LMT L 1009, które wprowadza systematyczny błąd pomiarowy. Dla pomiaru bardzo małych wartości luminancji (rzędu  $\text{mcd/m}^2$ ) błąd ten jest istotny.

Wygląd stanowiska do pomiaru luminancji systemu LLL w warunkach terenowych przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Pomiar luminancji systemu LLL w warunkach terenowych

W trakcie badań terenowych położenie punktów pomiarowych ustala się dla miejsc, w których ocenia się, że warunki naświetlania pasów będą mniej korzystne. Ocenę przeprowadza się na podstawie wstępnych pomiarów natężenia oświetlenia na powierzchni pasów. W wyselekcjonowanych do badań punktach pomiarowych przeprowadza się pomiar luminancji pasów w ciągu 10 i 60 minut jakie upływają od momentu zasłonięcia pola pomiarowego.

Pomiary kontrolne efektywności świecenia systemu LLL przeprowadza się dla wybranych punktów pomiarowych i 10-minutowych czasów świecenia. Na podstawie doświadczenia zdobytego w trakcie pomiarów terenowych [3] i analizy badań laboratoryjnych opisanych w [1, 2] oraz opisanych poniżej (patrz w pkt. 2) szacuje się wartości luminancji po 60 minutach świecenia.

W przypadku stwierdzenia w danym punkcie pomiarowym wartości luminancji niższych od wymaganych, pomiary należy powtórzyć w czterech punktach pomiarowych rozmieszczonych równomiernie w odległości 2 metrów od rozpatrywanego punktu. Jeżeli w co najmniej 50 % punktach stwierdzi się uzyskanie wymaganych przez ISO 15370:2010 wartości luminancji, to uznaje się, że cała strefa spełnia wymagania [8]. Przyjęcie takiego kryterium [4] wynika z zapisu normy [8] w odniesieniu do możliwości stosowania przerwy o długości nie większej niż 2 m w rozmieszczeniu pasów fotoluminescencyjnych.

## 2. Badania laboratoryjne systemu LLL

Pomiary sprawdzające właściwości fotometryczne systemu LLL w rzeczywistych warunkach są pomiarami czasochłonnymi dlatego też wymagającymi prawidłowej oceny warunków naświetlania pasów oraz właściwego wyboru punktów pomiarowych. Z tego też względu bardzo ważna jest dokładne poznanie właściwości fotometrycznych materiałów fotoluminescencyjnych w warunkach laboratoryjnych.

Do oceny właściwości fotometrycznych materiałów stosowane są obecnie normy ISO 15370:2010 [8] oraz ISO 17398:2004 [9]. Jednak procedury pomiarowe w żadnej z tych norm nie pozwalają na ocenę właściwości materiałów fotoluminescencyjnych eksploatowanych w rzeczywistych warunkach. Klasyfikacja

materiałów przedstawiona w normie [9] pozwala jedynie na porównanie właściwości materiałów w warunkach odniesienia. W tym przypadku źródłem wzbudzenia jest lampa ksenonowa o mocy max. 500 W naświetlająca badaną próbkę przez 5 min i wytwarzająca na powierzchni próbki natężenie oświetlenia równe 200 lx.

Norma [8] umożliwia pełniejszą ocenę właściwości materiałów fotoluminescencyjnych poprzez wyznaczenie w warunkach laboratoryjnych minimalnego (dla danego materiału) poziomu natężenia oświetlenia, który pozwala na zapewnienie odpowiednich wartości luminancji w czasie 10-ciu i 60-ciu minut od zaniku źródła wzbudzenia. Zgodnie z wymaganiami normy [8] źródłem wzbudzenia jest lampa fluorescencyjna o mocy 8 W będąca iluminantem F2 o temperaturze barwowej 4100 K i zapewniająca natężenie oświetlenia 25 lx na powierzchni pasa.

W rzeczywistości pasy fotoluminescencyjne montowane na statkach pasażerskich pracują w bardzo różnych warunkach oświetleniowych. Oświetlenie ciągów komunikacyjnych zwykle realizowane jest z zastosowaniem źródeł fluorescencyjnych o różnych temperaturach barwowych i/lub halogenowych źródeł światła [3]. Ze względu na stosowany rodzaj opraw, ich rozmieszczenie, zastosowane źródła światła, sposób montowania oraz aranżację wnętrz wartości natężenia oświetlenia na powierzchniach pasów wynoszą: od stu kilkudziesięciu luksów (np. 150 lx) do kilku luksów (np. 10 lx). Dlatego też istnieje konieczność przeprowadzenia badań laboratoryjnych z zastosowaniem najczęściej stosowanych źródeł światła.

