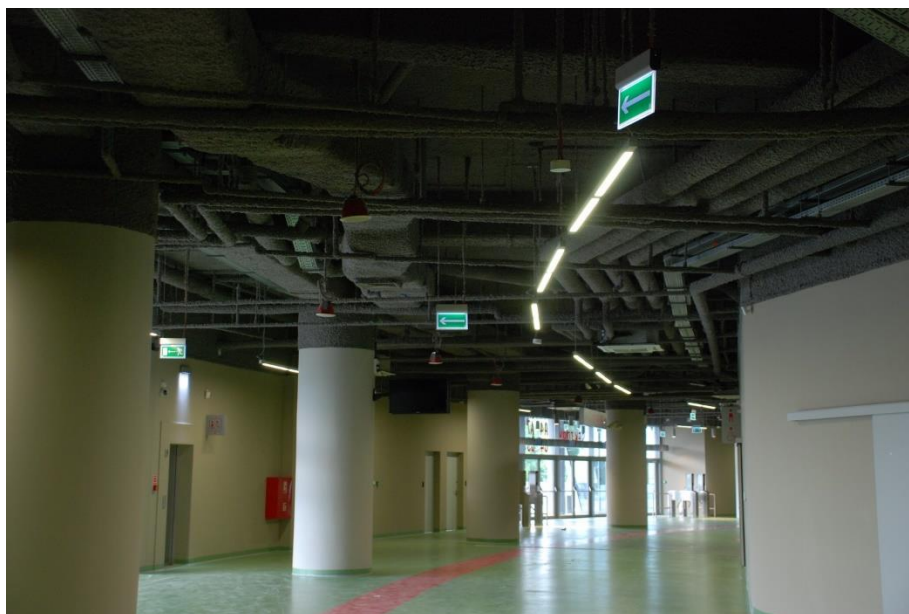


Materiały informacyjne
Oświetlenie ewakuacyjne - projektowanie - metody
badania – minimalizacja błędów pomiarowych



Wykorzystano wyniki III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowanego 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.

Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Zadanie 2.Z.08: Opracowanie metody badania oraz wykonanie modelu zautomatyzowanego urządzenia do pomiaru natężenia oświetlenia ewakuacyjnego

Autor:

mgr inż. Andrzej Pawlak – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Techniki Bezpieczeństwa, Pracownia Promieniowania Optycznego



Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (48-22) 623 36 98, fax (48-22) 623 36 93 www.ciop.pl

Spis treści

| | |
|--|-----------|
| I. Podstawy teoretyczne | 1 |
| 1. Cel opracowania i wprowadzenie | 1 |
| 2. Oświetlenie awaryjne | 2 |
| 2.1. Rozporządzenia | 2 |
| 2.2. Normy | 5 |
| 3. Oświetlenie awaryjne – zasady stosowania | 7 |
| 3.1. Rodzaje i cele oświetlenia awaryjnego | 7 |
| 3.2. Oświetlenie ewakuacyjne | 8 |
| 3.3. Oświetlenie zapasowe | 14 |
| II. Część pomiarowa | 15 |
| 4. Weryfikacja pomiarowa poprawności wyników projektów oświetlenia ewakuacyjnego | 15 |
| 4.1. Oprawy oświetlenia ewakuacyjnego | 15 |
| 4.2. Badane pomieszczenie | 17 |
| 4.3. Wymagania oświetleniowe | 18 |
| 4.4. Projekty oświetlenia ewakuacyjnego | 18 |
| 5. Badania poprawności symulacji komputerowych - wpływ wartości współczynników odbić | 22 |
| 6. Pomiary oświetlenia ewakuacyjnego w rzeczywistym korytarzu | 25 |
| 7. Weryfikacja pomiarowa w „czarnym” korytarzu projektów oświetlenia ewakuacyjnego | 30 |
| 8. Metodyka badania oświetlenia ewakuacyjnego minimalizująca błędy pomiaru wynikające z niewłaściwej korekcji przestrzennej i widmowej głowicy fotometrycznej | 32 |
| 8.1. Błędy pomiarowe wynikające z korekcji przestrzennej głowic fotometrycznych | 32 |
| 8.2. Wyznaczanie błędu korekcji przestrzennej głowic fotometrycznych | 37 |
| 8.3. Badanie wpływu korekcji przestrzennej głowic fotometrycznych na wyniki pomiarów natężenia oświetlenia w porównaniu z wynikami symulacji komputerowej instalacji oświetlenia ewakuacyjnego | 44 |
| 8.4. Błąd korekcji widmowej głowicy fotometrycznych | 47 |
| 8.5. Współczynnik korekcji barwowej | 49 |
| 8.6. Zaokrąglanie i zapis wyników pomiarów oraz ich niepewności | 52 |
| III. Automatyzacja pomiarów natężenia oświetlenia | 54 |
| 10. Model zautomatyzowanego urządzenia do pomiaru natężenia oświetlenia ewakuacyjnego | 54 |
| 10. Podsumowanie | 58 |
| 11. Bibliografia | 60 |

I. Podstawy teoretyczne

1. Cel opracowania i wprowadzenie

Celem opracowania jest przybliżenie podstawowej wiedzy z zakresu przepisów prawnych, zasad stosowania, projektowania oraz weryfikacji pomiarowej rzeczywistych instalacji oświetlenia ewakuacyjnego. Jest ono przeznaczone dla osób wykonujących pomiary tego oświetlenia, rzeczoznawców ds. zabezpieczeń pożarowych, inspektorów straży pożarnej i wszystkich zajmujących się tą dziedziną.

Oświetlenie elektryczne jest podstawowym czynnikiem niezbędnym do funkcjonowania w XXI wieku. Pozwala ono na uniezależnienie życia na Ziemi od pór roku oraz dnia i nocy. Trudno wyobrazić sobie jego nagły i długotrwały brak. W takim przypadku 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 (np. operacji w szpitalu, czy niebezpiecznych procesów technologicznych). Stajemy się wówczas bezradni, wzrasta w nas poczucie zagrożenia, może powstać panika. 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, lub bezpiecznego zakończenia realizowanych procesów - są to oprawy oświetlenia zapasowego. Oba rodzaje tych opraw zalicza się do grupy opraw oświetlenia awaryjnego. 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 - zgodnie z wymaganiami zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [3]. Natomiast zgodnie z rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów [4] oprawy oświetlenia awaryjnego są urządzeniami przeciwpożarowymi (§ 2 ust. 7). W związku z takim zapisem budynki i obiekty budowlane, a przede wszystkim obiekty użyteczności publicznej, a także ogólnodostępne drogi w budynkach wielorodzinnych, muszą być wyposażone w urządzenia przeciwpożarowe, czyli między innymi, w oprawy oświetlenia awaryjnego. 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 kilku powiązanych ze sobą normach. Zawarte w nich wymagania precyzują wartości minimalne, które powinny spełniać systemy oświetlenia awaryjnego. Przy projektowaniu oświetlenia awaryjnego należy również pamiętać, że szczególnie ludzie starsi potrzebują więcej światła i więcej czasu, aby przystosować się do niskiego poziomu oświetlenia na drodze ewakuacyjnej podczas zagrożenia. Wiele strachu i zamieszania można uniknąć dzięki poprawnemu zaprojektowaniu i wykonaniu instalacji oświetlenia awaryjnego, które dobrze oświetli drogę z miejsca przebywania do wyjścia ewakuacyjnego. Rozporządzenie [4] stanowi także, że urządzenia przeciwpożarowe, czyli w tym przypadku oświetlenie ewakuacyjne w obiekcie powinno być wykonane zgodnie z projektem uzgodnionym pod względem ochrony przeciwpożarowej przez rzeczoznawcę do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych. Natomiast warunkiem dopuszczenia do użytkowania tego rodzaju oświetlenia jest przeprowadzenie odpowiednich prób i badań potwierdzających prawidłowość jego działania.

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.

2. Oświetlenie awaryjne

2.1. Rozporządzenia

Wymagania, które mają spełnić instalacje oświetlenia awaryjnego określone są w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [3]. W paragrafie 181, punkt 1 tego rozporządzenia zostało napisane: budynek, w którym zanik napięcia w elektrycznej sieci zasilającej może spowodować zagrożenie życia lub zdrowia ludzi, poważne zagrożenie środowiska, a także znaczne straty materialne, należy zasiląć co najmniej z dwóch niezależnych, samoczynnie załączających się źródeł energii elektrycznej oraz wyposażać w samoczynnie załączające się oświetlenie awaryjne (zapasowe i ewakuacyjne). W budynku wysokościowym jednym ze źródeł zasilania powinien być zespół prądotwórczy. W punkcie 2 określono sytuacje, w których należy stosować oświetlenie awaryjne i zapasowe - w pomieszczeniach, w których po zaniku oświetlenia podstawowego istnieje konieczność kontynuowania czynności w niezmienny sposób lub ich bezpiecznego zakończenia, przy czym czas działania tego oświetlenia powinien być dostosowany do uwarunkowań wynikających z wykonywanych czynności oraz warunków występujących w pomieszczeniu [3].

Rozporządzenie [3] precyzuje pomieszczenia, w których należy stosować awaryjne oświetlenie ewakuacyjne. Są to:

- widownie kin, teatrów i filharmonii oraz innych sal widowiskowych,
- audytoria, sale konferencyjne, czytelnie, lokale rozrywkowe oraz sale sportowe, przeznaczone dla ponad 200 osób,
- sale wystawowe w muzeach,
- pomieszczenia o powierzchni ponad 1 000 m², garaże oświetlone wyłącznie światłem sztucznym,
- pomieszczenia o powierzchni ponad 2 000 m² w budynkach użyteczności publicznej, budynkach zamieszkania zbiorowego oraz w budynkach produkcyjnych i magazynowych.

Oświetlenie awaryjne należy również stosować do oświetlania dróg ewakuacyjnych [2]:

- z pomieszczeń wymienionych wcześniej,
- oświetlonych wyłącznie światłem sztucznym,
- w szpitalach i innych budynkach przeznaczonych przede wszystkim do użytku osób o ograniczonej zdolności poruszania się,
- w wysokich i wysokościowych budynkach użyteczności publicznej i zamieszkania zbiorowego.

Minimalny czas działania awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego od momentu zaniku oświetlenia podstawowego określono w tym rozporządzeniu na 1 godzinę. Nie jest on wymagany w pomieszczeniach, w których awaryjne oświetlenie zapasowe zapewnia oświetlenie przez co najmniej 1 godzinę od zaniku oświetlenia podstawowego. Natomiast w pomieszczeniu, które jest użytkowane przy wyłączonym oświetleniu podstawowym, należy stosować oświetlenie dodatkowe, zasilane napięciem nieprzekraczającym napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale, służące uwidocznieniu przeszkód wynikających z układu budynku, dróg komunikacji ogólnej lub sposobu jego użytkowania, a także podświetlane znaki wskazujące kierunki ewakuacji. Należy pamiętać, że odcięcie dopływu prądu przeciwpożarowym wyłącznikiem prądu nie może powodować samoczynnego załączenia drugiego źródła energii elektrycznej, w tym zespołu prądotwórczego, z wyjątkiem źródła zasilającego oświetlenie awaryjne, jeżeli występuje ono w budynku (§ 183 ustęp 4 [3]). W odniesieniu do kwestii ewakuacji oraz oznakowania dróg ewakuacyjnych nowelizacje rozporządzenia Ministra Infrastruktury nie wprowadziły zmian w odwołaniu do norm. Nadal pozostało odwołanie do polskich norm: PN-N-01256-02: 1992 Znaki bezpieczeństwa - ewakuacja [14], PN-N-01256-05: 1998 Zasady umieszczania znaków bezpieczeństwa na drogach ewakuacyjnych i drogach pożarowych [15], PN-ISO 7010: 2006 Symbole graficzne.

Barwy bezpieczeństwa i znaki bezpieczeństwa. Znaki bezpieczeństwa stosowane w miejscach pracy i w obszarach użyteczności publicznej [10].

Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji [5] definiuje pojęcie urządzenia przeciwpożarowego. Precyzuje elementy, które wchodzi w skład tego urządzenia wymieniając, między innymi, instalacje oświetlenia ewakuacyjnego (§ 2.1 punkt 9). W związku z takim przyporządkowaniem instalacje oświetlenia ewakuacyjnego, tak jak wszystkie urządzenia przeciwpożarowe powinny być poddawane przeglądom technicznym i czynnościom konserwacyjnym nie rzadziej niż raz w roku oraz powinny spełniać wymagania polskich norm (§ 3.1 ustęp 2 i 3 [5]). Ponadto w paragrafie 3.1 jest zapis, z którego wynika konieczność uzgadniania projektów urządzeń przeciwpożarowych z rzeczoznawcą do spraw zabezpieczeń pożarowych, a warunkiem dopuszczenia tych instalacji do użytkowania jest przeprowadzenie odpowiednich prób i badań potwierdzających prawidłowość ich działania. W rozporządzeniu tym podano szczegółowy wykaz dróg, pomieszczeń, miejsc, urządzeń i drzwi (przeciwpożarowych) (§ 4.1 ustęp 2, punkt 4 [5]), które należy oznakować znakami zgodnymi z Polskimi Normami. Odpowiedzialnymi za to są właściciele, zarządcy, lub użytkownicy budynków oraz placów składowych i wiat, z wyjątkiem budynków mieszkalnych jednorodzinnych.

Zgodnie z paragrafem 15.1 tego rozporządzenia z każdego miejsca w obiekcie przeznaczonym do przebywania ludzi, zapewnia się odpowiednie warunki ewakuacji, umożliwiające szybkie i bezpieczne opuszczanie strefy zagrożonej lub objętej pożarem, dostosowane do liczby i stanu sprawności osób przebywających w obiekcie oraz jego funkcji, konstrukcji i wymiarów, a także zastosowanie technicznych środków zabezpieczenia przeciwpożarowego. Poza sprecyzowanymi wymaganiami architektonicznymi dotyczącymi wyjść ewakuacyjnych, przejść oraz dojeżdż ewakuacyjnych, wydzielenia dróg ewakuacyjnych oraz pomieszczeń, zabezpieczenia przed zadymieniem, systemu ostrzegawczego, wymieniona jest konieczność zapewnienia oświetlenia awaryjnego (ewakuacyjnego i zapasowego) w pomieszczeniach i na drogach ewakuacyjnych wymienionych w przepisach techniczno-budowlanych. Należy również pamiętać o zapisie paragrafu 16.1, z którego wynika, że użytkowany budynek uznaje się za zagrażający życiu ludzi, gdy występujące w nim warunki techniczne nie zapewniają możliwości ewakuacji ludzi, między innymi z powodu braku wymaganego oświetlenia awaryjnego w odniesieniu do strefy pożarowej albo drogi ewakuacyjnej prowadzącej z tej strefy na zewnątrz budynku.

Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania [4]

wprowadziło obowiązek uzyskania dopuszczenia do użytkowania znaków bezpieczeństwa, w tym ewakuacyjnych oraz opraw oświetleniowych do oświetlenia awaryjnego (pozycja 13.2 załącznika). Obowiązek ten dotyczy również opraw oświetlenia podstawowego podłączonych do baterii centralnej oraz opraw oświetlenia podstawowego z modułem awaryjnym. Znaki ewakuacyjne stosowane do oznaczania drogi ewakuacyjnej oraz czynności związanych z ewakuacją muszą spełniać wymagania zawarte w PN-N-01256-02: 1992 [14] lub PN-ISO 7010: 2006 [10]. Natomiast oprawy oświetlenia awaryjnego powinny być zgodne z PN-EN 60598-2-22: 2004 Oprawy oświetleniowe. Część 2-22: 2004 [9]. Dodatkowo spełnienie wymagań powinno być potwierdzone stosownym dokumentem. Najbardziej wiarygodnym dokumentem jest certyfikat wydany przez akredytowane laboratorium.

2.2. Normy

W świetle zapisów zawartych w rozporządzeniach [3, 5] oświetlenie awaryjne należy wykonywać zgodnie z polskimi normami dotyczącymi wymagań w tym zakresie. W związku z tym minimalne wymagania jakie muszą spełniać systemy oświetlenia awaryjnego zawarte są w podstawowej normie dotyczącej oświetlenia awaryjnego PN-EN 1838: 2005. Zastosowanie oświetlenia. Oświetlenie awaryjne [6]. Dnia 25 listopada 2013 r., zgodnie z zaleceniami unijnymi, Prezes PKN zatwierdził jako Normę Polską znowelizowaną wersję normy europejskiej PN-EN 1838: 2013E [7]. Jest to tzw. norma okładkowa, której przetłumaczono tylko tytuł, a cała treść jest w języku angielskim.

W paragrafie 181 ustęp 7 Rozporządzenia [3] przytoczone są jeszcze dwie normy dotyczące oświetlenia awaryjnego: PN-EN 50172: 2005 Systemy awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego [8] i PN-EN 60598-2-22: 2004+AC: 2006 Oprawy oświetleniowe. Część 2-22: Wymagania szczegółowe. Oprawy oświetleniowe do oświetlenia awaryjnego [9].

Zapisy normy PN-EN 50172: 2005 [8] dotyczą oświetlenia dróg ewakuacyjnych i znaków bezpieczeństwa w przypadku uszkodzenia zasilania podstawowego. Określono w niej minimalne wymagania awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego w zależności od wielkości, typu i przeznaczenia obiektu we wszystkich miejscach pracy i obiektach użyteczności publicznej oraz na ogólnie dostępnych drogach w wielopiętrowych domach mieszkalnych. Określono także wymagania dotyczące oświetlenia zapasowego stosowanego jako awaryjne oświetlenie ewakuacyjne.

W normie tej rozróżnione są cztery funkcje awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego:

- oświetlanie znaków drogi ewakuacyjnej,

- zapewnianie natężenia oświetlenia na drogach ewakuacyjnych i wzdłuż nich w taki sposób, aby umożliwić bezpieczny ruch w kierunku wyjścia do bezpiecznego miejsca ewakuacji,
- rozmieszczenie punktów alarmu pożarowego i sprzętu przeciwpożarowego wzdłuż dróg ewakuacyjnych w taki sposób, aby mogły być łatwo zlokalizowane i użyte,
- umożliwianie działań związanych ze środkami bezpieczeństwa.

