

doi:10.15199/48.2016.09.43

## Porównanie symulacji komputerowych instalacji oświetlenia ewakuacyjnego

**Streszczenie.** Celem badań było określenie poprawności wykonywania symulacji instalacji oświetlenia ewakuacyjnego z wykorzystaniem najpopularniejszych programów służących do wspomagania projektowania oświetlenia – DIAUX i RELUX. Do wykonania projektów wytypowano pięć opraw oświetlenia ewakuacyjnego ze źródłami LED o zasilaniu awaryjno-sieciowym różniących się krzywą światłości oraz wartością strumienia świetlnego.

**Abstract.** The purpose of the study was to determine the performance accuracy of the simulation of escape route lighting installations using the most popular programs supporting the lighting design - DIAUX and RELUX and possible errors associated with illuminance measuring of emergency escape lighting. In order to complete the projects we have selected five emergency lighting luminaires with LED sources with different light curve and the value of the luminous flux. (**Comparison of results of computer simulations for the escape route lighting installation**).

**Słowa kluczowe:** oświetlenie drogi ewakuacyjnej, programy wspomagające projektowanie oświetlenia DIALUX i RELUX, oprawa oświetlenia ewakuacyjnego.

**Keywords:** escape route lighting, program supporting the lighting design DIALUX and RELUX, escape lighting luminaire.

### Wstęp

W przypadku nagłego i długotrwałego braku oświetlenia podstawowego nie można w bezpieczny sposób opuścić użytkowanych obiektów, szczególnie gdy przebywa w nich duża liczba osób, czy zakończyć trwających czynności z zachowaniem wymaganych zasad bezpieczeństwa. Aby nie dopuścić do pojawiania się takich sytuacji, stosuje się dodatkowe źródła energii elektrycznej do zasilania wytypowanych opraw oświetlenia ogólnego lub specjalnie montowanych w tym celu opraw oświetleniowych. Zadaniem tych opraw jest umożliwienie bezpiecznego opuszczenia zagrożonych pomieszczeń - są to oprawy oświetlenia ewakuacyjnego. Zgodnie z aktualnie obowiązującymi przepisami [1, 2, 3] w każdym obiekcie, w którym zanik napięcia w sieci zasilającej może spowodować zagrożenie życia lub zdrowia ludzi, poważne zagrożenie środowiska, a także znaczne straty materialne, powinno być zainstalowane samoczynnie załączające się oświetlenie awaryjne. Tak więc instalacje oświetlenia awaryjnego mają bezpośredni związek z bezpieczeństwem ludzi. Dlatego też ich parametry techniczne (oświetleniowe i elektryczne), a przede wszystkim skuteczność działania, są ściśle określone w normach. Zawarte w nich wymagania precyzują wartości minimalne, które powinny spełniać systemy oświetlenia awaryjnego. Niestety, ale często można jeszcze spotkać obiekty budowlane, w których zainstalowane instalacje oświetlenia ewakuacyjnego nie działają poprawnie, co może być wynikiem np. niewłaściwego wykonania projektu, niepoprawnego wykonania prac instalacyjnych, czy braku konserwacji. Ponadto wiedza techniczno-prawna właścicieli i zarządców obiektów budowlanych, którzy odpowiadają za ich stan, nie zawsze jest aktualna.

### Obiekt badań

#### Oprawy oświetlenia ewakuacyjnego

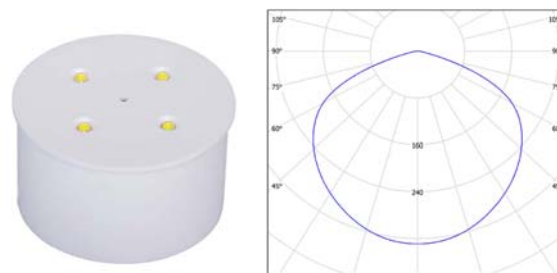
Do badań wybrano pięć różnych typów opraw oświetlenia ewakuacyjnego z zasilaniem awaryjno-sieciowym, tj. z własnym źródłem zasilania awaryjnego oraz spełniające wymagane przez normę PN-EN 1838: 2013 E [4] czasy, po których na drodze ewakuacyjnej będzie osiągnięte natężenie oświetlenia o wartości 0,25 lx i 0,5 lx w ciągu 5 s i odpowiednio 0,5 lx i 1 lx w ciągu 60 s. Wymoganiom tym są w stanie sprostać, przede wszystkim, oprawy ze źródłami LED.