Badania laboratoryjne pasów fotoluminescencyjnych przeprowadzono w ciemni fotometrycznej Politechniki Poznańskiej. Pomiary wykonano zgodnie z wymaganiami norm przedmiotowych oraz ogólnymi zasadami wykonywania pomiarów fotometrycznych. Szczególną uwagę zwrócono na wyeliminowanie obcych źródeł światła oraz światła rozproszonego. Dla celów pomiarowych zbudowano stanowisko laboratoryjne złożone z miernika luminancji LMK L 1009 oraz komputerowego zestawu rejestracji danych. Pomiar natężenia oświetlenia na powierzchni pasa wykonano luksomierzem L 100 firmy Sonopan.

W trakcie badań laboratoryjnych wyznaczono:

- wartości minimalnego natężenia oświetlenia na powierzchni pasa, które pozwalają na spełnienie wymagań normatywnych [8],
- czasy naświetlania materiału fotoluminescencyjnego, którego luminancja zmierzona po 10-ciu i 60-ciu minutach od zaniku wzbudzenia osiąga 90% wartości luminancji maksymalnej.

Pomiary wykonano dla dwóch materiałów fotoluminescencyjnych. Badane próbki materiałów pochodziły z dwóch promów pasażerskich obsługujących połączenia z Polski do krajów skandynawskich. Głównym, aktywnym składnikiem materiału numer jeden był siarczek cynku. Materiał ten należy do grupy materiałów o przeciętnych właściwościach fotometrycznych i charakteryzuje się małymi wartościami luminancji, jakie występują po zaniku źródła wzbudzenia. Materiał numer dwa należy do grupy materiałów o polepszonych właściwościach fotometrycznych. Aktywnymi składnikami tego materiału są pierwiastki ziem rzadkich. Technologie stosowane przy produkcji tego typu materiałów pozwalają na osiąganie wysokich poziomów luminancji i długich czasów zaniku luminancji. Badane materiały fotoluminescencyjne wzbudzone były źródłami światła o różnych rozkładach widmowych przy różnych czasach naświetlania.

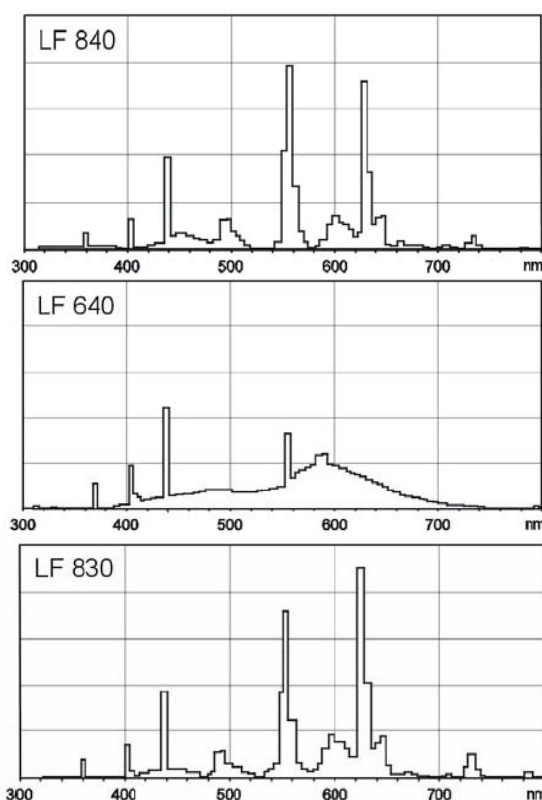
Zgodnie z wymaganiami normy [8] wszystkie pomiary wykonano po 24 godzinnym czasie naświetlania, przed pomiarami próbki zaciemnione były co najmniej przez 24 godziny.