Awaryjne oświetlenie ewakuacyjne należy uruchamiać nie tylko w przypadku całkowitego uszkodzenia zasilania oświetlenia podstawowego, ale również w przypadku lokalnego uszkodzenia, takiego jak np. uszkodzenia obwodu końcowego. Awaryjne oświetlenie ewakuacyjne nie jest zaprojektowane w celu umożliwienia normalnych działań w obiekcie w przypadku uszkodzenia oświetlenia podstawowego lub zapasowego. Zasadniczy podział systemów oświetlenia awaryjnego związany jest ze sposobem zasilania opraw. Oprawy oświetlenia awaryjnego mogą posiadać wewnętrzne źródło zasilania (akumulatory) lub być zasilane ze źródła zewnętrznego (centralna bateria akumulatorów). W przypadku oświetlenia awaryjnego dróg ewakuacyjnych o wiele bardziej praktycznym rozwiązaniem są systemy oświetlenia awaryjnego oparte na oprawach z własnym akumulatorem. Najważniejszą zaletą tych systemów jest rozproszenie bezpieczeństwa na wszystkie oprawy oświetlenia awaryjnego w obiekcie, z których każda przełącza się w tryb pracy awaryjnej niezależnie od innych urządzeń systemu. Takie rozwiązanie eliminuje największą wadę systemów z centralną baterią, w których każda oprawa musi być włączona przez jedno urządzenie, jakim jest właśnie centralna bateria. Wynika z tego, że uszkodzenie centralnej baterii może całkowicie pozbawić obiekt oświetlenia awaryjnego aż do czasu usunięcia awarii. Taka sytuacja w obiektach działających w systemie całodobowym, takich jak hotele czy szpitale, jest niedopuszczalna, ponieważ stwarza zagrożenie dla wszystkich osób przebywających w tych obiektach [1].

W normie PN-EN 60598-2-22: 2004 [9] zamieszczono wymagania dotyczące opraw oświetleniowych do oświetlania awaryjnego z elektrycznymi źródłami światła zasilanymi z awaryjnych źródeł zasilania o napięciu nie przekraczającym 1 000 V. Przedstawiono wymagania dotyczące badań tych opraw, a także ich klasyfikację, sposób znakowania, budowę oraz aspekty dotyczące bezpieczeństwa funkcjonalnego. W załączniku A scharakteryzowano wymagania jakie powinny spełniać akumulatory stosowane w indywidualnych oprawach oświetlenia awaryjnego. Z zapisów tej normy wynika również, że oprawy oświetlenia awaryjnego z własnym źródłem zasilania powinny być wyposażone w wewnętrzny układ testujący lub być podłączone do zdalnego układu testującego. Testowanie musi odbywać się bez konieczności wyłączenia zasilania. Również akumulatorki do

awaryjnego zasilania oświetlenia należy sprawdzać i testować nie rzadziej niż raz w roku. Takie zalecenia są obowiązkowe w nowo budowanych lub remontowanych budynkach [1].

Ponadto należy jeszcze wspomnieć o grupie norm dotyczących symboli graficznych oraz barw bezpieczeństwa i znaków bezpieczeństwa. Opisano w nich barwy identyfikujące bezpieczeństwo oraz zasady projektowania znaków bezpieczeństwa (PN-ISO 3864-1: 2006 [11]) oraz symbole graficzne do użycia w znakach bezpieczeństwa (ISO 3864-3: 2012E [12]) przeznaczonych do stosowania w miejscach pracy i w obszarach użyteczności publicznej do celów zapobiegania wypadkom, ochrony przeciwpożarowej, informacji o zagrożeniu zdrowia i ewakuacji w sytuacji zagrożenia. Natomiast w normie ISO 3864-4: 2011 [13] omówiono kolorymetryczne i fotometryczne zasady dla znaków bezpieczeństwa i materiałów dla tych znaków.

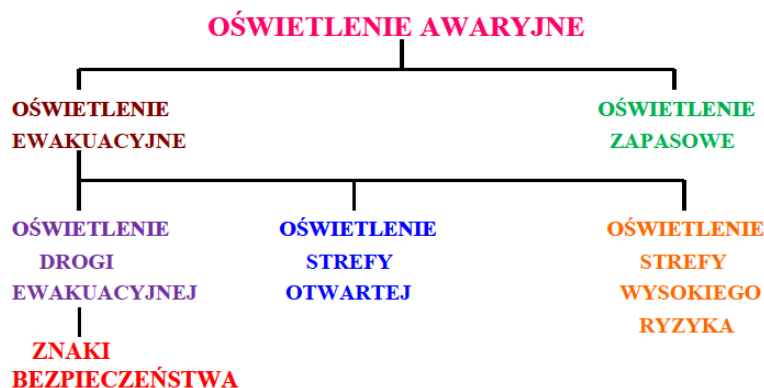
3. Oświetlenie awaryjne – zasady stosowania

3.1. Rodzaje i cele oświetlenia awaryjnego

Rodzaje i cele oświetlenia awaryjnego, oświetlenia ewakuacyjnego oraz zapasowego zostały omówione na podstawie zapisów normy PN-EN 1838: 2005 [6] oraz norm do których się ona odwołuje, tzn. PN-EN 50172: 2005. Systemy awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego [8] oraz PN-EN 60598-2-22: 2004. Oprawy oświetleniowe. Część 2-22 [9]. Zamieszczono również zmiany, które wprowadziła znowelizowana wersja normy PN-EN 1838: 2013E [7].

Podstawowym celem oświetlenia awaryjnego jest oświetlenie stanowisk pracy, pomieszczeń i dróg ewakuacyjnych, zgodnie z odpowiednimi wymaganiami, po zaniku zasilania opraw oświetlenia podstawowego. W związku z tym oprawy do oświetlenia awaryjnego muszą być zasilane ze źródła niezależnego od źródła zasilania opraw do oświetlenia podstawowego.

W normie PN-EN 1838: 2005 [6] oświetlenie awaryjne przedstawione jest jako ogólne określenie dwóch podstawowych rodzajów oświetlenia: oświetlenia ewakuacyjnego i zapasowego. W zależności od miejsca zastosowania oświetlenie ewakuacyjne może dotyczyć oświetlenia drogi ewakuacyjnej, strefy otwartej lub strefy wysokiego ryzyka (rys. 3.1). Natomiast w normie PN-EN 1838: 2013E [7] dodano jeszcze znaki bezpieczeństwa w gałęzi oświetlenia ewakuacyjnego, przypisując je do oświetlenia drogi ewakuacyjnej (rys. 3.1).



Rys. 3.1. Rodzaje oświetlenia awaryjnego [4]

3.2. Oświetlenie ewakuacyjne

Ogólnym celem oświetlenia ewakuacyjnego jest zapewnienie bezpiecznego wyjścia z miejsca pobytu podczas zaniku podstawowego zasilania. W skład oświetlenia ewakuacyjnego wchodzi:

- oświetlenie drogi ewakuacyjnej, którego celem jest zapewnienie bezpiecznego opuszczenia miejsc przebywania poprzez stworzenie warunków widzenia umożliwiających identyfikację i użycie dróg ewakuacyjnych oraz łatwe zlokalizowanie i użycie sprzętu pożarowego i sprzętu bezpieczeństwa;
- oświetlenie strefy otwartej (zapobiegającego panice), którego celem jest zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia paniki i umożliwienie bezpiecznego ruchu osób w kierunku dróg ewakuacyjnych poprzez zapewnienie warunków widzenia umożliwiających dotarcie do miejsca, z którego może być rozpoznana droga ewakuacyjna;
- oświetlenie strefy wysokiego ryzyka, którego celem jest zwiększenie bezpieczeństwa osób biorących udział w potencjalnie niebezpiecznym procesie lub znajdujących się w potencjalnie niebezpiecznej sytuacji, a także umożliwienie właściwego zakończenia działań w sposób bezpieczny dla osób przebywających w tej strefie.

W znowelizowanej normie PN-EN 1838: 2013E [7] dodano jeszcze w tej części zapis dotyczący znaków bezpieczeństwa, których cel stosowania jest praktycznie identyczny jak oświetlenia drogi ewakuacyjnej. Ponadto podano kilka uzupełniających wymagań dotyczących stosowania oświetlenia ewakuacyjnego. Otóż instalowanie, testowanie, konserwacja tego oświetlenia musi być zgodne z zapisami zawartymi w normach PN-EN 60598-2-22: 2004 [9], PN-EN 50 172: 2005 [8], a testowanie - tylko automatyczne - co wynika z zapisów normy PN-EN 62034: 2012E [7]. Wymagania parametrów oświetlenia ewakuacyjnego dotyczą wartości minimalnych i muszą być spełnione przez cały okres jego użytkowania. Projekt oświetlenia ewakuacyjnego powinien być wykonany dla najgorszych

warunków oświetleniowych (np. minimalny strumień świetlny, maksymalne ośnienie) z pominięciem odbić wielokrotnych od ścian i wyposażenia wnętrza. Zapis ten oznacza, że w projekcie należy uwzględnić tylko bezpośredni strumień świetlny emitowany przez oprawy - poprzez wprowadzenie do projektu zerowych współczynników odbicia ścian. W przypadku oświetlenia pośredniego w projekcie należy uwzględnić tylko jednokrotne odbicie strumienia świetlnego od sufitu, który jest traktowany jako wtórne źródło światła, natomiast kolejne odbicia należy pominąć. Dalej podany jest wymóg dotyczący poprawy widoczności w czasie ewakuacji poprzez takie rozmieszczenie opraw oświetlenia ewakuacyjnego, aby oświetlona była cała przestrzeń danego pomieszczenia, a nie tylko jego podłoga. Spełnienie tego wymogu zapewnia zamontowanie opraw i fosforescencyjnych znaków ewakuacyjnych na wysokości 2 m względem podłogi. Ponadto znaki ewakuacyjne powinny być zamontowane maksymalnie powyżej 20° ponad poziomą linią wzroku w warunkach maksymalnej odległości widzenia danego znaku. Znaki te powinny być oświetlane przez oprawy w celu zapewnienia ich świecenia po zaniku oświetlenia podstawowego - co istotnie wpływa na poprawę ich widoczności, przez co zapewniony zostanie jednoznaczny kierunek do miejsca ewakuacji. Pojęcie miejsca ewakuacji (place of safety) zostało po raz pierwszy wprowadzone w znowelizowanej normie PN-EN 1838: 2013E [7] punkt 3.12. Zdefiniowano je jako miejsce, w którym uciekający ludzie mogą się zebrać i nie grozi im w tym miejscu ryzyko wystąpienia jakiegokolwiek niebezpieczeństwa.

W związku z powyższymi przedstawionymi celami, oświetlenie ewakuacyjne musi zapewnić oświetlenie określonej strefy, w sposób niezwłoczny, automatyczny i na wystarczający czas, w przypadku gdy zawiedzie zasilanie oświetlenia podstawowego. Wytwarzany przez nie poziom natężenia oświetlenia na drogach ewakuacyjnych musi zapewnić bezpieczny ruch w kierunku wyjścia awaryjnego, czy do miejsca ewakuacji. Natomiast oświetlenie ewakuacyjne nie jest zaprojektowane w celu umożliwienia kontynuowania normalnych działań w określonym obiekcie w przypadku uszkodzenia oświetlenia podstawowego lub zapasowego. Musi ono przede wszystkim zapewnić właściwą widzialność umożliwiającą bezpieczną ewakuację.

Ogólne zasady umieszczania opraw awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego

Oświetlenie drogi ewakuacyjnej za pomocą opraw awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego powinno być tak zaprojektowane, aby uszkodzenie jednej oprawy nie spowodowało, że droga stanie się ciemna lub, że będzie utrudnione lub niemożliwe znalezienie kierunku ewakuacji. Oznacza to w praktyce, że system oświetlenia ewakuacyjnego powinien być zbudowany z co najmniej dwóch lub większej liczby opraw

znajdujących się w jednym pomieszczeniu. Ten sam wymóg dotyczy również oświetlania strefy otwartej. W celu zapewnienia właściwej widzialności umożliwiającej bezpieczną ewakuację wymaga się, aby oprawy oświetleniowe umieszczane były co najmniej 2 m nad podłogą [6, 7]. W celu zapewnienia odpowiedniego poziomu natężenia oświetlenia, oprawy oświetleniowe przeznaczone do oświetlenia ewakuacyjnego powinny być umieszczane:

- a) przy każdym wyjściu ewakuacyjnym i znakach bezpieczeństwa,
- b) w pobliżu (tzn. w odległości 2 m mierzonej w poziomie) schodów, tak by każdy stopień był oświetlony bezpośrednio,
- c) w pobliżu (w odległości 2 m) każdej zmiany poziomu,
- d) przy każdej zmianie kierunku i każdym skrzyżowaniu korytarzy,
- e) na zewnątrz i w pobliżu (w odległości 2 m) każdego wyjścia końcowego,
- f) w pobliżu (w odległości 2 m) każdego punktu pierwszej pomocy oraz urządzenia przeciwpożarowego i przycisku alarmowego.

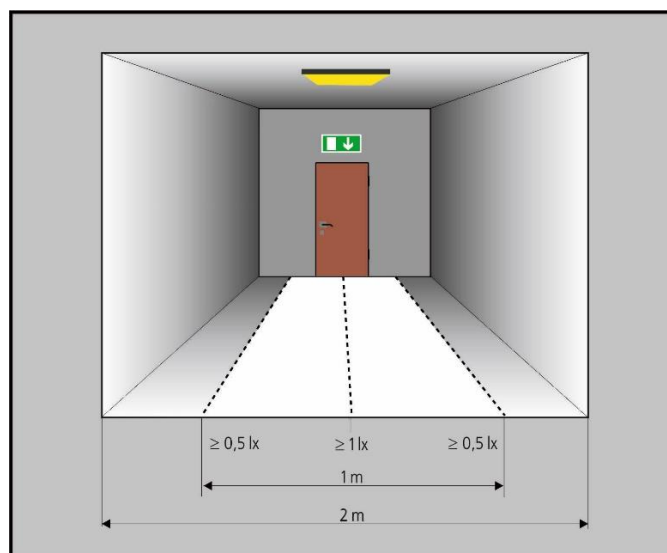
W normie PN-EN 1838: 2005 [6] jest dodana w tym miejscu informacja dotycząca oświetlenia punktów pierwszej pomocy oraz urządzeń przeciwpożarowych i przycisków alarmowych, które nie znajdują się na drodze ewakuacyjnej i w strefie otwartej. Otóż powinny być one oświetlone w taki sposób, aby na podłodze w ich pobliżu (w obrębie 2 m mierzonych w poziomie) natężenie oświetlenia wynosiło co najmniej 5 lx. Natomiast w znowelizowanej normie PN-EN 1838: 2013E [7] wspomniane natężenie oświetlenia o minimalnej wartości 5 lx musi być zawsze zapewnione przy urządzeniach wymienionych w punkcie f) i innych związanych z bezpieczeństwem przeciwpożarowym, ale w płaszczyźnie pionowej.

W normie PN-EN 1838: 2013E [7] dodano jeszcze uwagę dotyczącą sposobu oświetlania każdej zmiany kierunku i każdego skrzyżowania korytarzy, który ma zapewnić oświetlenie we wszystkich koniecznych kierunkach. Uzupełniono także wykaz miejsc, w których należy umieszczać oprawy oświetlenia ewakuacyjnego o dwa punkty dotyczące przebywających w obiekcie osób niepełnosprawnych. Są to:

- w pobliżu (tj. odległość 2 m wyznaczona w poziomie) sprzętu przeznaczonego do ewakuacji osób niepełnosprawnych,
- w pobliżu (w odległości 2 m) miejsca ewakuacji przewidzianego dla osób niepełnosprawnych i przycisku alarmowego; ponadto należy zapewnić dwukierunkowy system komunikacji w tym miejscu oraz przycisk alarmu w toalecie dla osób niepełnosprawnych.

Oświetlenie drogi ewakuacyjnej - wymagania oświetleniowe

W przypadku dróg ewakuacyjnych o szerokości do 2 m, minimalne natężenie oświetlenia na podłożu wzdłuż środkowej linii tej drogi powinno być nie mniejsze niż 1 lx. Natomiast na centralnym pasie drogi, obejmującym co najmniej połowę szerokości drogi, średnie natężenie oświetlenia powinno wynosić co najmniej 0,5 lx (rys. 3.2).



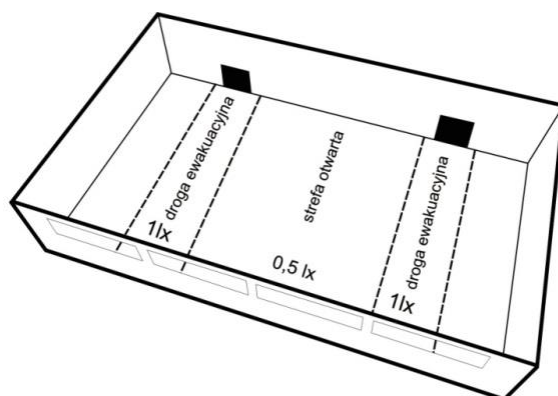
Rys. 3.2. Znormalizowany pas drogi ewakuacji

Z pozostałych wymagań oświetleniowych należy wymienić następujące:

- iloraz maksymalnego do minimalnego natężenia oświetlenia (U_d) wzdłuż centralnej linii drogi ewakuacyjnej nie powinien być większy niż 40:1,
- ośnienie przeszkadzające powinno być utrzymywane na niskim poziomie poprzez ograniczanie światłości opraw w obrębie pola widzenia; wartość maksymalna światłości uzależniona jest od wysokości zawieszenia oprawy nad poziomem podłogi i przykładowo - dla wysokości poniżej 2,5 m - powinna wynosić 500 cd, (pozostałe zależności przedstawione są w PN-EN 1838: 2005, tabela 1 [6]),
- 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.