Pierwszy typ, to oprawy firmy ZUMTOBEL, ORILED 2/1W LED 760 (rys. 1.), które są już zamontowane na ścianie korytarza. Są to oprawy z dwoma źródłami LED o mocy 1 W. Pozostałe oprawy przewidziane do badań wybrano spośród produktów czterech wiodących producentów opraw oświetlenia awaryjnego w Polsce, tj. Amabud-Amatech, Hybryd, Awex i TM Technology. Przy wyborze tych opraw kierowano się przede wszystkim ich krzywą światłości, wartością strumienia świetlnego oraz ilością/mocą źródeł LED. Po analizie danych technicznych wybrano oprawy dwóch pierwszych producentów, które oferują oprawy lepszej jakości, produkowane w Polsce. Są to następujące oprawy:

- DISCRET N, 4 x 1 LED, AT, DW1/4/4/AS/1H/ okrągła firmy AMATECH (rys. 2.),
  - ALFA III, AT, AL3/4/4/AS/1H jednostronna firmy AMATECH (rys. 3.),
  - HERKULES-P ROAD AT 1J LED 5 firmy HYBRYD (rys. 4.),
  - KWADRA SIDE N AT 1J LED 3 firmy HYBRYD (rys. 5.).
- Wszystkie ww. oprawy są przewidziane do jednogodzinnego trybu pracy awaryjnej.



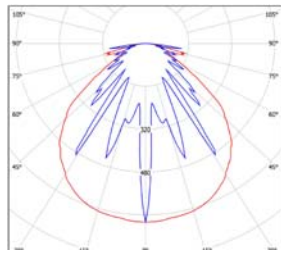
Rys. 1. Widok oprawy ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL [5]



Rys. 2. Widok oprawy DISCRET N, 4 x 1 LED, AT firmy AMATECH oraz jej krzywa światłości [6]



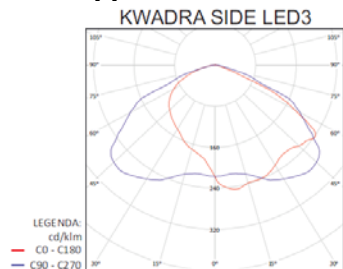
Rys. 3. Widok oprawy ALFA III, AT, AL3/4/4/AS/1H firmy AMATECH oraz jej krzywa światłości [6]



Rys. 4. Widok oprawy HERKULES-P ROAD AT 1J LED 5 firmy HYBRYD oraz jej krzywa światłości [7]



Rys. 5. Widok oprawy KWADRA SIDE N AT 1J LED 3 firmy HYBRYD oraz jej krzywa światłości [7]



### Badane pomieszczenie

Do badań wybrano korytarz o wymiarach 22 x 2 x 2,28 m. Oprawy firmy ZUMTOBEL zamontowane są na jednej ścianie na wysokości 0,58 m względem podłogi i w odległości 4,4 m pomiędzy oprawami (2,2 m od krótszych ścian). Pozostałe oprawy umieszczono na ścianie na wysokości i w odległościach pomiędzy oprawami wynikającymi ze spełnienia wymagań normatywnych.

### Wymagania oświetleniowe

Zgodnie z wymaganiami oświetleniowymi zawartymi w normie PN-EN 1838:2013 E [4] w przypadku dróg ewakuacyjnych o szerokości do 2 m, natężenie oświetlenia w żadnym z punktów wzdłuż środkowej linii tej drogi nie może być mniejsze niż 1 lx. Natomiast na centralnym pasie drogi, obejmującym co najmniej połowę szerokości drogi, natężenie oświetlenia powinno wynosić co najmniej 0,5 lx. Ponadto:

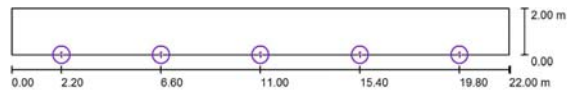
- iloraz maksymalnego do minimalnego natężenia oświetlenia ( $U_d$ ) wzdłuż centralnej linii drogi ewakuacyjnej nie powinien być większy niż 40:1,
- minimalna wartość wskaźnika oddawania barw ( $R_a$ ) zastosowanych źródeł światła powinna wynosić nie mniej niż 40,
- minimalny czas stosowania oświetlenia na drodze ewakuacyjnej w celach ewakuacji, powinien wynosić 1 godzinę, przy czym 50% wymaganego natężenia oświetlenia powinno być wytworzone w ciągu 5 s, a pełny poziom natężenia oświetlenia w ciągu 60 s.