## 2.1. Wyznaczanie minimalnej wartości natężenia oświetlenia na powierzchni materiału fotoluminescencyjnego

Krzywe spadku luminancji materiałów fotoluminescencyjnych zmierzone po zaniku źródła wzbudzenia wyznaczono dla następujących czterech lamp:

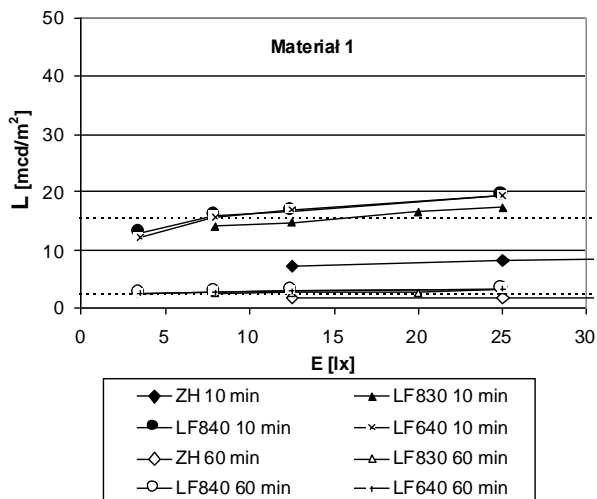
- żarówki halogenowej (ZH) o mocy 50 W (temperatura barwowa 3000K),
- świetlówki z luminoforem trójpasowym w barwie 830 (LF 830, temperatura barwowa 3000K),
- świetlówki z luminoforem trójpasowym w barwie 840 (LF 840, temperatura barwowa 4000K),
- świetlówki z luminoforem dwupasowym w barwie 640 (LF 640, temperatura barwowa 4000K).

Rozkłady widmowe źródeł fluorescencyjnych przedstawiono na rysunku 4.

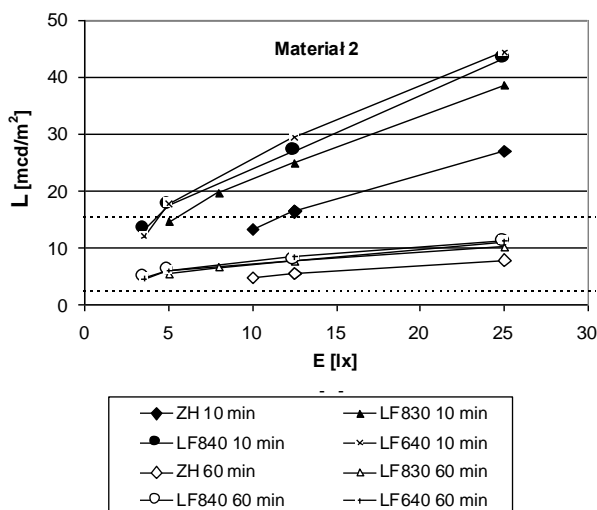


Rys. 4. Rozkłady widmowe lamp fluorescencyjnych zastosowanych do naświetlania badanych materiałów fotoluminescencyjnych

Bazując na wcześniejszych doświadczeniach pomiarowych [1, 2, 3], każdorazowo dla danego źródła wzbudzenia, ustalono odpowiednie poziomy natężenia oświetlenia na powierzchni próbki w zakresie od 3,5 lx do 25 lx. W każdym przypadku wyznaczono krzywe spadku luminancji po wyłączeniu źródła wzbudzenia oraz odczytano charakterystyczne wartości luminancji.



Rys. 5. Zmiany luminancji dla materiału 1 zmierzone po 10-ciu i po 60-ciu minutach od zaniku źródła wzbudzenia dla czterech lamp



Rys. 6. Zmiany luminancji dla materiału 2 zmierzone po 10-ciu i po 60-ciu minutach od zaniku źródła wzbudzenia dla czterech lamp

Wyniki pomiarów luminancji badanych materiałów fotoluminescencyjnych w różnych warunkach oświetleniowych przedstawiono na rysunkach 5 i 6.

Szczegółowe wartości luminancji dla natężeń oświetlenia na powierzchni pasa wynoszących 12,5 i 25 lx zestawiono w tabeli 1.