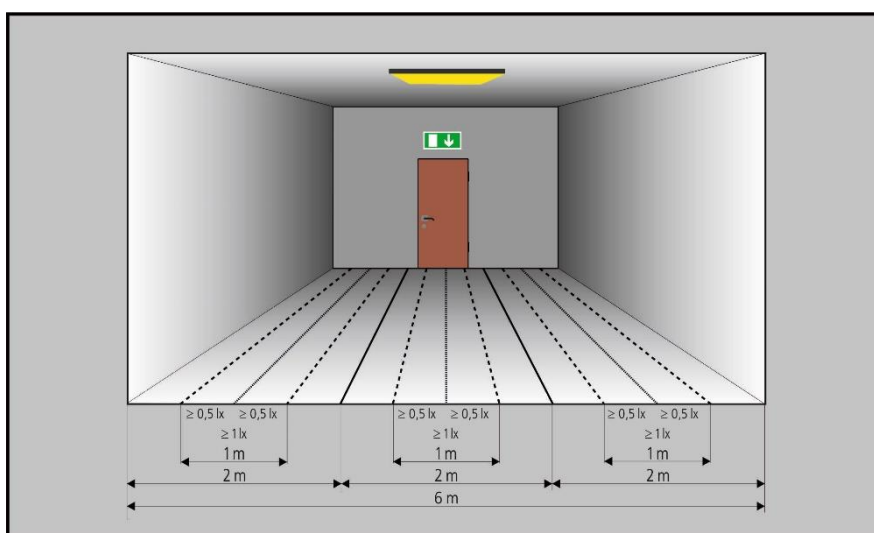
Na rysunku 3.3 pokazana jest propozycja połączenia oświetlenia drogi ewakuacyjnej oraz strefy otwartej w hali sportowej. Poprzez większy poziom natężenia oświetlenia w pasie

drogi ewakuacyjnej niż w strefie otwartej ludzie „intuicyjnie” będą się kierować w stronę widniejszych obszarów.



Rys. 3.3. Przykładowa propozycja połączenia oświetlenia drogi ewakuacyjnej oraz strefy otwartej w hali sportowej [2]

Występujące w praktyce szersze drogi ewakuacyjne mogą być traktowane jako kilka dróg o szerokości 2 m (rys. 3.4) lub mogą mieć oświetlenie jak w strefach otwartych (zapobiegające panice).

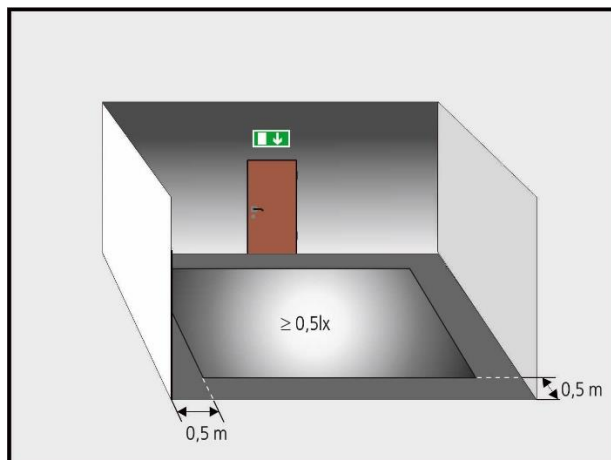


Rys. 3.4. Przykład podziału korytarza o szerokości 6 m na trzy pasy drogi ewakuacyjnej [2]

Oświetlenie strefy otwartej (zapobiegające panice)

Celem oświetlenia strefy otwartej jest zmniejszenie prawdopodobieństwa paniki i umożliwienie bezpiecznego ruchu osób w kierunku dróg ewakuacyjnych poprzez stworzenie odpowiednich warunków wizualnych w odnajdowaniu kierunku ewakuacji. Strefa otwarta jest to strefa o nieokreślonej drodze ewakuacyjnej, np. w halach czy innych obiektach, jeżeli istnieje dodatkowe zagrożenie z powodu wykorzystania tej powierzchni przez dużą liczbę osób.

W obrębie pustego pola strefy otwartej, wyodrębnionego przez wyłączenie z tej strefy obwodowego pasa o szerokości 0,5 m natężenie oświetlenia nie powinno być mniejsze niż 0,5 lx na poziomie podłogi (rys. 3.5).



Rysunek 3.5. Znormalizowany obszar dużego pomieszczenia

Z pozostałych wymagań oświetleniowych należy wymienić następujące:

- iloraz maksymalnego do minimalnego natężenia oświetlenia $U_d \leq 40:1$,
- ośnienie przeszkadzające powinno być utrzymywane na niskim poziomie przez ograniczanie wartości światłości opraw w polu widzenia; wartość maksymalna światłości, w obrębie strefy wyznaczonej kątami od 60° do 90° (liczonymi od pionu), uzależniona jest od wysokości zawieszenia oprawy nad poziomem podłogi i przykładowo - dla wysokości poniżej 2,5 m - wynosi 500 cd, (pozostałe zależności przedstawione są w PN-EN 1838: 2013E, tabela 1 [7]),
- wskaźnik oddawania barw $R_a \geq 40$,
- minimalny czas stosowania oświetlenia w celu ewakuacji powinien wynosić 1 godzinę, przy czym w strefie otwartej 50% wymaganego natężenia oświetlenia powinno być wytworzone w ciągu 5 s, a pełny poziom natężenia oświetlenia w ciągu 60 s.

W ramach tego rodzaju oświetlenia zaleca się, aby przeszkody występujące na wysokości do 2 m (mierzonej od podłogi) były również oświetlone.

W znowelizowanej normie PN-EN 1838: 2013E [7] wymagania oświetleniowe rozszerzono o dwa, następujące przypadki:

- w toaletach przeznaczonych dla osób niepełnosprawnych wymagane jest oświetlenie powierzchni otwartej (p. 4.3.8),
- w przypadkach, gdy jest wymagane oświetlenie ewakuacyjne w pomieszczeniach, które nie sąsiadują bezpośrednio z taką drogą, to łącznik do drogi ewakuacyjnej również musi być oświetlony (p. 4.3.9).

Oświetlenie strefy wysokiego ryzyka

Celem oświetlenia awaryjnego stref wysokiego ryzyka jest zapewnienie bezpieczeństwa ludziom zaangażowanym w potencjalnie niebezpieczny proces lub sytuację i umożliwienie im właściwego zakończenia procedur ze względu na bezpieczeństwo innych osób przebywających w danym obiekcie. Przykładem może być sala operacyjna, procesy w zakładach chemicznych, magazyny wysokiego składowania, praca z maszynami typu tokarka, frezarka, itp.

W strefach wysokiego ryzyka eksploatacyjne natężenie oświetlenia na płaszczyźnie odniesienia nie powinno być mniejsze niż 10% eksploatacyjnego natężenia oświetlenia wymaganego dla danych czynności, jednakże nie powinno być mniejsze niż 15 lx. Natomiast równomierność natężenia oświetlenia (U_o) w tej strefie nie powinna być mniejsza niż 0,1. Zastosowane oprawy oświetleniowe nie mogą powodować powstawania efektu stroboskopowego. Olśnienie przeszkadzające w tym przypadku również powinno być utrzymywane na niskim poziomie. Wartość światłości, w obrębie strefy wyznaczonej kątami od 60° do 90° (liczonymi od pionu), uzależniona jest od wysokości zawieszenia oprawy nad poziomem podłogi i przykładowo - dla wysokości poniżej 2,5 m - wynosi 1 000 cd (pozostałe zależności przedstawione są w PN-EN 1838: 2005, tabela 1 [3]). W celu rozpoznawania barw bezpieczeństwa, minimalna wartość wskaźnika oddawania barw (R_a) źródeł światła powinna wynosić 40. Minimalny czas stosowania oświetlenia powinien być wyznaczony okresem, w którym występuje ryzyko niebezpieczeństwa dla ludzi. Czas ten powinien zostać określony przez pracodawcę. Oświetlenie tej strefy powinno zapewniać pełne wymagane natężenie oświetlenia w sposób ciągły lub w ciągu 0,5 s, w zależności od zastosowania. Wymóg ten oznacza w praktyce konieczność stosowania w oprawach przeznaczonych do oświetlania stref wysokiego ryzyka źródeł LED, gdyż świetlówki (poza zamontowanymi w oprawach dwufunkcyjnych) w tak krótkim czasie nie osiągną znamionowego strumienia świetlnego.

3.3. Oświetlenie zapasowe

Podstawowym celem oświetlenia zapasowego jest umożliwienie kontynuacji normalnych czynności w sposób zasadniczo niezmienny. W przypadku, gdy oświetlenie zapasowe stosowane jest jako awaryjne oświetlenie ewakuacyjne, to powinno ono spełniać odpowiednie wymagania dotyczące oświetlenia ewakuacyjnego. Natomiast gdy poziom natężenia oświetlenia zapasowego jest niższy niż minimalny poziom natężenia oświetlenia podstawowego, oświetlenie to należy wykorzystać tylko do przerwania czynności lub ich zakończenia.

II. Część pomiarowa

4. Weryfikacja pomiarowa poprawności wyników projektów oświetlenia ewakuacyjnego

Wprowadzenie

Celem badań była weryfikacja pomiarowa poprawności wyników projektów oświetlenia ewakuacyjnego z wykorzystaniem programów DIALUX i RELUX. Do wykonania projektów wytypowano 5 opraw oświetlenia ewakuacyjnego ze źródłami LED różniących się krzywą światłości oraz wartością strumienia świetlnego. W przyjętym do projektów korytarzu wykonano rzeczywiste pomiary natężenia oświetlenia ewakuacyjnego w celu praktycznego zweryfikowania wykonanych projektów. Drugim etapem weryfikacji było wykonanie pomiarów natężenia oświetlenia, z wykorzystaniem poszczególnych opraw oświetlenia ewakuacyjnego, w pomieszczeniu o czarnych ścianach, suficie i podłodze. Porównanie tych wyników pomiarów z wartościami obliczonymi natężenia oświetlenia powinno dać odpowiedź na pytanie dotyczące poprawności wykonanych projektów.

4.1. 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: 2013E [7] 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. Wymaganiom tym są w stanie sprostać, przede wszystkim, oprawy ze źródłami LED.

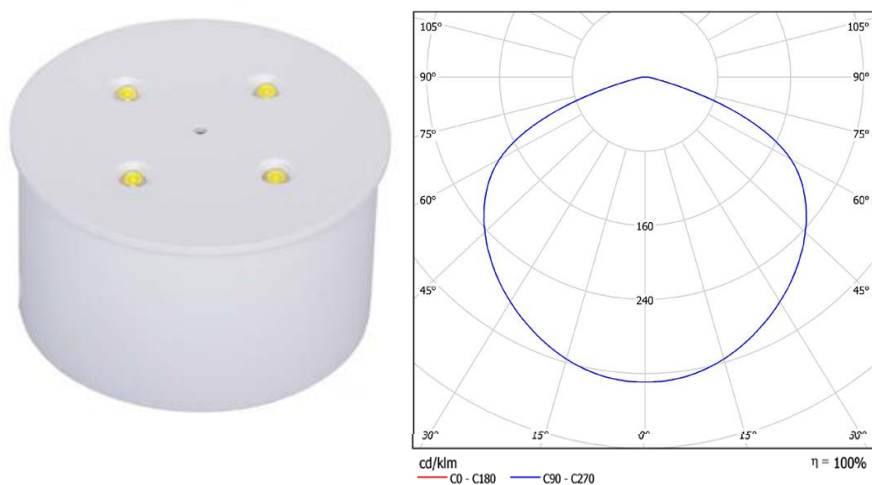
Pierwszy typ, to oprawy firmy ZUMTOBEL, ORILED 2/1W LED 760 (rys. 4.1.), które są już zamontowane na ścianie korytarza. Są to oprawy z dwoma źródłami LED o mocy 1 W. Pozostałe oprawy przewidziane do badań wybrano spośród produktów czterech wiodących producentów opraw oświetlenia awaryjnego w Polsce, 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. 4.2.),
- ALFA III, AT, AL3/4/4/AS/1H jednostronna firmy AMATECH (rys. 4.3.),
- HERKULES-P ROAD AT 1J LED 5 firmy HYBRYD (rys. 4.4.),
- KWADRA SIDE N AT 1J LED 3 firmy HYBRYD (rys. 4.5.).

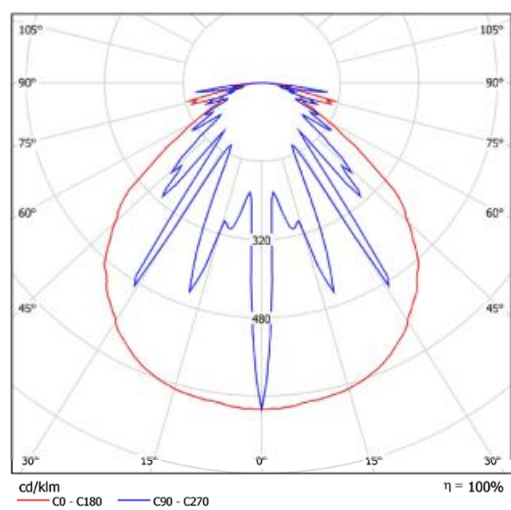
Wszystkie ww. oprawy są przewidziane do jednogodzinnego trybu pracy awaryjnej.



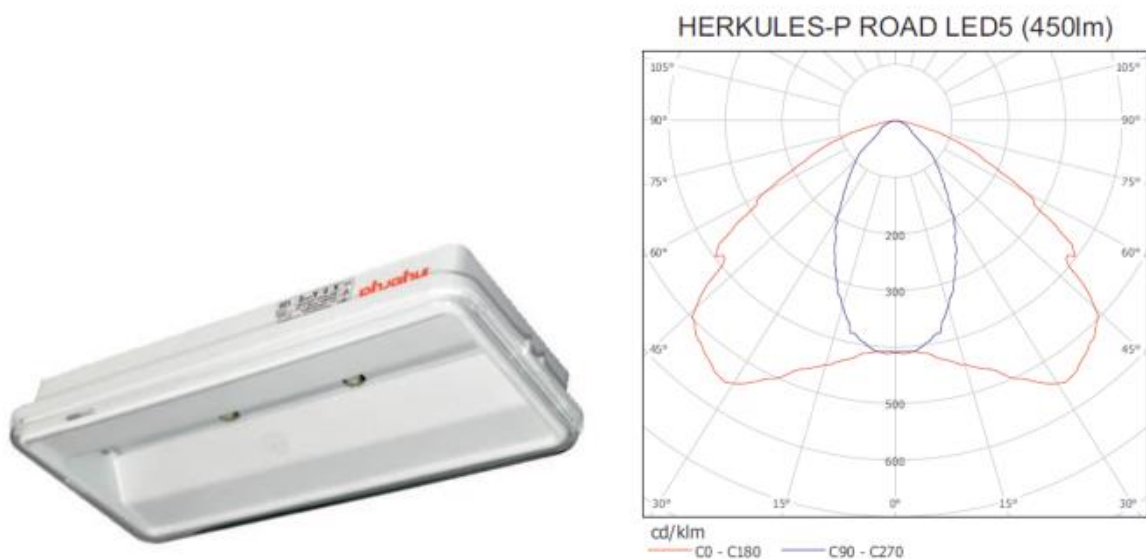
Rys. 4.1. Widok oprawy ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL [18]



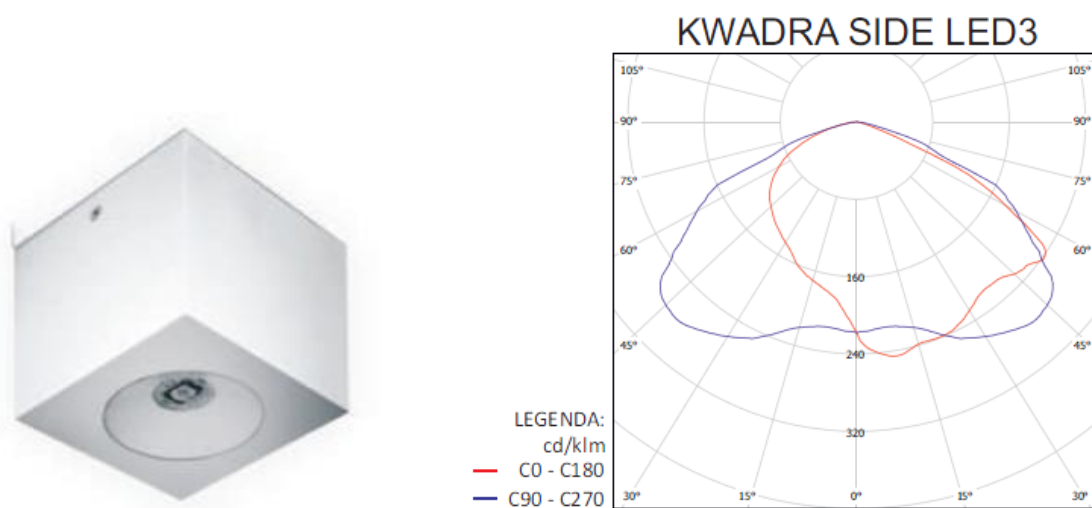
Rys. 4.2. Widok oprawy DISCRET N, 4 x 1 LED, AT firmy AMATECH oraz jej krzywa światłości [19]



Rys. 4.3. Widok oprawy ALFA III, AT, AL3/4/4/AS/1H firmy AMATECH oraz jej krzywa światłości [19]



Rys. 4.4. Widok oprawy HERKULES-P ROAD AT 1J LED 5 firmy HYBRYD oraz jej krzywa światłości [20]



Rys. 4.5. Widok oprawy KWADRA SIDE N AT 1J LED 3 firmy HYBRYD oraz jej krzywa światłości [20]

4.2. 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.