Wymagania dotyczące oświetlenia dróg ewakuacyjnych zostały dokładnie przedstawione w artykule [8].

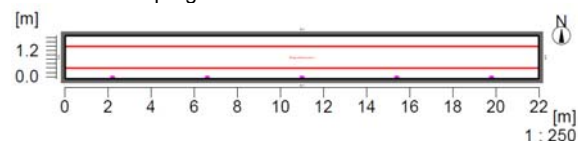
### Projekty oświetlenia ewakuacyjnego

Do wykonania projektów oświetlenia ewakuacyjnego wybrano dwa komercyjne programy wspomagające projektowanie oświetlenia DIALUX i RELUX. W obu programach przyjęto najdokładniejszą z możliwych siatkę obliczeniową, która wynosiła 4 096 punktów (128 x 32). Do obliczeń w obu programach przyjęto opcję wykorzystującą tylko składową bezpośrednią, tzn. współdziałanie światła odbitego nie było uwzględnione – co jest zgodne z wymaganiami dla projektowania oświetlenia awaryjnego. Ponadto w wykonanych projektach oświetleniowych przyjęto zerowe współczynniki odbicia ścian, sufitu oraz podłogi oraz współczynnik konserwacji równy 0,77 (wartość sugerowana przez oba programy). Projekty oświetlenia ewakuacyjnego wykonano dla korytarza o wymiarach 22 x 2 x 2,28 m. W związku z tym, w obu programach do obliczeń natężenia oświetlenia zostały przyjęte: centralny pas drogi o wymiarach ewakuacyjnej 22 x 1 m oraz umiejscowiona pośrodku tej drogi linia o długości 22 m.

Oprawy ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL zostały w obu projektach umiejscowione na ścianie na wysokości 0,58 m względem podłogi. Wymiar ten, jak i odległość pomiędzy oprawami wynosząca 4,4 m (odległości od krótszych ścian 2,2 m) zostały narzucone poprzez istniejącą instalację oświetlenia ewakuacyjnego. Na rys. 6 przedstawiono przykładowy plan rozmieszczenia tych opraw w programie DIALUX, a w programie RELUX na rys. 7.



Rys. 6. Plan rozmieszczenia opraw ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL w programie DIALUX

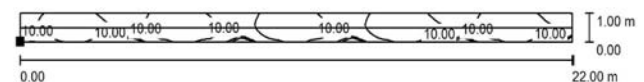


Rys. 7. Plan rozmieszczenia opraw ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL w programie RELUX

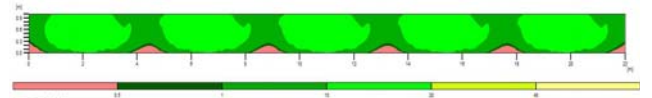
Pozostałe oprawy zostały umiejscowione w obu programach na ścianie na wysokości 2,0 m względem podłogi (0,28 m od sufitu) i w odległościach wynikających z projektów dla poszczególnych opraw.

### Wyniki projektów oświetlenia ewakuacyjnego

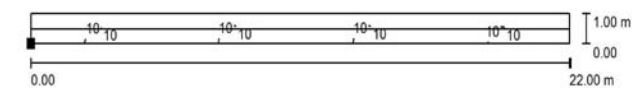
Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia w postaci izolinii dla wykonanych projektów przedstawiono na rysunkach 8.1 do 8.10. Natomiast uzyskane z symulacji komputerowych wartości minimalnego oraz maksymalnego natężenia oświetlenia dla środkowej linii oraz centralnego pasa drogi ewakuacyjnej zamieszczono w tabeli 1. W tabeli tej podano również wyznaczone stosunki wartości maksymalnej do minimalnej natężenia oświetlenia dla obu obszarów pomiarowych.