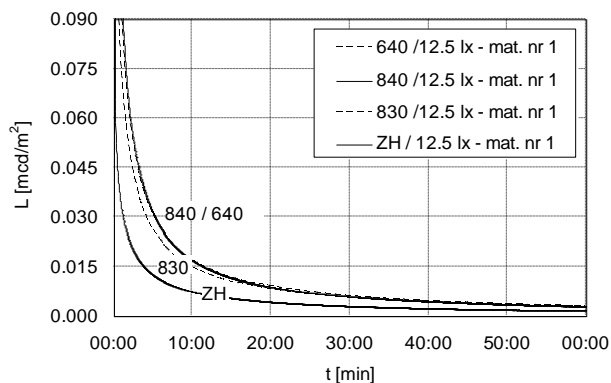
Tabela 1. Wyniki pomiarów spadku luminancji L [mcd/m²] badanych materiałów dla natężenia oświetlenia na powierzchni pasów wynoszących 12,5 i 25 lx.

Rodzaj źródła wzbudzenia	Czas zaniku wzbudzenia t	Materiał nr 1		Materiał nr 2	
		Natężenie oświetlenia na powierzchni próbki E			
		12,5 lx	25 lx	12,5 lx	25 lx
żarówka halogenowa ZH	10 min	7,3*	8,7*	16,0	26,9
	60 min	1,6*	2,0	5,5	7,9
świłtłówa w barwie 830	10 min	14,7*	17,3	24,9	38,6
	60 min	2,7	3,2	7,6	10,2
świłtłówa w barwie 840	10 min	16,7	19,4	27,0	43,4
	60 min	2,9	3,3	7,8	11,0
świłtłówa w barwie 640	10 min	16,9	19,5	29,5	44,4
	60 min	2,9	3,3	8,6	11,2

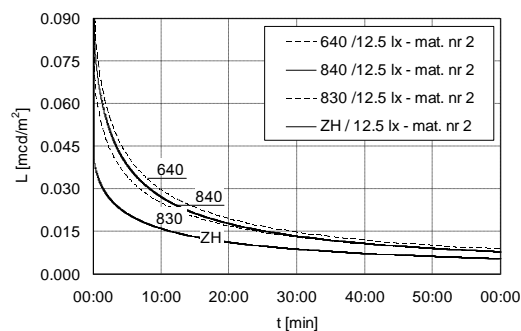
\*) Zaznaczono wynik pomiarów, który nie spełniając wymagań normy [3]

Krzywe spadku luminancji dla badanych materiałów i wszystkich zastosowanych źródeł wzbudzenia oraz wartości

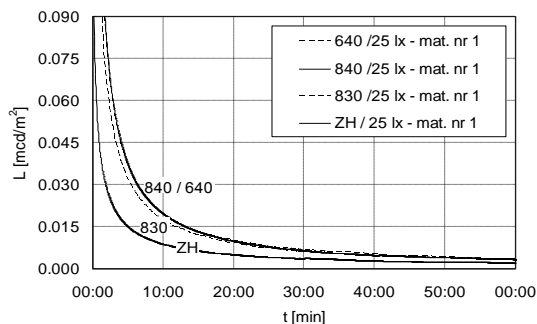
natężeń oświetlenia na powierzchni pasa wynoszącego 12,5 oraz 25 lx przedstawiono na rysunkach 7 ÷ 10.



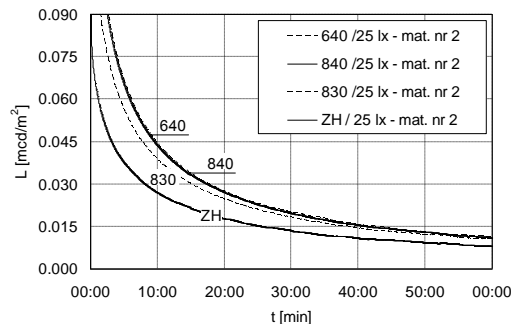
Rys. 7. Krzywe spadku luminancji dla materiału 1 i wszystkich zastosowanych źródeł wzbudzenia oraz natężenia oświetlenia na powierzchni pasa wynoszącego 12,5 lx



Rys. 8. Krzywe spadku luminancji dla materiału 2 i wszystkich zastosowanych źródeł wzbudzenia oraz natężenia oświetlenia na powierzchni pasa wynoszącego 12,5 lx