4.3. Wymagania oświetleniowe

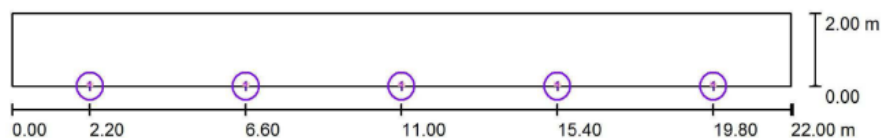
Zgodnie z wymaganiami oświetleniowymi zawartymi w normie PN-EN 1838: 2013 E [7] w przypadku dróg ewakuacyjnych o szerokości do 2 m, natężenie oświetlenia w żadnym z punktów wzdłuż środkowej linii tej drogi nie może być mniejsze niż 1 lx. Natomiast na centralnym pasie drogi, obejmującym co najmniej połowę 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.

4.4. Projekty oświetlenia ewakuacyjnego

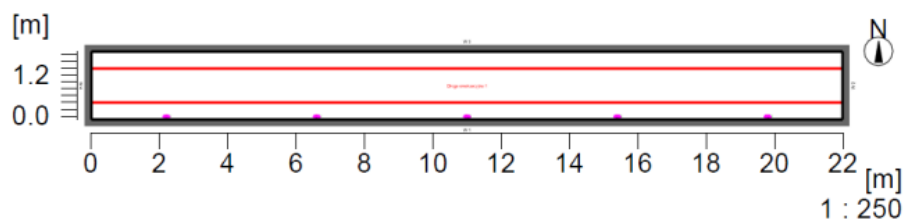
Do wykonania projektów oświetlenia ewakuacyjnego wybrano dwa komercyjne programy wspomagających projektowanie oświetlenia DIALUX i RELUX. W obu programach przyjęto najdokładniejszą z możliwych siatkę obliczeniową, która wynosiła 4 096 punktów (128 x 32). Do obliczeń w obu programach przyjęto opcję wykorzystującą 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 po środku 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. 4.6 przedstawiono przykładowy plan rozmieszczenia tych opraw w programie DIALUX, a w programie RELUX na rys. 4.7.



Skala 1 : 158

Rys. 4.6. Plan rozmieszczenia opraw ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL w programie DIALUX

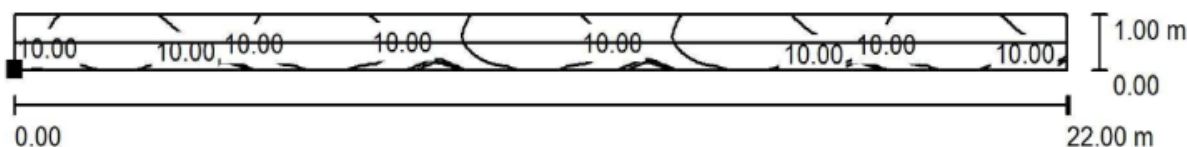


Rys. 4.7. Plan rozmieszczenia opraw ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL w programie RELUX

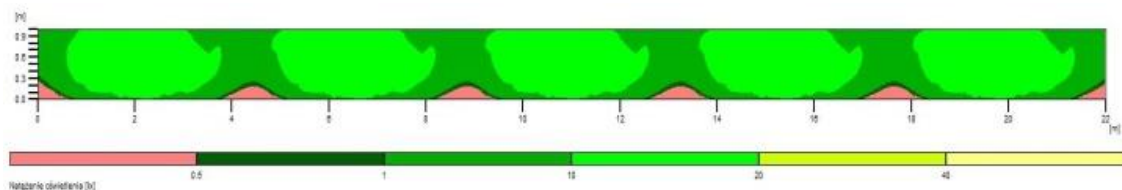
Pozostałe oprawy zostały umiejscowione w obu programach na ścianie na wysokości 2,0 m względem podłogi (0,28 m os sufitu) i w odległościach wynikających z projektów dla poszczególnych opraw.

Wyniki projektów oświetlenia ewakuacyjnego

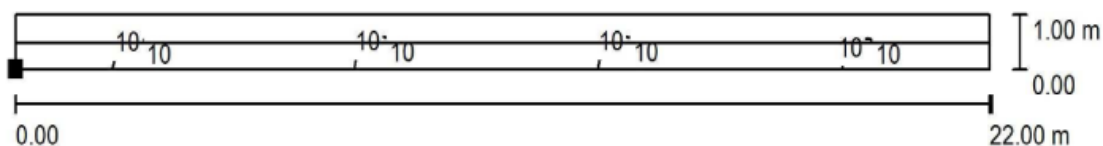
Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia w postaci izolinii dla wykonanych projektów przedstawiono na rysunkach 4.8 do 4.17. Natomiast uzyskane z symulacji komputerowych wartości minimalnego oraz maksymalnego natężenia oświetlenia dla środkowej linii oraz centralnego pasa drogi ewakuacyjnej zamieszczono w tabeli 4.1. W tabeli tej podano również wyznaczone stosunki wartości maksymalnej do minimalnej natężenia oświetlenia dla obu obszarów pomiarowych.



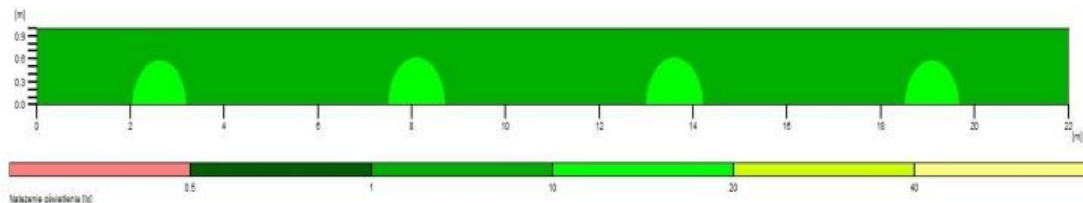
Rys. 4.8. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL uzyskane w programie DIALUX



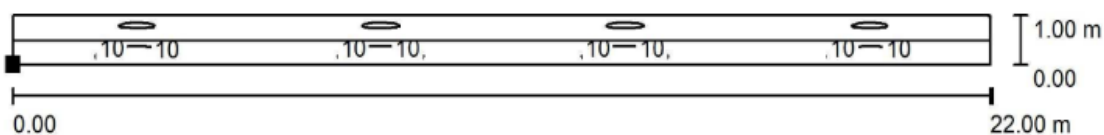
Rys. 4.9. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL uzyskane w programie RELUX



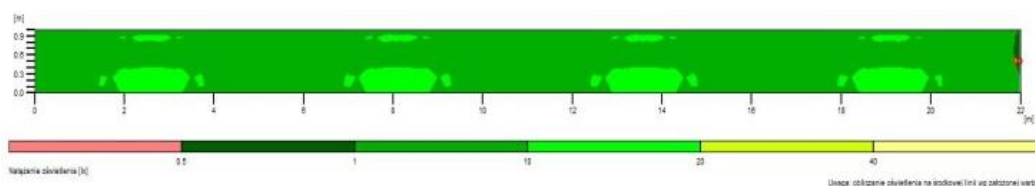
Rys. 4.10. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw DISCRET N, 4 x 1 LED, AT firmy AMATECH uzyskane w programie DIALUX



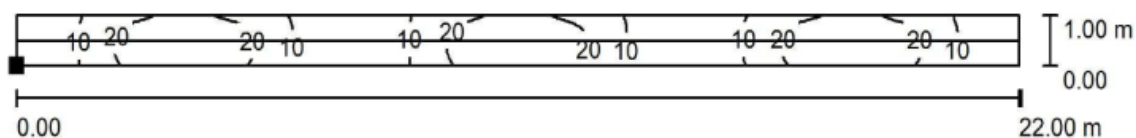
Rys. 4.11. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw DISCRET N, 4 x 1 LED, AT firmy AMATECH uzyskane w programie RELUX



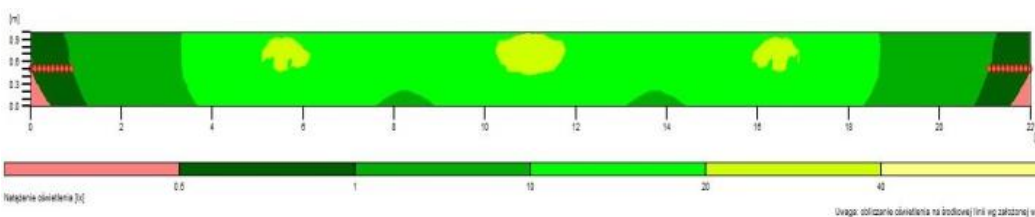
Rys. 4.12. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw ALFA III, AT, AL3/4/4/AS/1H firmy AMATECH uzyskane w programie DIALUX



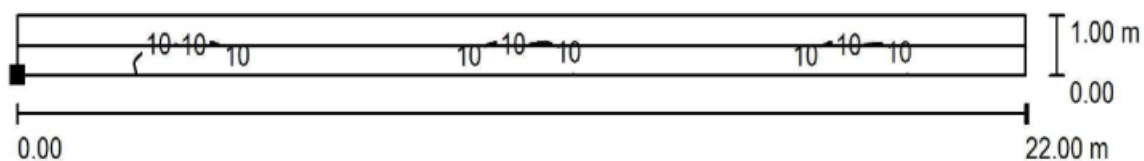
Rys. 4.13. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw ALFA III, AT, AL3/4/4/AS/1H firmy AMATECH uzyskane w programie RELUX



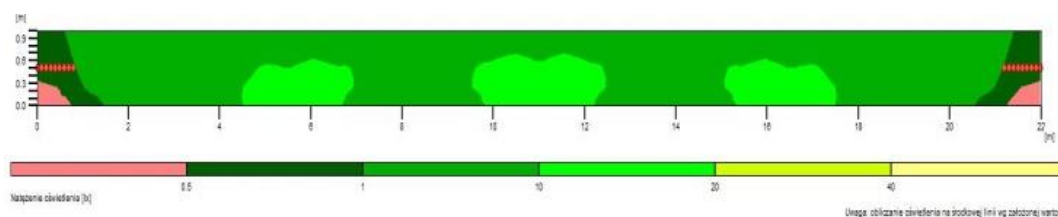
Rys. 4.14. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw HERKULES-P ROAD AT 1J LED 5 firmy HYBRYD uzyskane w programie DIALUX



Rys. 4.15. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw HERKULES-P ROAD AT 1J LED 5 firmy HYBRYD uzyskane w programie RELUX



Rys. 4.16. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw KWADRA SIDE N AT 1J LED 3 firmy HYBRYD uzyskane w programie DIALUX



Rys. 4.17. Wyznaczone rozkłady natężenia oświetlenia od opraw KWADRA SIDE N AT 1J LED 3 firmy HYBRYD uzyskane w programie RELUX

Tabela 4.1. 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 | 0,13 | 146 : 1 |
| | RELUX | 14,6 | 1,5 | 9,73 : 1 | 19,8 | 0,0 | --- |
| 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 | 0,8 | 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 | 0,5 | 41,6 : 1 | 21,2 | 0,4 | 53 : 1 |
| KWADRA SIDE N AT HYBRYD | DIALUX | 10,5 | 1,89 | 5,56 : 1 | 13,0 | 1,48 | 8,78 : 1 |
| | RELUX | 11,1 | 0,6 | 18,5 : 1 | 12,8 | 0,3 | 42,67 : 1 |

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

5. Badania poprawności symulacji komputerowych - wpływ wartości współczynników odbić

Badanie polegało na sprawdzeniu 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 4.1. Na tej podstawie można stwierdzić, że wybranie opcji obliczeń dla oświetlenia ewakuacyjnego wykorzystującą składową bezpośrednią zeruje „automatycznie” współczynniki odbić.

Badania poprawności symulacji komputerowych - wpływ liczby punktów siatki obliczeniowej

Zbadano 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 centralnym pasie tej drogi uzyskano już inne wartości (tab. 5.1).

Tabela 5.1. 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 | 0,13 | 146 : 1 |
| | 43 x 3 | 14,0 | 2,94 | 4,76 : 1 | 15,0 | 0,44 | 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 AL3/4/4/ 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 |

| 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] |
| 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: 2012 E [4].

Wnioski z badania poprawności symulacji komputerowych

Podczas zmniejszenia 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].

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.

W przypadku opraw DISCRET N firmy AMATECH projekty oświetlenia ewakuacyjnego wykonane z wykorzystaniem obu programów spełniają wszystkie wymagane parametry zawarte w normie [7].

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 [7], 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 [7], (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.

Podsumowanie

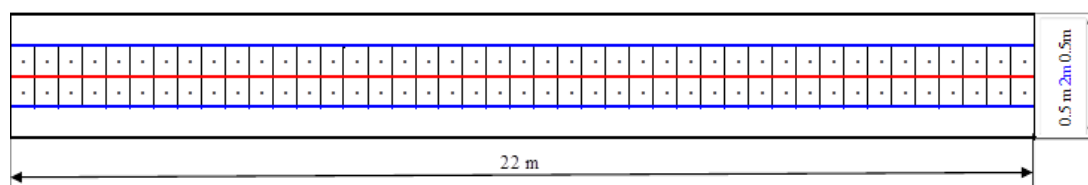
Oba programy wspomagające projektowanie oświetlenia ewakuacyjnego mają pewne wady i zalety, w związku z czym nie można podjąć jednoznacznej decyzji dotyczącej wskazania lepszego programu. Jedynie z powodu uzyskiwania mniejszych wartości natężenia oświetlenia w programie RELUX, te projekty można uznać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

6. Pomiary oświetlenia ewakuacyjnego w rzeczywistym korytarzu

Do pomiarów natężenia oświetlenia wykorzystano luksomierz L-100 produkcji Sonopan. Głowica fotometryczna G.L-100 luksomierza jest skorygowana widmowo do względnej skuteczności biologicznej widzenia fotopowego $V(\lambda)$ oraz kierunkowo do krzywej cosinus. Klasa dokładności miernika 5 lub A (wg CIE [17]), błąd całkowity $\leq 2,5\%$. Podzakres pomiarowy wynosił od 0,001 lx do 30 lx, a więc doskonale nadawał się do pomiarów małych wartości natężenia oświetlenia ewakuacyjnego.

Pomiary natężenia oświetlenia wykonano na podłodze korytarza w środkowej linii oraz na centralnym jego pasie o szerokości 1 m. Widok siatki pomiarowej pokazano na rys. 7.1. W linii środkowej rozmieszczono 44 punkty pomiarowe w odległości 0,5 m. Natomiast w pasie centralnym rozmieszczono 88 punktów pomiarowych w dwóch rzędach po 44 w każdym. Odległość pomiędzy punktami wynosiła również 0,5 m. Tak więc łącznie wykonano 132 pomiarów dla jednego rodzaju opraw oświetlenia ewakuacyjnego.

Pomiary wykonano przy poszczególnych oprawach oświetlenia ewakuacyjnego będących w trybie pracy awaryjnej (zasilanych z własnych akumulatorów) po odczekaniu około 15 min w celu ustabilizowania się strumienia świetlnego LED-ów. Pomiary wykonano bez dostępu światła dziennego.



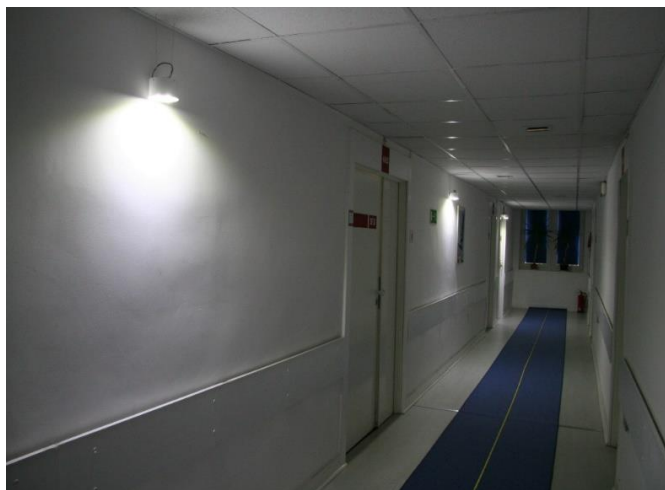
Rys. 6.1. Widok siatki pomiarowej na korytarzu
kolor czerwony - linia środkowa, kolor niebieski - pas centralny

Na rys. 6.2 pokazano korytarz, na którym wykonywano badania oświetlenia ewakuacyjnego, z zamontowanymi oprawami ORILED 760 firmy ZUMTOBEL. Pięć sztuk opraw było zamontowanych na ścianie na wysokości 0,58 m względem podłogi w odległości pomiędzy oprawami 4,4 m (odległość od krótszych ścian wynosiła 2,2 m). Pozostałe oprawy zostały zamontowane na ścianie na wysokości 2,0 m względem podłogi. Odległość pomiędzy oprawami HERKULES ROAD i KWADRA SIDE firmy HYBRYD (każdej po 3 szt.) wynosiła 7,3 m (odległość od krótszych ścian wynosiła 3,67 m). Natomiast odległość pomiędzy oprawami DISCRET N i ALFA III, firmy AMATECH (każdej po 4 szt.) wynosiła 5,5 m (odległość od krótszych ścian wynosiła 2,75 m). Na rys. 6.2 do 6.6 pokazano widok

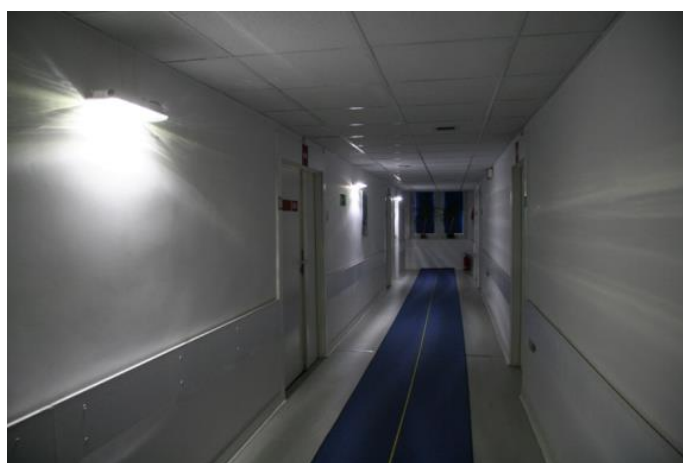
korytarza z kolejno zamontowanymi oprawami, których rozmieszczenie wynikało z wykonanych obliczeń z wykorzystaniem programów DIALUX i RELUX.