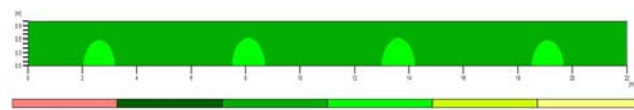
Rys. 8.1. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL uzyskane w programie DIALUX



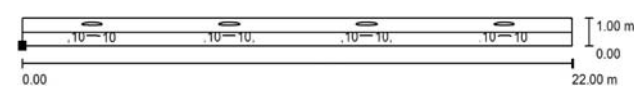
Rys. 8.2. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL uzyskane w programie RELUX



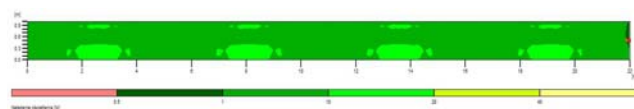
Rys. 8.3. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw DISCRET N, 4 x 1 LED, AT firmy AMATECH uzyskane w programie DIALUX



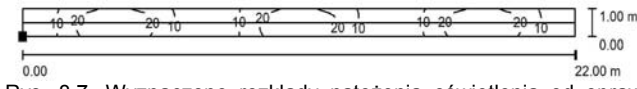
Rys. 8.4. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw DISCRET N, 4 x 1 LED, AT firmy AMATECH uzyskane w programie RELUX



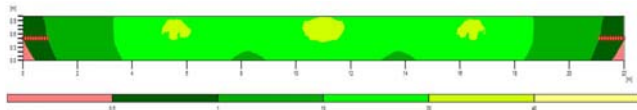
Rys. 8.5. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw ALFA III, AT, AL3/4/4/AS/1H firmy AMATECH uzyskane w programie DIALUX



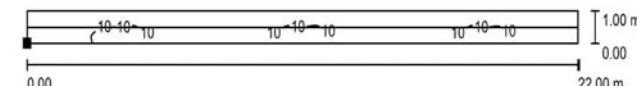
Rys. 8.6. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw ALFA III, AT, AL3/4/4/AS/1H firmy AMATECH uzyskane w programie RELUX



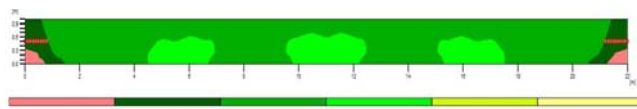
Rys. 8.7. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw HERKULES-P ROAD AT 1J LED 5 firmy HYBRYD uzyskane w programie DIALUX



Rys. 8.8. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw HERKULES-P ROAD AT 1J LED 5 firmy HYBRYD uzyskane w programie RELUX



Rys. 8.9. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw KWADRA SIDE N AT 1J LED 3 firmy HYBRYD uzyskane w programie DIALUX



Rys. 8.10. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw KWADRA SIDE N AT 1J LED 3 firmy HYBRYD uzyskane w programie RELUX

### Badania poprawności symulacji komputerowych - wpływ wartości współczynników odbić

Sprawdzono wpływ uzyskiwanych wyników na przyjmowanie niezerowych współczynników odbić wszystkich powierzchni we wnętrzu.

W obu programach przyjęto opcję obliczeń wykorzystującą składową bezpośrednią, tzn. współdziałanie światła odbitego nie było uwzględnione – co jest zgodne z wymaganiami dla projektowania oświetlenia awaryjnego. Najpierw przyjęto zerowe współczynniki odbicia ścian, sufitu i podłogi, a w drugim odpowiednio: 50%, 70% i 20%. Na podstawie wykonanych w obu programach symulacji, dla pięciu badanych typów opraw, stwierdzono, że uzyskane wyniki wartości minimalnej i maksymalnej natężenia oświetlenia w środkowej linii oraz na centralnym pasie drogi ewakuacyjnej nie różniły się w żadnym z obliczanych przypadków nawet o setne części luxa i były identyczne z wartościami zamieszczonymi w tabeli 5.1. Na tej podstawie można potwierdzić, że wybranie opcji obliczeń dla oświetlenia ewakuacyjnego wykorzystującą składową bezpośrednią zeruje „automatycznie” współczynniki odbić.

### Badania poprawności symulacji komputerowych - wpływ liczby punktów siatki obliczeniowej

Zbadano także wpływ na wyniki pomiarów przyjętej liczby punktów siatki obliczeniowej. Pomimo zmiany deklarowanej liczby punktów w programie RELUX, np. z 128 x 32 na 43 x 3, uzyskane wyniki obliczeń nie uległy zmianie. Natomiast w programie DIALUX przy takiej samej zmianie liczby punktów, uzyskano te same wyniki natężenia oświetlenia na środkowej linii drogi ewakuacyjnej, a w

Tabela 5.1. Zestawienie wyników wartości natężenia oświetlenia ewakuacyjnego uzyskane z symulacji komputerowych