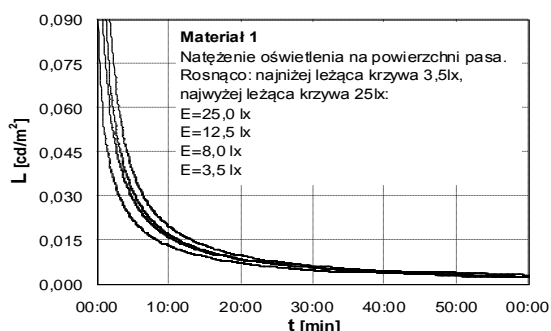
Rys. 9. Krzywe spadku luminancji dla materiału 1 i wszystkich zastosowanych źródeł wzbudzenia oraz natężenia oświetlenia na powierzchni pasa wynoszącego 25 lx



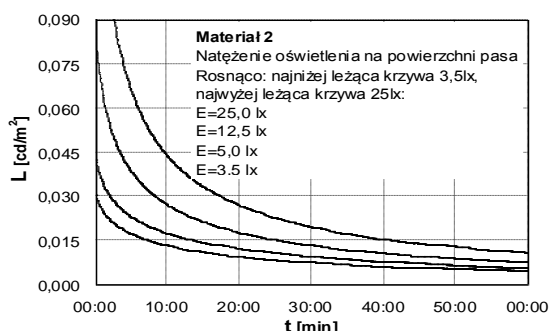
Rys. 10. Krzywe spadku luminancji dla materiału 2 i wszystkich zastosowanych źródeł wzbudzenia oraz natężenia oświetlenia na powierzchni pasa wynoszącego 25 lx

Przykładowe krzywe spadku luminancji dla świetłówki barwy 840, dla różnych wartości natężenia oświetlenia

na powierzchniach badanych materiałów przedstawiono na rysunkach 11 i 12.



Rys. 11. Krzywe spadku luminancji w czasie po zaniku źródła wzbudzenia dla materiału 1 naświetlanego świetłówką o kodzie barwy 840



Rys. 12. Krzywe spadku luminancji w czasie po zaniku źródła wzbudzenia dla materiału 2 naświetlanego świetłówką o kodzie barwy 840

Przeprowadzone pomiary laboratoryjne wykazały, że na właściwości fotometryczne materiałów mają wpływ: rozkład widmowego źródła wzbudzenia, wartość natężenia oświetlenia na powierzchni badanej próbki oraz skład chemiczny materiału. Dla materiału nr 2, posiadającego polepszone właściwości fotometryczne, wpływ natężenia oświetlenia był większy niż dla materiału nr 1. Różnice pomiędzy zmierzonymi wartościami luminancji badanych próbek były tym większe im wyższy występował poziom natężenia oświetlenia na powierzchni materiału. Dla świetłówek i poziomu natężenia wynoszącego 25 lx, po czasie 10-ciu minut od zaniku wzbudzenia luminancja materiału nr 2 była ok. 2,2 razy wyższa od luminancji materiału nr 1, a po czasie 60-ciu min. ok. 3,2 razy. Dla żarówki halogenowej odpowiednio: 3,2 i 4,6. Przy poziomie natężenia oświetlenia wynoszącym 12,5 lx, luminancja materiału po czasie 10-ciu min. była dla świetłówek ok. 1,7 razy większa, a dla żarówki 2,2. Po czasie 60-ciu minut odpowiednio: 2,8 i 3,5. Dla materiału nr 1 poziom natężenia oświetlenia miał mniejszy wpływ na kształt krzywej spadku luminancji w czasie po zaniku źródła wzbudzenia. Materiał nr 1 charakteryzował się także szybszym spadkiem luminancji w czasie po zaniku wzbudzenia.

Na podstawie wyników przeprowadzonych pomiarów wyznaczono, dla rozpatrywanych źródeł wzbudzenia, minimalne wartości natężenia oświetlenia na powierzchniach badanych materiałów, pozwalające na spełnienie wymagań normy [3]. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Minimalne wartości natężenia oświetlenia, które zapewniają spełnienie wymagań normy ISO 15370: 2010

Rodzaj lampy	Materiał 1 E <sub>min</sub> 1 [lx]	Materiał 2 E <sub>min</sub> 2 [lx]	E <sub>min</sub> 1 / E <sub>min</sub> 2
ZH	4915	11,3	435
LF 830	12,0	5,2	2,3
LF 840	6,5	4,2	1,6
LF 640	7,3	4,3	1,7