Rys. 6.2. Widok korytarza z zamontowanymi oprawami ORILED 760 firmy ZUMTOBEL



Rys. 6.3. Widok korytarza z zamontowanymi oprawami DISCRET N, 4 x 1 LED, AT firmy AMATECH



Rys. 6.4. Widok korytarza z zamontowanymi oprawami ALFA III firmy AMATECH



Rys. 6.5. Widok korytarza z zamontowanymi oprawami HERKULES-P ROAD AT 1J LED 5 firmy HYBRYD



Rys. 6.6. Widok korytarza z zamontowanymi oprawami KWADRA SIDE N AT 1J LED 3 firmy HYBRYD

Wyniki pomiarów natężenia oświetlenia ewakuacyjnego

Uzyskane z pomiarów wartości minimalnego oraz maksymalnego natężenia oświetlenia dla środkowej linii oraz centralnego pasa drogi ewakuacyjnej w rzeczywistym korytarzu („biały” korytarz) zamieszczono w tabeli 6.1. W tabeli tej podano również wyznaczone stosunki wartości maksymalnej do minimalnej natężenia oświetlenia dla obu obszarów pomiarowych. Wyniki pomiarowe zestawiono z analogicznymi parametrami uzyskanymi z symulacji komputerowych wykonanych w DIALUXie i RELUXie.

Tabela 6.1. Zestawienie wyników projektów i pomiarów oświetlenia ewakuacyjnego

| Typ oprawy / producent | Źródło danych | Środkowa linia drogi ewakuacyjnej | | | Centralny pas drogi ewakuacyjnej | | |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------|
| | | E_{\max} [lx] | E_{\min} [lx] | E_{\max} / E_{\min} | E_{\max} [lx] | E_{\min} [lx] | E_{\max} / E_{\min} |
| ORILED 2/1W LED 760 ZUMTOBEL | DIALUX | 14,0 | 2,94 | 4,76 : 1 | 19,0 | 0,13 | 146 : 1 |
| | RELUX | 14,6 | 1,5 | 9,73 : 1 | 19,8 | 0,0 | --- |
| | Pomiar - „biały” korytarz | 16,2 | 2,2 | 7,36 : 1 | 19,5 | 1,6 | 12,2 : 1 |
| DISCRET N, 4 x 1 LED, AT 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 |
| | Pomiar - „czarny” korytarz | 15,8 | 3,1 | 5,1 : 1 | 18,1 | 2,5 | 7,2 : 1 |
| | Pomiar - „biały” korytarz | 25,5 | 6,9 | 3,69 : 1 | 28,0 | 7,0 | 4,0 : 1 |
| ALFA III, AT, AL3/4/4/AS/1H AMATECH | DIALUX | 6,0 | 1,32 | 4,55 : 1 | 16,0 | 1,04 | 15,38 : 1 |
| | RELUX | 5,8 | 0,8 | 7,25 : 1 | 16,7 | 0,7 | 23,86 : 1 |
| | Pomiar - „czarny” korytarz | 19,7 | 2,6 | 7,6 : 1 | 17,8 | 2,1 | 8,5 : 1 |
| | Pomiar - „biały” korytarz | 35,5 | 8,7 | 4,1 : 1 | 39,1 | 7,7 | 5,1 : 1 |
| HERKULES-P ROAD AT 1J LED 5 HYBRYD | DIALUX | 28,0 | 2,8 | 10 : 1 | 30,0 | 2,48 | 12,1 : 1 |
| | RELUX | 20,8 | 0,5 | 41,6 : 1 | 21,2 | 0,4 | 53 : 1 |
| | Pomiar - „czarny” korytarz | 40,2 | 4,8 | 8,4 : 1 | 27,9 | 3,9 | 7,2 : 1 |
| | Pomiar - „biały” korytarz | 55,0 | 12,8 | 4,3 : 1 | 70,4 | 11,6 | 6,1 : 1 |
| KWADRA SIDE N AT 1J LED 3 HYBRYD | DIALUX | 10,5 | 1,89 | 5,56 : 1 | 13,0 | 1,48 | 8,78 : 1 |
| | RELUX | 11,1 | 0,6 | 18,5 : 1 | 12,8 | 0,3 | 42,67 : 1 |
| | Pomiar - „czarny” korytarz | 8,8 | 1,6 | 5,5 : 1 | 10,2 | 1,4 | 7,3 : 1 |
| | Pomiar - „biały” korytarz | 27,8 | 7,14 | 3,89 : 1 | 26,8 | 6,62 | 4,1 : 1 |

Boldem - zaznaczono wartości nie spełniające wymagań normy

Wnioski z weryfikacji projektów oświetlenia ewakuacyjnego

Na podstawie analizy wartości natężenia oświetlenia zamieszczonych w tabeli 6.1 można jednoznacznie stwierdzić, że wyniki z pomiarów są większe od wartości uzyskanych z projektów i we wszystkich przypadkach wystąpiło spełnienie wymagań PN-EN 1838: 2013E [7]. W przypadku opraw ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL, zamontowanych na ścianie w odległości 0,58 m od podłogi, wystąpiły minimalne różnice (poniżej 1 lx) w uzyskanych wynikach. Natomiast w przypadku wszystkich pozostałych badanych opraw, które zamontowano na ścianie na wysokości 2 m od podłogi, te różnice były znacznie

większe. Zależały też one od porównywanego parametru – wartości minimalnej czy maksymalnej natężenia oświetlenia, a nie zależały od obszaru na którym wykonywano pomiary – środkowa linia lub centralny pas drogi ewakuacyjnej. W przypadku wartości maksymalnych natężenia oświetlenia różnice te były mniejsze i wynosiły od około dwóch do sześciu razy. W przypadku wartości minimalnych natężenia oświetlenia różnice te były znacznie większe i wynosiły od około trzech do trzydziestu razy (z uwzględnieniem wartości natężenia oświetlenia nie spełniających wymagań normy [7]).

W pierwszej kolejności sprawdzono, czy w obliczeniach natężenia oświetlenia ewakuacyjnego w obu programach uwzględniona była całkowita wartość strumienia świetlnego emitowanego przez oprawy. Taka opcja występuje przy projektowaniu oświetlenia ewakuacyjnego i dotyczy opraw, które wykorzystywane są w oświetleniu podstawowym, a w sytuacjach awaryjnych załączane jest zasilanie tylko jednego źródła światła. Dotyczy to przede wszystkim opraw świetlówkowych. Natomiast niniejsze symulacje wykonano dla opraw pracujących tylko w trybie awaryjnym, w związku z tym wykorzystywany do obliczeń strumień świetlny powinien wynosić 100%. Dla takich warunków wykonano wszystkie projekty, gdyż w opisach projektów w obu programach widniały zapisy potwierdzające ten fakt – w RELUXIE czynnik korekcyjny wyniósł jeden, a w DIALUXIE był zapis określający wykorzystanie w 100% strumienia świetlnego.

Uzyskane różnice wynikały z wykonania obliczeń dla składowej bezpośredniej strumienia świetlnego – bez uwzględnienia odbić wielokrotnych. W rzeczywistości ściany i sufit badanego korytarza miały barwę białą, a podłoga była w połowie jasna, a w drugiej granatowa. Natomiast otrzymanie minimalnych różnic w uzyskanych wynikach w przypadku opraw firmy ZUMTOBEL jest spowodowane faktem zamontowania ich na ścianie stosunkowo blisko podłogi, co powoduje znaczne zmniejszenie odbić wielokrotnych od ścian i podłogi. Natomiast większe różnice w uzyskanych wynikach, w przypadku wszystkich pozostałych badanych opraw, spowodowane były znacznie większym wpływem odbić wielokrotnych strumienia świetlnego. Na odbicia te miała również wpływ struktura powierzchni pionowych, ściany były praktyczne matowe (pomalowane farbą emulsyjną), a drzwi były połyskliwe (pomalowane farbą olejną). Jednak ze względów technicznych nie było możliwe wyeliminowanie powierzchni połyskliwych.

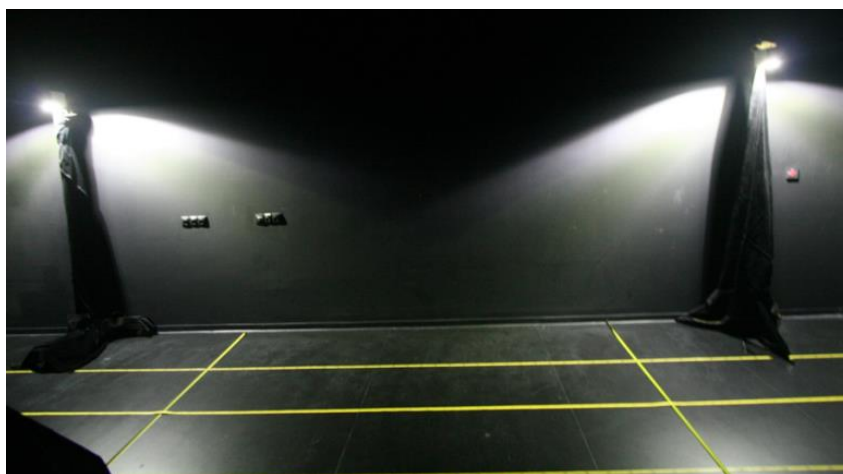
7. Weryfikacja pomiarowa w „czarnym” korytarzu projektów oświetlenia ewakuacyjnego

Ze względu na stwierdzenie bardzo dużego wpływu na wyniki pomiarów odbić wielokrotnych od białych powierzchni, postanowiono dokonać weryfikacji pomiarowej projektów w pomieszczeniu o ścianach, podłodze i suficie pomalowanych na kolor czarny. Ze względów praktycznych do pomiarów wykorzystano pomieszczenie o długości 11 m, w którym na podłodze wydzielono pas o szerokości 2 metrów – odzwierciedlający przyjęty do poprzednich badań korytarz. W uzyskanym w ten sposób „czarnym” korytarzu zamontowano, również na wysokości 2 m względem podłogi, obie oprawy firm Amatech i Hybryd. Niestety, ze względów technicznych, nie było możliwe wykonanie pomiarów z oprawami firmy ZUMTOBEL, gdyż są one na stałe zamontowane w rzeczywistym korytarzu. Na rys. 7.1. i 7.2 pokazano widok „czarnego korytarza” z przykładowo zamontowanymi oprawami ALFA III firmy AMATECH oraz HERKULES-P i KWADRA SIDE firmy HYBRYD.

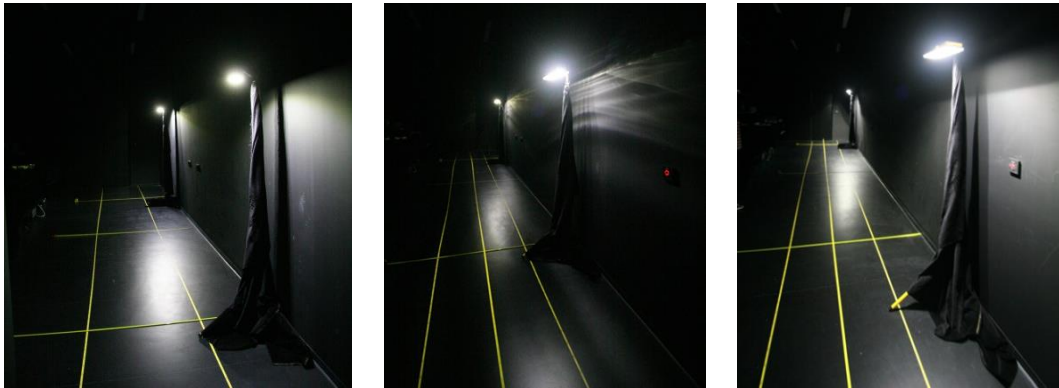
Pomiary wykonano również w siatce pomiarowej pokazanej na rys. 6.1 z tym, że w linii środkowej rozmieszczono 22 punkty pomiarowe w odległości 0,5 m. Natomiast w pasie centralnym rozmieszczono 44 punkty pomiarowe w dwóch rzędach po 22 w każdym. Odległość pomiędzy punktami wynosiła również 0,5 m.

Uzyskane z pomiarów wartości minimalnego oraz maksymalnego natężenia oświetlenia dla środkowej linii oraz centralnego pasa drogi ewakuacyjnej w „czarnym” korytarzu zamieszczono w tabeli 6.1. W tabeli tej podano również wyznaczone stosunki wartości maksymalnej do minimalnej natężenia oświetlenia dla obu obszarów pomiarowych.

W tym przypadku różnice w wartościach natężenia oświetlenia na środkowej linii i w centralnym pasie drogi ewakuacyjnej były już mniejsze w stosunku do wartości uzyskanych z projektów.



Rys. 7.1. Widok „czarnego” korytarza z zamontowanymi oprawami KWADRA SIDE firmy HYBRYD



Rys. 7.2. Widok „czarnego” korytarza z zamontowanymi oprawami DISCRET N i ALFA III firmy AMATECH oraz HERKULES-P firmy HYBRYD

Tak jak w przypadku korytarza rzeczywistego, zależały one od porównywanego parametru – wartości minimalnej czy maksymalnej natężenia oświetlenia, a nie zależały od obszaru na którym wykonywano pomiary – środkowa linia lub centralny pas drogi ewakuacyjnej. W przypadku wartości maksymalnych natężenia oświetlenia różnice te były mniejsze i wynosiły od 1,4 do 3,3 raza. W przypadku wartości minimalnych natężenia oświetlenia różnice te były znacznie większe i wynosiły od 1,6 do 9,75 raza (z uwzględnieniem wartości natężenia oświetlenia nie spełniających wymagań normy [7]).

Należy zauważyć, że dla dwóch opraw firmy Hybryd wartości z pomiarów były mniejsze od wartości uzyskanych z projektów. Dla oprawy Herkules dotyczyło to tylko projektu wykonanego w Dialuxie w zakresie maksymalnego natężenia oświetlenia w centralnym pasie drogi. Natomiast dla oprawy Kwadra Side dotyczyło obu projektów - i to zarówno wartości minimalnych i maksymalnych natężenia oświetlenia w środkowej linii oraz na centralnym pasie drogi ewakuacyjnej (bez uwzględnienia wartości natężenia oświetlenia nie spełniających wymagań normy [7]). Pomimo tego uzyskane z pomiarów wartości minimalnego natężenia oświetlenia spełniały wymagania normy [5], a różnice wynosiły około 2 lx - 2,8 lx przy poziomie 20 lx – 30 lx, a 0,08 lx i 0,3 lx przy odpowiednio 1,4 lx i 1,9 lx.

Podsumowanie

Uwzględniając powyższe wnioski można stwierdzić, że oba programy wspomagające projektowanie oświetlenia ewakuacyjnego – DIALUX i RELUX prawidłowo obliczają to oświetlenie. Natomiast wymóg uwzględniania w projekcie tylko składowej bezpośredniej strumienia świetlnego, czyli przyjmowania wszystkich powierzchni jako czarnych jest jak najbardziej słuszny, gdyż uwzględnia w rzeczywistości najgorszy przypadek wyposażenia drogi ewakuacyjnej.

8. Metodyka badania oświetlenia ewakuacyjnego minimalizująca błędy pomiaru wynikające z niewłaściwej korekcji przestrzennej i widmowej głowicy fotometrycznej

8.1. Błędy pomiarowe wynikające z korekcji przestrzennej głowicy fotometrycznych

Instalacje oświetlenia ewakuacyjnego charakteryzują się specyficznymi wymaganiami oświetleniowymi, całkowicie różniącymi się od wymagań stawianych instalacjom oświetlenia ogólnego. Zgodnie z normą PN-EN 1838: 2013E [7], w przypadku drogi ewakuacyjnej o szerokości do 2 m, minimalne natężenie oświetlenia E_{min} na powierzchni drogi wzdłuż jej linii środkowej nie może być mniejsze niż 1 lx. Na centralnym pasie drogi ewakuacyjnej, obejmującym nie mniej niż połowę jej szerokości, natężenie oświetlenia powinno stanowić co najmniej 50% tej wartości. Współczynnik nierównomierności U_d , będący stosunkiem minimalnej E_{min} do maksymalnej E_{max} wartości natężenia oświetlenia wzdłuż linii środkowej drogi ewakuacyjnej, nie powinien być mniejszy niż 1:40. Podobne wymagania dotyczą oświetlenia strefy otwartej (oświetlenie zapobiegające panice), gdzie natężenie oświetlenia E_{min} na powierzchni podłogi nie powinno być mniejsze niż 0,5 lx, przy takich samych jak poprzednio wymaganiach dotyczących równomierności oświetlenia.

Wymagania te dotyczą bezpośredniego natężenia oświetlenia lub, co wprowadzono w aktualnej wersji normy, tylko pierwszego odbicia, jeżeli instalacja oświetlenia ewakuacyjnego wykonana jest w postaci instalacji oświetlenia pośredniego.

Dodatkowo, w celu ograniczenia olśnienia użytkowników instalacji oświetlenia ewakuacyjnego, normatywnie [7] ograniczone są maksymalne wartości światłości I_{max} powyżej kąta α (liczonego od pionu) wynoszącego 60° (Tabela 8.1).