Typ oprawy / producent	Program projektowy	Środkowa linia drogi ewakuacyjnej			Centralny pas drogi ewakuacyjnej		
		$E_{max}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max} / E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max} / E_{min}$ [lx]
ORILED 2/1W LED ZUMTOBEL	DIALUX	14,0	2,94	4,76 : 1	19,0	<b>0,13</b>	<b>146 : 1</b>
	RELUX	14,6	1,5	9,73 : 1	19,8	<b>0,0</b>	---
DISCRET N, 4 x 1 LED, AMATECH	DIALUX	10,78	1,94	5,56 : 1	12,0	1,85	6,49 : 1
	RELUX	10,5	1,5	7,0 : 1	11,7	1,4	8,36 : 1
ALFA III, AT, AL3/4/4/ AS AMATECH	DIALUX	6,0	1,32	4,55 : 1	16,0	1,04	15,38 : 1
	RELUX	5,8	<b>0,8</b>	7,25 : 1	16,7	0,7	23,86 : 1
HERKULES-P ROAD AT HYBRYD	DIALUX	28,0	2,8	10 : 1	30,0	2,48	12,1 : 1
	RELUX	20,8	<b>0,5</b>	<b>41,6 : 1</b>	21,2	<b>0,4</b>	<b>53 : 1</b>
KWADRA SIDE N AT HYBRYD	DIALUX	10,5	1,89	5,56 : 1	13,0	1,48	8,78 : 1
	RELUX	11,1	<b>0,6</b>	18,5 : 1	12,8	<b>0,3</b>	<b>42,67 : 1</b>

Boldem zaznaczono wartości nie spełniające wymagań normy PN-EN 1838E: 2012 [4].

centralnym pasie tej drogi uzyskano już inne wartości (tabela 2).

### Wnioski z badania poprawności symulacji komputerowych

Zmniejszeniu liczby punktów obliczeniowych w programie DIALUX, w przypadku wszystkich badanych opraw, towarzyszy:

- zmniejszenie wartości maksymalnego natężenia oświetlenia na centralnym pasie drogi ewakuacyjnej,
- zwiększenie wartości minimalnego natężenia oświetlenia na centralnym pasie drogi ewakuacyjnej.

Po zmianie siatki pomiarowej, poza oprawą ORILED firmy ZUMTOBEL, w pozostałych przypadkach nadal uzyskano spełnienie wymagań normy [4].

Tabela 2. Zestawienie wyników wartości natężenia oświetlenia ewakuacyjnego uzyskane z symulacji komputerowych w programie DIALUX z dwoma wartościami siatki obliczeniowej

Typ oprawy / producent	Liczba punktów obliczeniowych DIALUX	Środkowa linia drogi ewakuacyjnej			Centralny pas drogi ewakuacyjnej		
		$E_{max}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max} / E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max} / E_{min}$ [lx]
ORILED 2/1W LED ZUMTOBEL	128 x 32	14,0	2,94	4,76 : 1	19,0	<b>0,13</b>	<b>146 : 1</b>
	43 x 3	14,0	2,94	4,76 : 1	15,0	<b>0,44</b>	34,1 : 1
DISCRET N, 4 x 1 LED, AMATECH	128 x 32	10,78	1,94	5,56 : 1	12,0	1,85	6,49 : 1
	43 x 3	10,78	1,94	5,56 : 1	11,0	2,02	5,45 : 1
ALFA III, AT AL3/4/ AS AMATECH	128 x 32	6,0	1,32	4,55 : 1	16,0	1,04	15,38 : 1
	43 x 3	6,0	1,32	4,55 : 1	14,0	1,48	9,46 : 1
HERKULES-P ROAD HYBRYD	128 x 32	28,0	2,8	10 : 1	30,0	2,48	12,1 : 1
	43 x 3	28,0	2,8	10 : 1	29,0	2,9	10 : 1
KWADRA SIDE N AT HYBRYD	128 x 32	10,5	1,89	5,56 : 1	13,0	1,48	8,78 : 1
	43 x 3	10,5	1,89	5,56 : 1	12,0	1,74	6,9 : 1

Boldem zaznaczono wartości nie spełniające wymagań normy PN-EN 1838: 2012E [4].

W przypadku opraw DISCRET N firmy AMATECH projekty oświetlenia ewakuacyjnego wykonane z wykorzystaniem obu programów spełniają wszystkie wymagane parametry zawarte w normie [4].