Dla każdego zastosowanego źródła wzbudzenia materiał nr 1 wymagał zastosowania zdecydowanie wyższych wartości

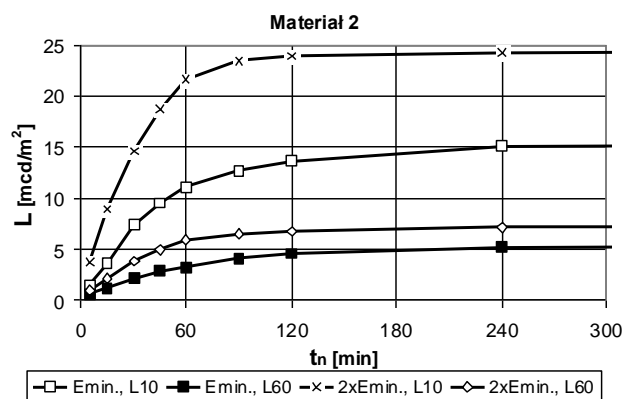
natężenia oświetlenia w celu spełnienia wymagań normy [8]. W przypadku żarówki halogenowej wartości 435 razy wyższej, a w przypadku świetłówki o barwie 840 ok. 1,6 razy. Ponadto dla żarówki halogenowej, niezależnie od badanego materiału, wymagane były wyższe wartości natężeń oświetlenia na powierzchni pasów zapewniająca spełnienie wymagań normy [8]. W przypadku materiału nr 1 minimalna wartość natężenia oświetlenia dla pasa naświetlanego żarówką halogenową była ponad 400 razy większa niż świetłówką barwy 830 i ponad 750 razy większa niż świetłówką barwy 840. W przypadku materiału nr 2 odpowiednio ok. 2,1 razy dla świetłówki barwy 830 i 2,6 raza dla świetłówki 840.

## 2.2. Wyznaczanie czasów naświetlania materiałów fotoluminescencyjnych

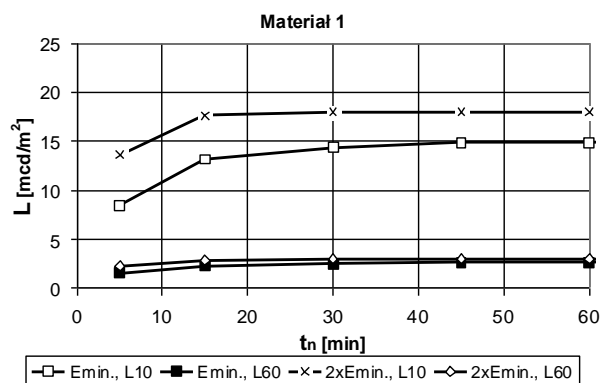
Badania przeprowadzono dla dwóch różnych wartości natężenia oświetlenia. Pierwsza wartość to wyznaczona wcześniej wartość minimalna E<sub>min</sub> zapewniająca uzyskanie wymaganych przez normę [8] luminancji. Druga wartość to dwukrotność wartości minimalnej. Pomiary wykonano dla trzech świetłówek różniących się rodzajem zastosowanego luminoforu (LF 830, LF 840 i LF 640). Zarejestrowano krzywe spadku luminancji materiałów fotoluminescencyjnych zmierzone po zaniku źródła wzbudzenia ustalając każdorazowo inny czas naświetlania materiału.

Na podstawie wykonanych pomiarów sporządzono wykresy przedstawiające zależność luminancji zmierzonej po 10-ciu i 60-ciu minutach od zaniku źródła wzbudzenia w funkcji czasu naświetlania materiału.

Przykładowe krzywe zmian wartości luminancji zmierzone po 10-ciu i 60-ciu minutach od zaniku wzbudzenia w funkcji czasu naświetlania przedstawiono na rysunkach 13 i 14.