Tabela 8.1. Wymagania normatywne dotyczące ograniczenia olśnienia przeszkadzającego przez oprawy oświetlenia awaryjnego [7]

| Wysokość h umieszczenia oprawy nad poziomem podłogi | Maksymalna światłość I_{max} przy oświetlaniu dróg ewakuacyjnych i stref otwartych (zapobiegających panice) |
|---|---|
| m | cd |
| $h < 2,5$ | 500 |
| $2,5 \leq h < 3,0$ | 900 |
| $3,0 \leq h < 3,5$ | 1 600 |
| $3,5 \leq h < 4,0$ | 2 500 |
| $4,0 \leq h < 4,5$ | 3 500 |
| $h \geq 4,5$ | 5 000 |

Z wymagań tych jednoznacznie wynika, że weryfikacja pomiarowa instalacji oświetlenia ewakuacyjnego wymaga stosowania luksomierzy umożliwiających pomiary bardzo małych wartości natężenia oświetlenia. Dopuszczalne w oświetleniu ewakuacyjnym, duże nierównomierności oświetlenia wskazują, że luksomierz powinien mierzyć dokładnie niewielkie wartości natężenia oświetlenia nawet od pojedynczych opraw, z których światło pada pod dużym kątem na powierzchnię głowicy fotometrycznej.

Pomiary natężenia oświetlenia w instalacjach oświetlenia awaryjnego

Do wykonywania pomiarów polowych instalacji oświetlenia awaryjnego norma [7] wymaga stosowania mierników natężenia oświetlenia:

- z korekcją kosinusową i fopową $V(\lambda)$,
- o tolerancji błędu nie przekraczającej 10%,
- o wysokości głowicy fotometrycznej nie większej niż 20 mm.

Wymaganie dotyczące błędu nieprzekraczającego 10% wydaje się być sformułowane zbyt ogólnie, zważywszy na ilość błędów, jaka związana jest z miernikami natężenia oświetlenia. W tabeli 8.2 wyszczególnione są błędy analizowane w luksomierzach stosowanych w laboratoriach fotometrycznych. Kolorem szarym zaznaczono pola błędów, które w normie sumowane są w celu uzyskania błędu całkowitego.

Tabela 8.2. Błędy luksomierzy [16]

| Rodzaj błędu | Symbol |
|---|---------------|
| Niepewność wzorcowania | u_{wzorc} |
| Dopasowanie do $V(\lambda)$ | f_1' |
| Odpowiedź na UV | u |
| Odpowiedź na IR | r |
| Odpowiedź kosinusowa | f_2 |
| Liniowość | f_3 |
| Urządzenie odczytowe | f_4 |
| Zmęczenie | f_5 |
| Zależność temperaturowa | f_6 |
| Światło modulowane (100 Hz) | f_7 |
| Światło modulowane Częstotliwość graniczna $f_u = 40$ Hz | $f_7(f_u)$ |
| Światło modulowane Częstotliwość graniczna $f_o = 10^5$ Hz | $f_7(f_o)$ |
| Odpowiedź przestrzenna | f_9 |
| Zmiana zakresu | f_{11} |

Na podstawie informacji umieszczanych na stronach internetowych wynika, że do poligonowych pomiarów natężenia oświetlenia najczęściej używane są luksomierze: L-100

lub L-50/L-51 firmy Sonopan oraz LXP-1, a od niedawna LXP-10B i LXP-10A firmy Sonel. Wszystkie te luksomierze stosowane są powszechnie do pomiarów instalacji oświetlenia ogólnego, jednak nie zawsze powinny być stosowane do pomiarów instalacji oświetlenia ewakuacyjnego. Pierwszym ograniczeniem stosowania danego luksomierza jest konieczność odpowiednio dokładnego pomiaru natężenia oświetlenia o wartości 0,5 lx. Z tego powodu typowe luksomierze, służące do pomiarów natężenia oświetlenia w instalacjach oświetlenia ogólnego, np. L-50/L-51 lub LXP-1 całkowicie nie nadają się do tego celu. Przykładowo, najmniejszy zakres pomiarowy luksomierza L-50 wynosi 199,9 lx, a najmniejsza wartość mierzona 0,1 lx. Deklarowana przez producenta dokładność pomiarów na tym zakresie wynosi $\leq 2,5\%$. Najmniejszy zakres pomiarowy miernika LXP-1 wynosi 400 lx, a najmniejsza wartość mierzona 0,1 lx. Deklarowana dokładność pomiarów w tym zakresie wynosi $\pm 3\%$ wartości mierzonej $+0,5\%$ zakresu pomiarowego, czyli ± 2 lx. Zatem błąd pomiarowy wartości mierzonej wynoszącej 0,5 lx wynosi $\pm 400\%$. Dopiero zastosowanie luksomierzy a firmy Sonopan L-100 o najmniejszym zakresie pomiarowym 1,999 lx i najmniejszej wartości mierzonej 0,001 lx lub luksomierzy firmy Sonel LXP-10A o najmniejszym zakresie pomiarowym 3,999 lx i najmniejszej wartości mierzonej 0,001 pozwala na wykonanie pomiarów instalacji oświetlenia ewakuacyjnego z błędem nie większym niż 10%, zakładając, że inne błędy pomiarowe nie będą znaczące.

Normatywny wymóg dotyczący wykonywania pomiarów na wysokości do 20 mm powyżej podłogi jest praktycznie niemożliwy do spełnienia. Większość dostępnych na rynku mierników ma głowicę fotometryczną o większej wysokości: L-100/L-50/L-51 - 25,5 mm; LXP-1 - 32 mm. W znaczący sposób nie wpływa to jednak na błędy pomiarowe, gdyż najniższa dopuszczalna przez normę wysokość montażu oświetlenia ewakuacyjnego wynosi 2 m.

W przypadku głowicy fotometrycznej luksomierza, błąd $f_2(\alpha)$ odpowiedzi kierunkowej na światło padające pod kątem α definiowany jest za pomocą wzoru [16]

$$f_2(\alpha) = \frac{Y(\alpha)}{Y(0) \cdot \cos \alpha} - 1. \quad (1)$$

gdzie:

$Y(\alpha)$ – sygnał wyjściowy jako funkcja kąta padania α ,

$Y(0)$ – sygnał wyjściowy z kierunku osiowego.

Błąd f_2 korekcji kosinusowej głowicy fotometrycznej oblicza się za pomocą wzoru

$$f_2 = \int_0^{85^\circ \cdot \frac{\pi}{180}} |f_2(\alpha)| \cdot \sin 2\alpha \cdot d\alpha. \quad (2)$$

We wzorze (2) zakłada się symetrię obrotową odpowiedzi głowicy fotometrycznej.

Wartość błędu f_2 jest zazwyczaj podawana przez producentów luksomierzy. Ponieważ wartość ta jest znacznie mniejsza niż 10% uważa się, że podczas pomiarów instalacji oświetlenia ewakuacyjnego korekcja przestrzenna jest wystarczająca. Jednak takie podejście do definiowania błędu korekcji kosinusowej (przestrzennej), w przypadku pomiarów instalacji oświetlenia ewakuacyjnego, całkowicie nie odzwierciedla błędów wynikających ze złej korekcji przestrzennej przy dużych kątach padania światła. Wynika to z faktu, że wzór (2) oblicza teoretycznie maksymalną wartość błędu przy założeniu równomiernego oświetlenia głowicy fotometrycznej z całej półprzestrzeni. Założenie to jest jednak sprzeczne z warunkami występującymi w instalacjach oświetlenia ewakuacyjnego.

Teoretyczna instalacja oświetlenia ewakuacyjnego

Założmy, że oprawy oświetlenia ewakuacyjnego zamontowano na wysokości h nad linią środkową drogi ewakuacyjnej (lub powierzchnią strefy otwartej). Wybór takiej geometrii instalacji oświetlenia ewakuacyjnego podyktowany był wyeliminowaniem rozważań dotyczący przestrzennego rozmieszczenia opraw i skupienia się tylko na zagadnieniach kątowych padania światła i korekcji kątowej luksomierzy. Przy takim rozmieszczeniu opraw, natężenie oświetlenia $E_{1\alpha}$ wytwarzane przez jedną oprawę w punkcie na linii środkowej w kierunku α , w którym światłość oprawy oświetlenia ewakuacyjnego jest równa I_α i wynosi

$$E_{1\alpha} = \frac{I_\alpha}{h^2} \cdot \cos^3 \alpha. \quad (3)$$

W instalacjach oświetlenia ewakuacyjnego wartości światłości I_α normatywnie ograniczone są powyżej kąta α wynoszącego 60° , lecz nie oznacza to, że luksomierze powinny mieć dobrą korekcję kątową tylko do tej wartości kąta α . Wniosek taki wynika z analizy wartości natężenia oświetlenia E_{1-60° jakie wytwarza pojedyncza oprawa na linii środkowej w kierunku granicznego kąta 60° (Tabela 8.3). W tabeli tej przedstawiono wyniki obliczeń w zakresie wysokości h zawieszenia oprawy powyżej 2,0 m, co jest najniższą dopuszczalną wysokością wynikającą z zapisów normy PN-EN 1838: 2013E [7], do 6,0 m. Do obliczeń przyjęto graniczne wartości światłości I_{60° , zgodne z normą. Obliczone wartości są znacząco większe niż wymagana wartość 1 lx (0,5 lx przy oświetleniu strefy otwartej). W celu oceny

maksymalnych wartości kątów α_{max} pod jakimi teoretycznie może padać światło na głowicę luksomierza obliczono wartości kątów, dla których spełnione są jeszcze wymagania oświetleniowe. Wartość kąta α_{max} obliczono na podstawie wzoru (4) zakładając, że minimalna wartość natężenia oświetlenia E_{min} jest wytwarzana przez dwie kolejne oprawy instalacji oświetlenia ewakuacyjnego w punkcie znajdującym się w połowie odległości między nimi

$$\alpha_{max} = \arccos \left(\sqrt[3]{\frac{E_{min} \cdot h^2}{2I_{\alpha}}} \right). \quad (4)$$

Tabela 8.3. Analiza parametrów instalacji oświetlenia ewakuacyjnego przy różnych wysokościach h zawieszenia opraw

| Wysokość h umieszczenia opraw nad poziomem podłogi | Światłość I_{60° oprawy w kierunku $\alpha \geq 60^\circ$ | Natężenie oświetlenia E_{1-60° w kierunku $\alpha = 60^\circ$ | Maksymalny kąt α_{max} padania światła na luksomierz $E_{min} = 1,0 \text{ lx}$ | Maksymalny kąt α_{max} padania światła na luksomierz $E_{min} = 0,5 \text{ lx}$ |
|--|--|--|--|--|
| m | cd | lx | [°] | [°] |
| 2,0 | 500 | 15,63 | 80,9° | 82,8° |
| 2,5 | 900 | 18,00 | 81,3° | 83,1° |
| 3,0 | 1 600 | 22,22 | 81,9° | 83,6° |
| 3,5 | 2 500 | 25,51 | 82,3° | 83,9° |
| 4,0 | 3 500 | 27,34 | 82,4° | 84,0° |
| 4,5 | 5 000 | 30,86 | 82,7° | 84,2° |
| 5,0 | 5 000 | 25,00 | 82,2° | 83,8° |
| 5,5 | 5 000 | 20,66 | 81,7° | 83,4° |
| 6,0 | 5 000 | 17,36 | 81,2° | 83,0° |

Przedstawione w tabeli 8.3 wyniki wskazują, że w granicznych przypadkach instalacji oświetlenia ewakuacyjnego, o błędzie pomiarowym decyduje korekcja głowicy fotometrycznej luksomierza w zakresie kątów $80^\circ \div 85^\circ$.

Przyjmując założenie, że korekcja kosinusowa luksomierza wykonana jest w ten sposób, że dla kąta padania światła α na luksomierz wynoszącego 75° błąd $f_2(\alpha)$ wynosi 0,5% (jak dla luksomierzy laboratoryjnych), a następnie wraz ze wzrostem kąta α o każdy 1° wartość tego błędu wzrasta o 5% (przyjęte założenie) osiągając dla kąta $\alpha = 85^\circ$ błąd $f_2(\alpha)$ wynoszący aż 50,5%. Sytuacja taka występuje w praktyce w luksomierzach, w których korekcja kątowa wykonana jest w postaci rozpraszającej kopułki nieznacznie wystającej ponad krawędź głowicy fotometrycznej. Obliczona z wykorzystaniem wzoru (2) wartość błędu $f_2(\alpha)$ tej głowicy wynosi 1,81482% i jest tylko nieznacznie większa niż najbardziej restrykcyjna wartość 1,5% wymagana w przypadku luksomierzy stosowanych w laboratoriach

fotometrycznych [16]. Natomiast użycie tego luksomierza w najbardziej wymagającej w rozpatrywanym przypadku instalacji oświetlenia ewakuacyjnego (Tabela 9.3 $h = 4,5$ m; $E_{min} = 0,5$ lx) spowoduje wystąpienie błędu pomiarowego o maksymalnej wartości 46,5%.

Wnioski

W granicznych przypadkach instalacji oświetlenia ewakuacyjnego o błędzie pomiarowym decyduje bowiem korekcja głowicy fotometrycznej luksomierza w zakresie kątów $80^\circ \div 85^\circ$. Analiza teoretycznej instalacji oświetlenia ewakuacyjnego pokazała, że podczas pomiarów mogą wystąpić błędy sięgające 46%, chociaż zastosowano głowicę fotometryczną bardzo dobrze skorygowaną przestrzennie do pomiarów instalacji oświetlenia ogólnego.

Ocena korekcji przestrzennej głowic fotometrycznych dokonana za pomocą powszechnie stosowanego pojedynczego współczynnika w postaci błędu $f_2(\alpha)$, może być niewystarczająca w przypadku wybranych instalacji oświetlenia ewakuacyjnego.

8.2. Wyznaczanie błędu korekcji przestrzennej głowic fotometrycznych

Czułość przestrzenna głowicy fotometrycznej zależy od kształtu i właściwości optycznych oraz od jej konstrukcji geometrycznej. Głowice do pomiaru natężenia oświetlenia mogą być wyposażone w różnego rodzaju nasadki. Sprawdzenie prawidłowości działania korekcji kosinusowej (przeźrzennej) głowicy fotometrycznej polega na pomiarze głowicy przy oświetlaniu jej z określonych kierunków skierowaną wiązką świetlną. Punktowe źródło światła powinno być usytuowane w stosunku do fotometru w odległości co najmniej 20 razy większej od największego wymiaru źródła światła i powierzchni czynnej głowicy fotometrycznej. Światło rozproszone padające na głowicę pomiarową powinno być w maksymalnym stopniu wyeliminowane. Podczas wykonywania pomiarów głowica fotometryczna obraca się wokół osi pionowej lub poziomej. Kąt padania odnosi się do normalnej do powierzchni czynnej głowicy. Oś obrotu powinna leżeć na powierzchni czynnej głowicy fotometrycznej.

Klasy luksomierzy

Zgodnie z wytycznymi Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej zawartymi w Publikacji CIE [17] luksomierze zostały podzielone na 4 klasy charakteryzujące ich dokładność:

- Klasa L - najwyższa jakość, fotometry stosowane w laboratoriach,
- Klasa A - wysoka jakość,

- Klasa B - średnia jakość,
- Klasa C - niska jakość.

W tabeli 8.4 zamieszczono dla każdej klasy, wartości dotyczące największego dopuszczalnego błędu związanego z niedopasowaniem korekcji przestrzennej.

Tabela 8.4. Wartości graniczne błędu związanego z niedopasowaniem korekcji przestrzennej

| Maksymalne wartości błędów dla klasy | | | |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|
| Klasa L | Klasa A | Klasa B | Klasa C |
| - | 1,5% | 3% | 6% |

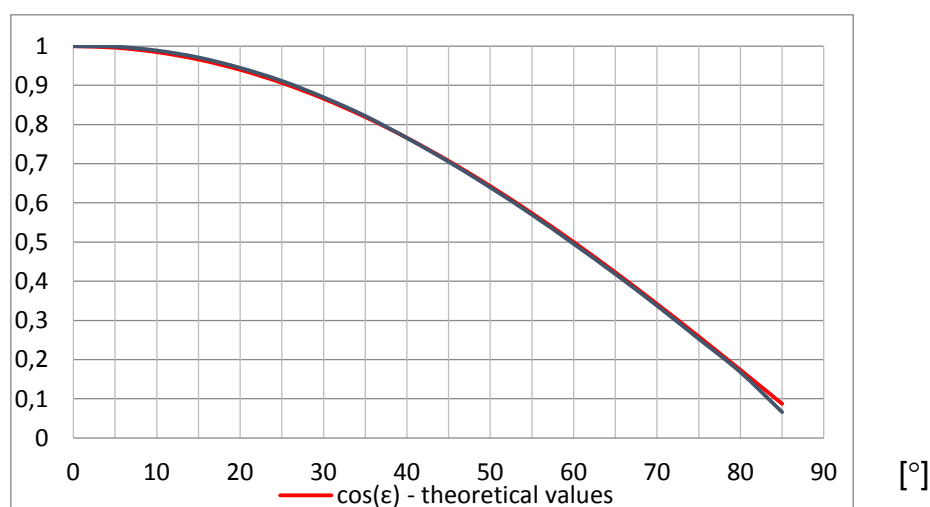
Wyniki pomiarów błędu korekcji przestrzennej

Poniżej przedstawiono wyniki pomiarów korekcji przestrzennej sześciu głowic fotometrycznych następujących luksomierzy:

- Sonopan L 100,
- LMT B 360 F,
- Sonel LXP-10A - 2 szt.
- Sonel LXP-10B - 2 szt.

Pomiary te miały na celu sprawdzenie czy producenci luksomierzy w sposób prawidłowy określili dla swych produktów odpowiednie klasy. W kolejnych tabelach i rysunkach przedstawiono uzyskane wartości liczbowe wyników pomiarów i obliczonego błędu korekcji przestrzennej oraz zestawienie teoretycznego wykresu korekcji kosinusowej z wynikającym z pomiarów.