Dla opraw ALFA III firmy AMATECH oraz opraw HERKULES-P ROAD i KWADRA SIDE firmy HYBRYD stwierdzono tę samą prawidłowość, tzn. w przypadku projektów wykonanych w programie DIALUX występuje spełnianie wszystkich parametrów wymaganych przez normę [4], natomiast projekty wykonane z wykorzystaniem programu RELUX nie spełniają wymagań tej normy. Nie są to duże rozbieżności względem wymagań normatywnych i są one możliwe do usunięcia w prosty sposób, np. poprzez zmianę odległości pomiędzy oprawami. Jednak ideą wykonania symulacji było przede wszystkim porównanie wyników pomiędzy obu programami. W związku z czym w obu programach przyjęto te same parametry wyjściowe oraz wysokość zawieszenia i rozmieszczenie opraw.

Natomiast na podstawie analizy porównawczej wyników natężenia oświetlenia dla tych samych obszarów uzyskanych z programu DIALUX i RELUX można stwierdzić, że:

- w pięciu przypadkach (z pominięciem oprawy ORILED firmy ZUMTOBEL) wyniki natężenia oświetlenia otrzymane z programu RELUX nie spełniają wymagań normy [4], (dla trzech z czterech badanych opraw). Natomiast wyznaczone wartości natężenia w programie DIALUX są we wszystkich przypadkach poprawne,
- regułą jest, że dla wszystkich badanych przypadków nie spełnienie wymagań normatywnych w zakresie natężenia oświetlenia związane jest z brakiem spełnienia wymagania w zakresie stosunku maksymalnego do minimalnego natężenia oświetlenia,
- w znacznej większości przypadków - 16 na 20 - wartości natężenia oświetlenia wyznaczone z wykorzystaniem programu DIALUX są większe od wyznaczonych z wykorzystaniem programu RELUX;
- w 14 przypadkach na 20 różnice pomiędzy wartościami natężenia oświetlenia były nieznaczne – maksymalnie do 2 lx, natomiast maksymalne różnice wynoszące 7,2 i 8,8 lx dotyczyły tylko jednej oprawy – HERKULES-P ROAD firmy HYBRYD.

## Wnioski końcowe

Na podstawie zestawionych wyników można stwierdzić, że projekty oświetlenia wykonane w obu programach z wykorzystaniem opraw firmy ZUMTOBEL nie spełniają wymagań normy [4] w zakresie minimalnego poziomu natężenia oświetlenia w pasie centralnym drogi ewakuacyjnej. Oczywiście można było wykonać prawidłowo te projekty jednak wysokość i rozmieszczenie opraw było narzucone istniejącą instalacją. Niestety, ale nie było możliwości zmiany miejsca zamontowania tych opraw w ścianie. W związku z tym przyjęto wykonany w ten sposób projekt, którego celem było porównanie wyników symulacji i pomiarów natężenia oświetlenia.

## Podsumowanie

Oba programy wspomagające projektowanie oświetlenia ewakuacyjnego mają pewne wady i zalety, w związku z czym nie można podjąć jednoznacznej decyzji dotyczącej wskazania lepszego programu. Jedynie z powodu uzyskiwania mniejszych wartości natężenia oświetlenia w programie RELUX, te projekty można uznać za bardziej restrykcyjne czy „bezpieczne”. Jednak niewiadomą jest na tym etapie, jak te wartości natężenia oświetlenia przekładają się na wartości rzeczywiste.

*Publikacja opracowana na podstawie wyników uzyskanych w ramach III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowywanego w latach 2014-2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy.*

**Autor:** mgr inż. Andrzej Pawlak, Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy, 00-701 Warszawa, ul. Czerniakowska 16, e-mail: [anpaw@ciop.pl](mailto:anpaw@ciop.pl)

## LITERATURA

- [1] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. DzU z 2002 r. nr 75, poz. 690 z późniejszymi zmianami.
- [2] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 27 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania. DzU z 2010 r. nr 85 poz. 553.
- [3] Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów. DzU z 2010 r. nr 109, poz. 719.
- [4] PN-EN 1838: 2013E Zastosowanie oświetlenia. Oświetlenie awaryjne.
- [5] Katalog firmy ZUMTOBEL.
- [6] Katalog wyrobów firmy AMATECH.
- [7] Katalog firmy HYBRYD.
- [8] Pawlak A.: Zasady eksploatacji systemów oświetlenia awaryjnego. *Przegląd Elektrotechniczny*, 91 (2015), nr. 7, 62-66.