Rys. 13. Wartości luminancji zmierzone po 10-ciu i 60-ciu minutach od zaniku wzbudzenia dla materiału 1 w funkcji czasu naświetlania materiału fotoluminescencyjnego oświetlanego świetłówką w barwie 840



Rys. 14. Wartości luminancji zmierzone po 10-ciu i 60-ciu minutach od zaniku wzbudzenia dla materiału 2 w funkcji czasu naświetlania materiału fotoluminescencyjnego oświetlanego świetłówką w barwie 840

Na podstawie otrzymanych wyników wyznaczono czasy naświetlania materiałów fotoluminescencyjnych ( $tn_{0,9}$ ), dla których luminancja zmierzona po 10-ciu i po 60-ciu minutach od zaniku wzbudzenia osiąga 90% wartości luminancji maksymalnej. Wyznaczone wartości zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3. Czas naświetlania materiału fotoluminescencyjnego  $tn_{0,9}$ , dla którego luminancja zmierzona po 10-ciu i 60-ciu minutach od zaniku wzbudzenia osiąga 90 % wartości luminancji maksymalnej

Materiał	Rodzaj lampy	$E_{min}[lx]$	$tn_{0,9}$ [min]	
			L(10min) [ $mc/d/m^2$ ]	L(60min) [ $mc/d/m^2$ ]
Materiał 1	LF 830	2x $E_{min}$	9	15
		$E_{min}$	13	18
	LF 840	2x $E_{min}$	12	12
		$E_{min}$	18	18
	LF 640	2x $E_{min}$	11	11
		$E_{min}$	15	15
Materiał 2	LF 830	2x $E_{min}$	110	200
		$E_{min}$	170	240
	LF 840	2x $E_{min}$	65	100
		$E_{min}$	140	210
	LF 640	2x $E_{min}$	80	90
		$E_{min}$	150	190

Przeprowadzone pomiary materiałów fotoluminescencyjnych pokazały istotne różnice w wyznaczonych czasach naświetlania, dla których odpowiednia luminancja osiągała 90% wartości maksymalnej. Pomiary wykazały, że materiał nr 1 odznaczał się krótszymi czasami stabilizacji luminancji, ale uzyskiwane wartości luminancji były znacznie mniejsze. Materiał nr 2 osiągał większe wartości luminancji maksymalnej, ale czas naświetlania potrzebny na wzbudzenie materiału był znacznie dłuższy. W przypadku materiału nr 1, dla minimalnej wartości natężenia oświetlenia  $E_{min}$ , wyznaczony czas naświetlania  $tn_{0,9}$  nie przekraczał 20 minut zarówno dla luminancji mierzonej po 10-ciu jak i 60-ciu minutach od zaniku wzbudzenia. Dla materiału nr 2 czas ten osiągał wartości od dwóch do czterech godzin zależnie od źródła wzbudzenia. Wykonane pomiary wykazały także wpływ poziomu natężenia oświetlenia na proces wzbudzania materiałów fotoluminescencyjnych. Każdorazowo wyższa wartość natężenia oświetlenia na powierzchni materiału pozwalała na skróceniem czasu naświetlania, dla którego luminancja osiągała określone wartości.

### 3. Podsumowanie

Celem wykonanych badań było zbadanie własności fotometrycznych pasów fotoluminescencyjnych. W trakcie badań wykazano istotny wpływ poziomu natężenia oświetlenia, czasu naświetlania, rozkładu widmowego oraz składu chemicznego materiałów fotoluminescencyjnych na własności fotometryczne pasów LLL.

Wykazano, że stosowanie materiałów, należących do grupy materiałów o przeciętnych właściwościach fotometrycznych i charakteryzujących się małymi wartościami luminancji, jakie występują po zaniku źródła wzbudzenia powoduje, że w wielu przypadkach, w danych warunkach naświetlania, system LLL nie spełnia wymagań normy ISO 15370. Ponadto udowodniono, że stosowanie źródeł światła o niskich temperaturach barwowych (ZH, LF 830), przy niskich poziomach natężenia oświetlenia, także nie zawsze gwarantuje spełnienia wymagań normy [8]. Dlatego też w trakcie projektowania systemu LLL należy zwracać uwagę zarówno na dobór samych pasów fotoluminescencyjnych, jak i sposobu oświetlenia ciągów komunikacyjnych. Ze względu na zapewnienie wymaganych przez normę [8] poziomów luminancji należy stosować pasy o lepszych właściwościach fotometrycznych, oświetlane źródłami światła promieniotwórczymi większą część energii w zakresie krótkofalowej części widma. W trakcie projektowania oświetlenia podstawowego ciągów komunikacyjnych należy także zwrócić uwagę na prawidłowy dobór oraz rozmieszczenie opraw oświetleniowych,

ze względu na uzyskiwanie jak najwyższych poziomów natężenia oświetlenia na powierzchni systemu LLL.