Wyniki pomiarów korekcji przestrzennej głowicy fotometrycznej luksomierza L-100 Sonopan



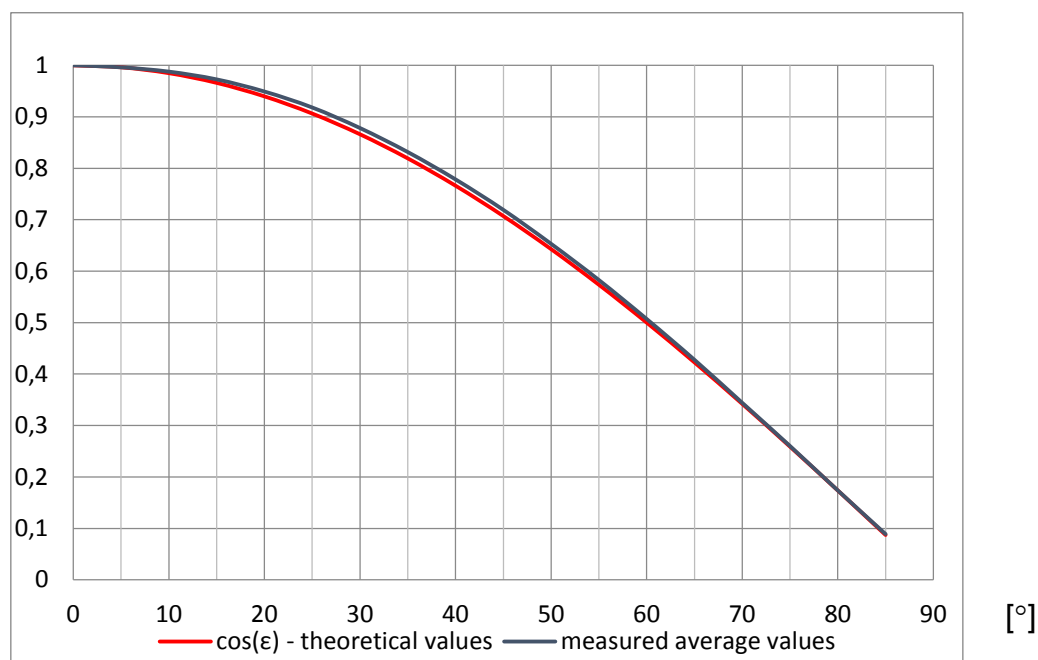
Rys. 8.1. Wykres korekcji przestrzennej – teoretycznej i wynikającej z pomiarów

Tabela 8.5. Wyniki pomiarów i obliczonego błędu korekcji przestrzennej

| ϵ [°] | $\cos(\epsilon)$ | E+ [lx] | E- [lx] | Average [lx] | $f_2(\epsilon)$ | $df_2(\epsilon)$ |
|----------------|------------------|---------|---------|--------------|-----------------|------------------|
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,000% | 0,000% |
| 5 | 0,99619 | 0,99882 | 0,99882 | 0,99882 | 0,046% | 0,004% |
| 10 | 0,98481 | 0,98881 | 0,98881 | 0,98881 | 0,139% | 0,012% |
| 15 | 0,96593 | 0,97114 | 0,97114 | 0,97114 | 0,270% | 0,024% |
| 20 | 0,93969 | 0,94464 | 0,94464 | 0,94464 | 0,339% | 0,030% |
| 25 | 0,90631 | 0,91137 | 0,91137 | 0,91137 | 0,427% | 0,037% |
| 30 | 0,86603 | 0,86955 | 0,86955 | 0,86955 | 0,352% | 0,031% |
| 35 | 0,81915 | 0,82185 | 0,82185 | 0,82185 | 0,310% | 0,027% |
| 40 | 0,76604 | 0,76561 | 0,76561 | 0,76561 | 0,056% | 0,005% |
| 45 | 0,70711 | 0,70495 | 0,70495 | 0,70495 | 0,306% | 0,027% |
| 50 | 0,64279 | 0,63928 | 0,63928 | 0,63928 | 0,538% | 0,047% |
| 55 | 0,57358 | 0,56979 | 0,56979 | 0,56979 | 0,621% | 0,054% |
| 60 | 0,50000 | 0,49529 | 0,49529 | 0,49529 | 0,816% | 0,071% |
| 65 | 0,42262 | 0,41814 | 0,41814 | 0,41814 | 0,812% | 0,071% |
| 70 | 0,34202 | 0,33746 | 0,33746 | 0,33746 | 0,858% | 0,075% |
| 75 | 0,25882 | 0,25294 | 0,25294 | 0,25294 | 1,135% | 0,099% |
| 80 | 0,17365 | 0,16784 | 0,16784 | 0,16784 | 1,143% | 0,100% |
| 85 | 0,08716 | 0,06596 | 0,06596 | 0,06596 | 4,224% | 0,369% |

Błąd korekcji przestrzennej $f_2(\alpha) = 1,081\%$. Klasa luksomierza – A.

Wyniki pomiarów korekcji przestrzennej głowicy fotometrycznej luksomierza LMT B 360



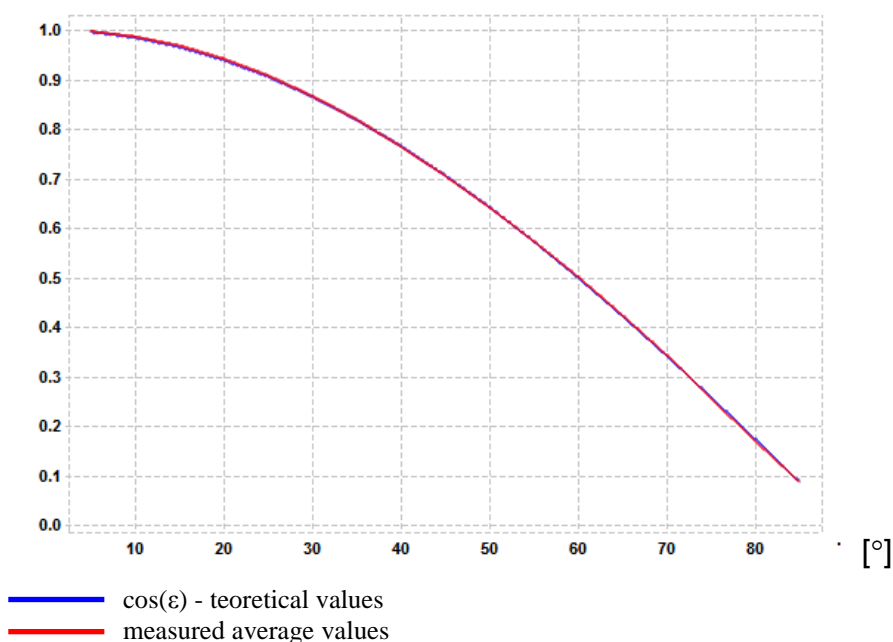
Rys. 8.2. Wykres korekcji przestrzennej – teoretycznej i wynikającej z pomiarów

Tabela 8.6. Wyniki pomiarów i obliczonego błędu korekcji przestrzennej

| ϵ [°] | $\cos(\epsilon)$ | E+ [lx] | E- [lx] | Average [lx] | $f_2(\epsilon)$ | $df_2(\epsilon)$ |
|----------------|------------------|---------|---------|--------------|-----------------|------------------|
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,000% | 0,000% |
| 5 | 0,99619 | 0,99619 | 0,99619 | 0,99619 | 0,000% | 0,000% |
| 10 | 0,98481 | 0,98776 | 0,98776 | 0,98776 | 0,103% | 0,009% |
| 15 | 0,96593 | 0,97269 | 0,97269 | 0,97269 | 0,350% | 0,031% |
| 20 | 0,93969 | 0,94909 | 0,94909 | 0,94909 | 0,643% | 0,056% |
| 25 | 0,90631 | 0,91809 | 0,91809 | 0,91809 | 0,996% | 0,087% |
| 30 | 0,86603 | 0,87815 | 0,87815 | 0,87815 | 1,212% | 0,106% |
| 35 | 0,81915 | 0,83144 | 0,83144 | 0,83144 | 1,410% | 0,123% |
| 40 | 0,76604 | 0,77830 | 0,77830 | 0,77830 | 1,576% | 0,138% |
| 45 | 0,70711 | 0,71913 | 0,71913 | 0,71913 | 1,700% | 0,148% |
| 50 | 0,64279 | 0,65307 | 0,65307 | 0,65307 | 1,575% | 0,137% |
| 55 | 0,57358 | 0,58275 | 0,58275 | 0,58275 | 1,503% | 0,131% |
| 60 | 0,50000 | 0,50700 | 0,50700 | 0,50700 | 1,212% | 0,106% |
| 65 | 0,42262 | 0,42769 | 0,42769 | 0,42769 | 0,919% | 0,080% |
| 70 | 0,34202 | 0,34407 | 0,34407 | 0,34407 | 0,386% | 0,034% |
| 75 | 0,25882 | 0,26011 | 0,26011 | 0,26011 | 0,250% | 0,022% |
| 80 | 0,17365 | 0,17382 | 0,17382 | 0,17382 | 0,034% | 0,003% |
| 85 | 0,08716 | 0,08899 | 0,08899 | 0,08899 | 0,364% | 0,032% |

Błąd korekcji przestrzennej $f_2(\alpha) = 1,242\%$. Klasa luksomierza – A.

Wyniki pomiarów korekcji przestrzennej głowicy fotometrycznej luksomierza LXP-10A firmy Sonel 1



Rys. 8.3. Wykres korekcji przestrzennej – teoretycznej i wynikającej z pomiarów

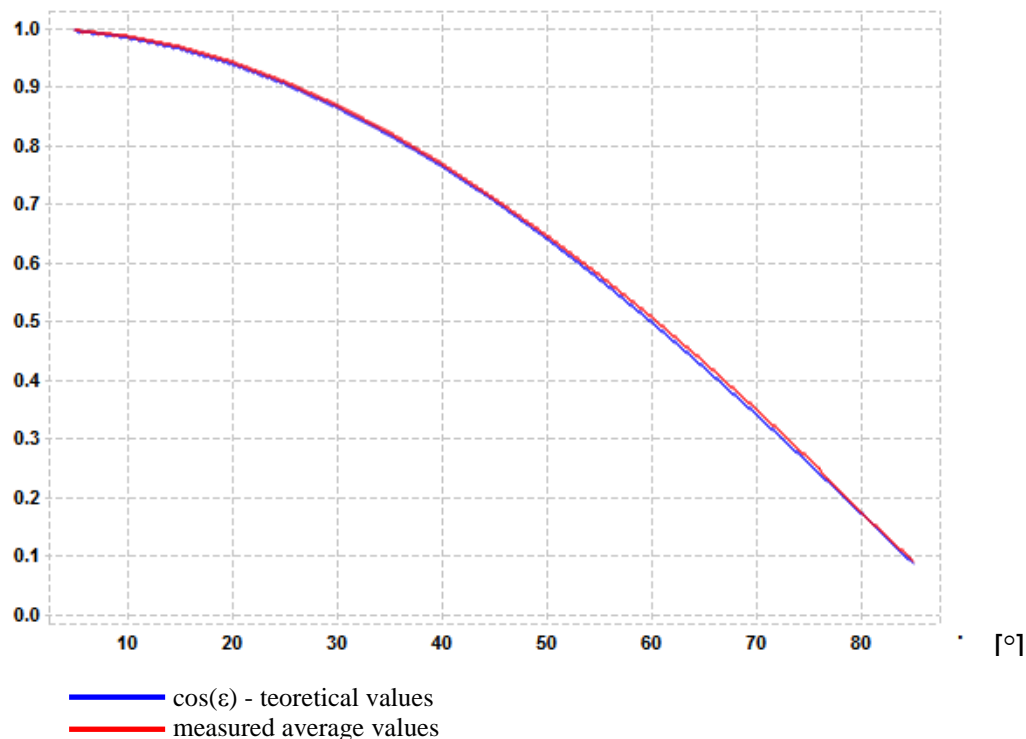
Tabela 8.7. Wyniki pomiarów i obliczonego błędu korekcji przestrzennej

| ϵ [°] | $\cos(\epsilon)$ | E+ [lx] | E- [lx] | Average [lx] | $f_2(\epsilon)$ | $df_2(\epsilon)$ |
|----------------|------------------|---------|---------|--------------|-----------------|------------------|
| 0 | 1.00000 | 1.00023 | 0.99977 | 1.00000 | 0.00000% | 0.00000% |
| 5 | 0.99619 | 0.99612 | 0.99745 | 0.99678 | 0.05907% | 0.00090% |
| 10 | 0.98481 | 0.98588 | 0.98741 | 0.98665 | 0.18675% | 0.00557% |
| 15 | 0.96593 | 0.96814 | 0.96948 | 0.96881 | 0.29845% | 0.01302% |
| 20 | 0.93969 | 0.94161 | 0.94313 | 0.94237 | 0.28525% | 0.01600% |
| 25 | 0.90631 | 0.90819 | 0.90893 | 0.90856 | 0.24844% | 0.01661% |
| 30 | 0.86603 | 0.86730 | 0.86741 | 0.86736 | 0.15373% | 0.01162% |
| 35 | 0.81915 | 0.81958 | 0.82013 | 0.81986 | 0.08591% | 0.00704% |
| 40 | 0.76604 | 0.76554 | 0.76555 | 0.76554 | -0.06547% | 0.00563% |
| 45 | 0.70711 | 0.70529 | 0.70707 | 0.70618 | -0.13161% | 0.01149% |
| 50 | 0.64279 | 0.64241 | 0.64243 | 0.64242 | -0.05682% | 0.00488% |
| 55 | 0.57358 | 0.57409 | 0.57418 | 0.57413 | 0.09708% | 0.00796% |
| 60 | 0.50000 | 0.50053 | 0.50429 | 0.50241 | 0.48189% | 0.03642% |
| 65 | 0.42262 | 0.42364 | 0.42533 | 0.42449 | 0.44237% | 0.02957% |
| 70 | 0.34202 | 0.34308 | 0.34511 | 0.34409 | 0.60660% | 0.03403% |
| 75 | 0.25882 | 0.25697 | 0.25551 | 0.25624 | -0.99593% | 0.04346% |
| 80 | 0.17365 | 0.17075 | 0.16720 | 0.16898 | -2.69108% | 0.08032% |
| 85 | 0.08716 | 0.08886 | 0.08553 | 0.08719 | 0.04424% | 0.00067% |

Błąd korekcji przestrzennej $f_2(\alpha) = 0,33\%$. Klasa luksomierza – A.

Wyniki pomiarów korekcji przestrzennej głowicy fotometrycznej luksomierza LXP-10A firmy

Sonel 2



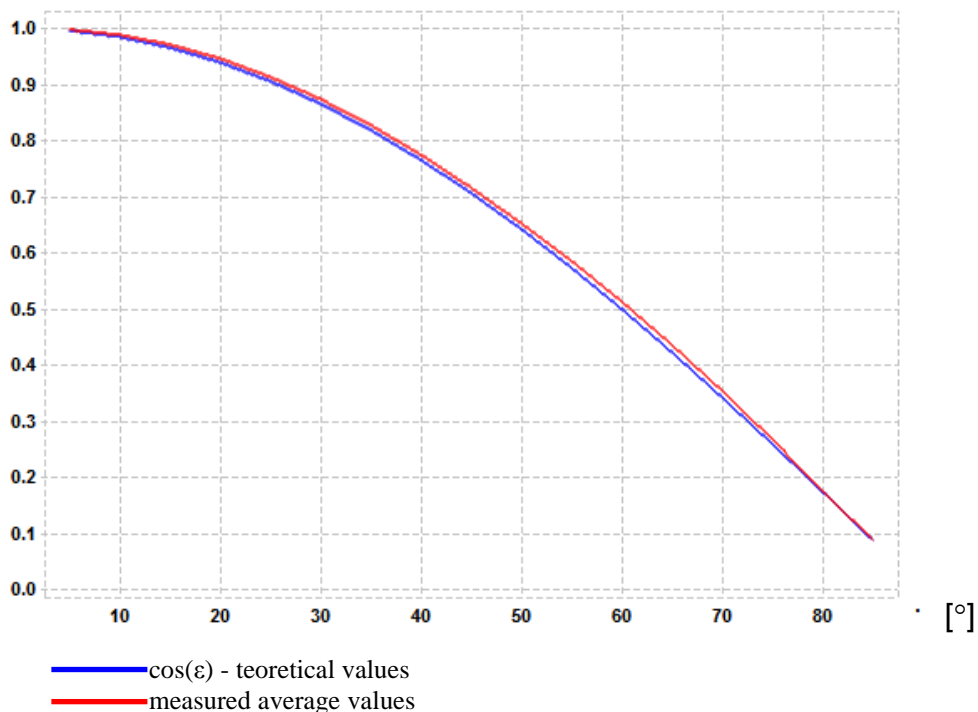
Rys. 8.4. Wykres korekcji przestrzennej – teoretycznej i wynikającej z pomiarów

Tabela 8.8. Wyniki pomiarów i obliczonego błędu korekcji przestrzennej

| ϵ [°] | $\cos(\epsilon)$ | E+ [lx] | E- [lx] | Average [lx] | $f_2(\epsilon)$ | $df_2(\epsilon)$ |
|----------------|------------------|---------|---------|--------------|-----------------|------------------|
| 0 | 1.00000 | 1.00014 | 0.99986 | 1.00000 | 0.00000% | 0.00000% |
| 5 | 0.99619 | 0.99734 | 0.99602 | 0.99668 | 0.04885% | 0.00074% |
| 10 | 0.98481 | 0.98803 | 0.98544 | 0.98673 | 0.19563% | 0.00584% |
| 15 | 0.96593 | 0.97080 | 0.96712 | 0.96896 | 0.31415% | 0.01371% |
| 20 | 0.93969 | 0.94517 | 0.94157 | 0.94337 | 0.39152% | 0.02196% |
| 25 | 0.90631 | 0.91224 | 0.90734 | 0.90979 | 0.38413% | 0.02568% |
| 30 | 0.86603 | 0.87161 | 0.86792 | 0.86977 | 0.43214% | 0.03266% |
| 35 | 0.81915 | 0.82482 | 0.82118 | 0.82300 | 0.46977% | 0.03852% |
| 40 | 0.76604 | 0.77196 | 0.76812 | 0.77004 | 0.52162% | 0.04483% |
| 45 | 0.70711 | 0.71195 | 0.70975 | 0.71085 | 0.52948% | 0.04621% |
| 50 | 0.64279 | 0.64848 | 0.64669 | 0.64759 | 0.74636% | 0.06414% |
| 55 | 0.57358 | 0.58096 | 0.58042 | 0.58069 | 1.24007% | 0.10169% |
| 60 | 0.50000 | 0.50802 | 0.50931 | 0.50867 | 1.73354% | 0.13101% |
| 65 | 0.42262 | 0.43193 | 0.43231 | 0.43212 | 2.24806% | 0.15028% |
| 70 | 0.34202 | 0.35004 | 0.35209 | 0.35107 | 2.64481% | 0.14836% |
| 75 | 0.25882 | 0.26422 | 0.26926 | 0.26674 | 3.06153% | 0.13358% |
| 80 | 0.17365 | 0.17370 | 0.17585 | 0.17477 | 0.64852% | 0.01936% |
| 85 | 0.08716 | 0.08889 | 0.09397 | 0.09143 | 4.90319% | 0.07430% |

Błąd korekcji przestrzennej $f_2(\alpha) = 1,05\%$. Klasa luksomierza – A.