Podsumowując można stwierdzić, że wyniki przeprowadzonych badań oraz wnioski z nich wynikające znacznie ułatwią wykonanie pomiarów systemu LLL eksploatowanego w rzeczywistych warunkach oświetleniowych poprzez prawidłowy wybór punktów pomiarowych, których lokalizacji norma [8] w żaden sposób nie określa. Ponadto sformułowanie wnioski pozwolą w optymalny sposób projektować oświetlenie ciągów komunikacyjnych na statkach pasażerskich, pod względem zapewnienia właściwych poziomów luminancji systemu LLL po zaniku oświetlenia.

Przedstawiony opis właściwości materiałów nie obejmuje zmian jakie zachodzą w trakcie ich eksploatacji. Przeprowadzenie dalszych, rozszerzonych badań umożliwiłyby poznanie charakterystyk eksploatacyjnych materiałów i na tej podstawie określenie współczynnika utrzymania systemu LLL.

### Literatura

- [1] Wandachowicz K., Zalesińska M.: Badanie własności pasów fotoluminescencyjnych. Przegląd Elektrotechniczny, R.5 NR 1/2007, 59-62.
- [2] Wandachowicz K., Zalesińska M.: Optimization of light exposure of photoluminescent lighting system. Poznan University of Technology, Academic Journals No 56, 2007, 125-135.
- [3] Wandachowicz K., Zalesińska M. - Ekspertyzy autorów artykułu dotyczące efektywności świecenia systemu LLL wykonane na promach pasażerskich w latach 2003 – 2013. Materiały znajdujące się w archiwum Instytutu elektrotechniki i elektroniki Przemysłowej.
- [4] Wandachowicz K., Zalesińska M. - Procedura pomiarowa opracowana przez zespół pomiarowy posiadający uznanie DNV - Det Norske Veritas Approval of Service Suppliers. Certificate no: GDA-11-3152 dla Instytutu Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej.
- [5] CIE publication No. 69 (1987): Methods of Characterizing Illuminance Meters and Luminance Meters: Performance, Characteristics and Specifications.
- [6] IMO Resolution A 752 (18) adopted on 4.11.1993: Guidelines for the evaluation, testing and application of Low location lighting on passenger ships.
- [7] International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974 SOLAS, regulations II-2/28, § 1.10 i II-2/41-2 § 4.7.
- [8] ISO 15370:2010 (E) – Ships and marine technology – Low location lighting on passenger ships – Arrangement.
- [9] ISO 17398:2004(E) – Safety colours and safety signs – Classification, performance and durability of safety signs.

Dr inż. Małgorzata Zalesińska  
e-mail: Malgorzata.Zalesinska@put.poznan.pl



Absolwentka Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej specjalności Technika Świetlna. Od 2003 r. adiunkt Zakładu Techniki Świetlnej i Elektrotermii Politechniki Poznańskiej. W kręgu zainteresowań zawodowych znajdują się zagadnienia dotyczące oświetlenia drogowego, a w szczególności poziom widoczności przeszkód na stacjonarnie oświetlanej drodze oraz techniczne i ekonomiczne aspekty eksploatacji urządzeń oświetleniowych. Wyniki prac badawczych publikowane i prezentowane są na konferencjach krajowych i zagranicznych oraz w czasopiśmie naukowych.

Dr inż. Krzysztof Wandachowicz  
e-mail: Krzysztof.Wandachowicz@put.poznan.pl



Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej specjalności Technika Świetlna. Od 2002 r. adiunkt Zakładu Techniki Świetlnej i Elektrotermii Politechniki Poznańskiej. W kręgu zainteresowań zawodowych znajdują się zagadnienia dotyczące kolorymetrii, sprzętu oświetleniowego, projektowania oświetlenia oraz optymalizacji odbłyśników opraw oświetleniowych. Wyniki prac badawczych publikowane i prezentowane są na konferencjach krajowych i zagranicznych oraz w czasopiśmie naukowych.

otrzymano/received: 22.09.2014

przyjęto do druku/accepted: 20.01.2015