Wyniki pomiarów korekcji przestrzennej głowicy fotometrycznej luksomierza LXP-10B firmy Sonel 1



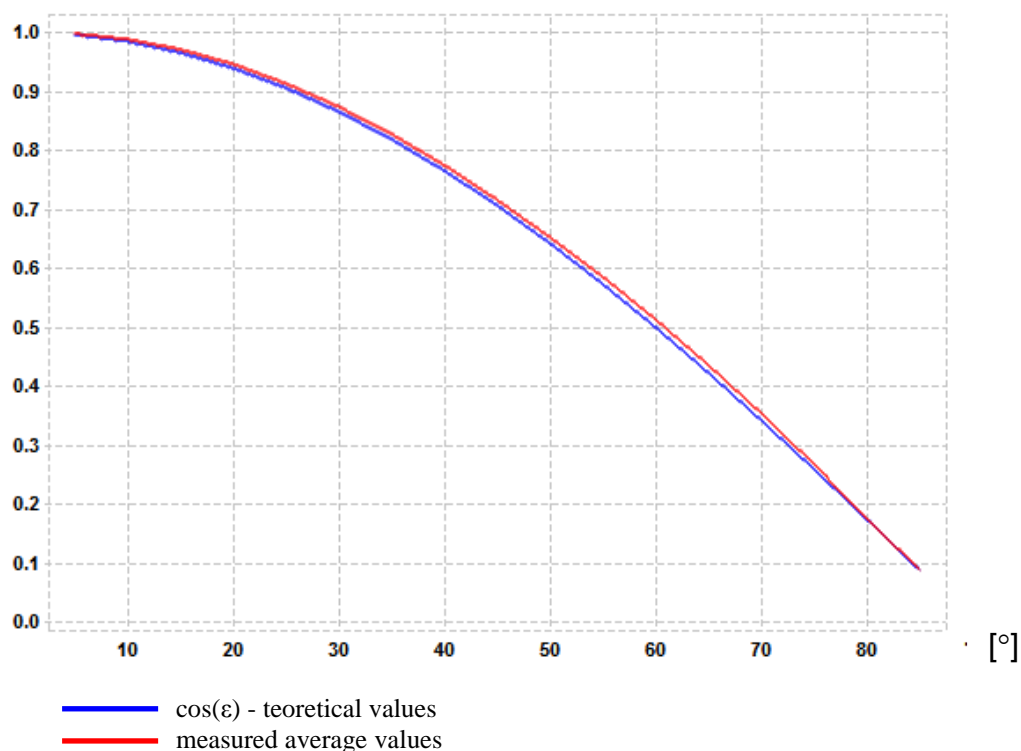
Rys. 8.5. Wykres korekcji przestrzennej – teoretycznej i wynikającej z pomiarów

Tabela 8.9. Wyniki pomiarów i obliczonego błędu korekcji przestrzennej

| ϵ [°] | $\cos(\epsilon)$ | E+ [lx] | E- [lx] | Average [lx] | $f_2(\epsilon)$ | $df_2(\epsilon)$ |
|----------------|------------------|---------|---------|--------------|-----------------|------------------|
| 0 | 1.00000 | 1.00034 | 0.99966 | 1.00000 | 0.00000% | 0.00000% |
| 5 | 0.99619 | 0.99922 | 0.99621 | 0.99771 | 0.15260% | 0.00231% |
| 10 | 0.98481 | 0.99096 | 0.98589 | 0.98843 | 0.36747% | 0.01097% |
| 15 | 0.96593 | 0.97472 | 0.96786 | 0.97129 | 0.55544% | 0.02424% |
| 20 | 0.93969 | 0.94955 | 0.94348 | 0.94652 | 0.72630% | 0.04074% |
| 25 | 0.90631 | 0.91721 | 0.91035 | 0.91378 | 0.82474% | 0.05513% |
| 30 | 0.86603 | 0.87769 | 0.87108 | 0.87439 | 0.96548% | 0.07297% |
| 35 | 0.81915 | 0.83074 | 0.82568 | 0.82821 | 1.10549% | 0.09065% |
| 40 | 0.76604 | 0.77773 | 0.77303 | 0.77538 | 1.21837% | 0.10471% |
| 45 | 0.70711 | 0.71772 | 0.71570 | 0.71671 | 1.35779% | 0.11849% |
| 50 | 0.64279 | 0.65445 | 0.65135 | 0.65290 | 1.57349% | 0.13523% |
| 55 | 0.57358 | 0.58574 | 0.58641 | 0.58607 | 2.17898% | 0.17868% |
| 60 | 0.50000 | 0.51271 | 0.51428 | 0.51349 | 2.69821% | 0.20392% |
| 65 | 0.42262 | 0.43550 | 0.43631 | 0.43590 | 3.14366% | 0.21015% |
| 70 | 0.34202 | 0.35276 | 0.35532 | 0.35404 | 3.51446% | 0.19714% |
| 75 | 0.25882 | 0.26616 | 0.26861 | 0.26739 | 3.31016% | 0.14443% |
| 80 | 0.17365 | 0.17382 | 0.17451 | 0.17416 | 0.29596% | 0.00883% |
| 85 | 0.08716 | 0.08756 | 0.09000 | 0.08878 | 1.86405% | 0.02825% |

Błąd korekcji przestrzennej $f_2(\alpha) = 1,63\%$. Klasa luksomierza – B.

Wyniki pomiarów korekcji przestrzennej głowicy fotometrycznej luksomierza LXP-10B firmy Sonel 2



Rys. 8.6. Wykres korekcji przestrzennej – teoretycznej i wynikającej z pomiarów

Tabela 8.10. Wyniki pomiarów i obliczonego błędu korekcji przestrzennej

| ϵ [°] | $\cos(\epsilon)$ | E+ [lx] | E- [lx] | Average [lx] | $f_2(\epsilon)$ | $df_2(\epsilon)$ |
|----------------|------------------|---------|---------|--------------|-----------------|------------------|
| 0 | 1.00000 | 1.00034 | 0.99966 | 1.00000 | 0.00000% | 0.00000% |
| 5 | 0.99619 | 0.99922 | 0.99621 | 0.99771 | 0.15260% | 0.00231% |
| 10 | 0.98481 | 0.99096 | 0.98589 | 0.98843 | 0.36747% | 0.01097% |
| 15 | 0.96593 | 0.97472 | 0.96786 | 0.97129 | 0.55544% | 0.02424% |
| 20 | 0.93969 | 0.94955 | 0.94348 | 0.94652 | 0.72630% | 0.04074% |
| 25 | 0.90631 | 0.91721 | 0.91035 | 0.91378 | 0.82474% | 0.05513% |
| 30 | 0.86603 | 0.87769 | 0.87108 | 0.87439 | 0.96548% | 0.07297% |
| 35 | 0.81915 | 0.83074 | 0.82568 | 0.82821 | 1.10549% | 0.09065% |
| 40 | 0.76604 | 0.77773 | 0.77303 | 0.77538 | 1.21837% | 0.10471% |
| 45 | 0.70711 | 0.71772 | 0.71570 | 0.71671 | 1.35779% | 0.11849% |
| 50 | 0.64279 | 0.65445 | 0.65135 | 0.65290 | 1.57349% | 0.13523% |
| 55 | 0.57358 | 0.58574 | 0.58641 | 0.58607 | 2.17898% | 0.17868% |
| 60 | 0.50000 | 0.51271 | 0.51428 | 0.51349 | 2.69821% | 0.20392% |
| 65 | 0.42262 | 0.43550 | 0.43631 | 0.43590 | 3.14366% | 0.21015% |
| 70 | 0.34202 | 0.35276 | 0.35532 | 0.35404 | 3.51446% | 0.19714% |
| 75 | 0.25882 | 0.26616 | 0.26861 | 0.26739 | 3.31016% | 0.14443% |
| 80 | 0.17365 | 0.17382 | 0.17451 | 0.17416 | 0.29596% | 0.00883% |
| 85 | 0.08716 | 0.08756 | 0.09000 | 0.08878 | 1.86405% | 0.02825% |

Błąd korekcji przestrzennej $f_2(\alpha) = 2,62\%$. Klasa luksomierza – B.

Wniosek

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów błędu korekcji przestrzennej można stwierdzić, że producenci luksomierzy w sposób prawidłowy określili dla swych produktów odpowiednie klasy.

8.3. Badanie wpływu korekcji przestrzennej głowic fotometrycznych na wyniki pomiarów natężenia oświetlenia w porównaniu z wynikami symulacji komputerowej instalacji oświetlenia ewakuacyjnego

Zgodnie z projektami oświetlenia ewakuacyjnego (omówionymi w rozdziale 4.4 niniejszego opracowania), w korytarzu o wymiarach 22 x 2 x 2,28 m (opisanym w rozdziale 4.2) wykonano pomiary natężenia oświetlenia w centralnym pasie drogi o wymiarach 22 x 1 m oraz w środkowej linii, umiejscowionej po środku tej drogi, o długości 22 m (siatka pomiarowa rys. 6.1).

Pomiary oświetlenia ewakuacyjnego wykonano dla pięciu rodzajów opraw oświetleniowych (przedstawionych w rozdziale 4.1):

- ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL (rys. 4.1.),
- DISCRET N, 4 x 1 LED, AT firmy AMATECH (rys. 4.2.),
- ALFA III, AT, AL3/4/4/AS/1H firmy AMATECH (rys. 4.3.),
- HERKULES-P ROAD AT 1J LED 5 firmy HYBRYD (rys. 4.4.),

- KWADRA SIDE N AT 1J LED 3 firmy HYBRYD (rys. 4.5).

Oprawy ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL zostały 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. Pozostałe oprawy zostały umiejscowione na ścianie, na wysokości 2,0 m względem podłogi (0,28 m os sufitu) i w odległościach wynikających z projektów dla poszczególnych opraw.

Do pomiarów wykorzystano następujące luksomierze:

- Sonopan L 100, klasy A, błąd $f_2 = 1,081\%$,
- LMT B 360 F, klasy A, błąd $f_2 = 1,242\%$,
- Sonel LXP-1, klasy C, błąd $f_2 \leq 6\%$.

W tabeli 8.11 zestawiono uzyskane z symulacji komputerowych oraz z pomiarów wartości minimalnego i maksymalnego natężenia oświetlenia dla środkowej linii oraz centralnego pasa drogi ewakuacyjnej, a także wyznaczone stosunki wartości maksymalnej do minimalnej natężenia oświetlenia dla obu obszarów pomiarowych. Kolorem czerwonym zaznaczono wartości nie spełniające wymagań normy.

Tabela 8.11. Zestawienie wyników projektów i pomiarów oświetlenia ewakuacyjnego

| Typ oprawy / producent | Źródło danych | 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 760 ZUMTOBEL | DIALUX | 14,0 | 2,94 | 4,76 : 1 | 19,0 | 0,13 | 146 : 1 |
| | RELUX | 14,6 | 1,5 | 9,73 : 1 | 19,8 | 0,0 | --- |
| | Sonopan L100 | 16,20 6 | 2,348 | 6,44 : 1 | 19,548 | 1,765 | 11,1 : 1 |
| | LMT B 360 F | 16,47 | 2,515 | 6,55 : 1 | 17,15 | 1,549 | 11,1 : 1 |
| | Sonel LXP-1 | 15,3 | 1,4 | 10,9 : 1 | 16,4 | 0,5 | 32,8 : 1 |
| DISCRET N, 4 x 1 LED, AT 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 |
| | Sonopan L100 | 25,50 5 | 6,908 | 3,69 : 1 | 28,126 | 7,012 | 4,0 : 1 |
| | LMT B 360 F | 25,22 | 6,78 | 3,72 : 1 | 27,8 | 7,68 | 3,62 : 1 |

| Typ oprawy / producent | Źródło danych | 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] |
| | Sonel LXP-1 | 24,8 | 5,1 | 4,86 : 1 | 26,0 | 6,2 | 4,19 : 1 |
| ALFA III, AT, AL3/4/4/AS/1H AMATECH | DIALUX | 6,0 | 1,32 | 4,55 : 1 | 16,0 | 1,04 | 15,38 : 1 |
| | RELUX | 5,8 | 0,8 | 7,25 : 1 | 16,7 | 0,7 | 23,86 : 1 |
| | Sonopan L100 | 35,54 2 | 8,704 | 4,1 : 1 | 39,12 | 7,726 | 5,1 : 1 |
| | LMT B 360 F | 34,82 | 8,262 | 4,2 : 1 | 37,826 | 8,282 | 4,57 : 1 |
| | Sonel LXP-1 | 28,6 | 7,6 | 3,76 : 1 | 34,6 | 6,8 | 5,1 : 1 |
| HERKULES-P ROAD AT 1J LED 5 HYBRYD | DIALUX | 28,0 | 2,8 | 10 : 1 | 30,0 | 2,48 | 12,1 : 1 |
| | RELUX | 20,8 | 0,5 | 41,6 : 1 | 21,2 | 0,4 | 53 : 1 |
| | Sonopan L100 | 55,06 6 | 12,846 | 4,3 : 1 | 70,428 | 11,602 | 6,1 : 1 |
| | LMT B 360 F | 54,86 2 | 12,202 | 4,5 : 1 | 69,54 | 12,216 | 5,69 : 1 |
| | Sonel LXP-1 | 49,8 | 11,5 | 4,3 : 1 | 62,0 | 9,8 | 6,3 : 1 |
| KWADRA SIDE N AT 1J LED 3 HYBRYD | DIALUX | 10,5 | 1,89 | 5,56 : 1 | 13,0 | 1,48 | 8,78 : 1 |
| | RELUX | 11,1 | 0,6 | 18,5 : 1 | 12,8 | 0,3 | 42,67 : 1 |
| | Sonopan L100 | 27,80 6 | 7,142 | 3,89 : 1 | 26,804 | 6,628 | 4,0 : 1 |
| | LMT B 360 F | 27,12 | 6,842 | 3,96 : 1 | 24,848 | 6,572 | 3,78 : 1 |
| | Sonel LXP-1 | 25,4 | 5,2 | 4,88 : 1 | 20,4 | 5,2 | 3,9 : 1 |

Wnioski z analizy wpływu korekcji przestrzennej głowic fotometrycznych na wyniki pomiarów natężenia oświetlenia w porównaniu z wynikami symulacji komputerowej instalacji oświetlenia ewakuacyjnego

Na podstawie zestawienia wyników pomiarów natężenia oświetlenia ewakuacyjnego można stwierdzić, że w przypadku luksomierza firmy Sonopan L-100 i LMT B 360 różnią się w sposób minimalny. W większości przypadków wartości pomiarów uzyskane z luksomierza LMT B 360 są mniejsze od uzyskanych z luksomierza L-100. Ze względu na bardzo małą różnicę błędu niedopasowania kosinusowego w przypadku tych dwóch luksomierzy, która

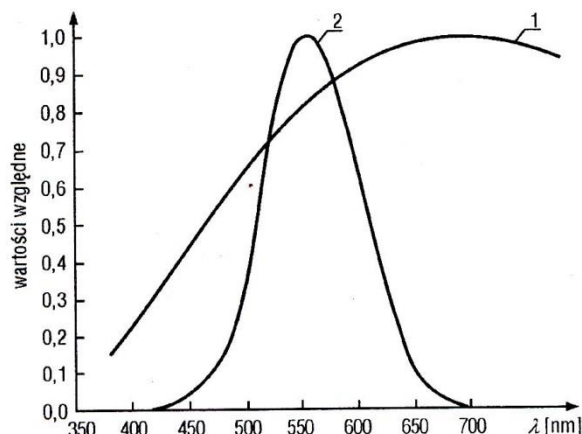
wynosi 0,161, a także ze względu na wykonanie pomiarów tylko dwoma luksomierzami w klasie A, trudno jest wyciągnąć jednoznaczny wniosek dotyczący wpływu błędu korekcji przestrzennej głowicy pomiarowej na wyniki pomiaru natężenia oświetlenia. Różnice wskazań między tymi dwoma luksomierzami były większe dla pomiarów w pasie centralnym niż na linii środkowej i maksymalnie wynosiła 2,4 lx. Natomiast jednoznacznie można stwierdzić, że wyniki uzyskane z luksomierza Sonel LXP-1 znacznie odbiegają od pozostałych wyników pomiarowych. Generalnie wszystkie wartości były mniejsze, stwierdzono znaczne różnice w wartościach natężenia oświetlenia na linii środkowej, a maksymalna różnica wynosiła 7,6 lx. Największe procentowe różnice we wskazaniach wystąpiły przy oprawach Zumtobel zamontowanych nisko nad podłogą (na wysokości 0,58 m od podłogi). Wynosiły one nawet 200%. Oznacza to, że głowica fotometryczna tego luksomierza ma znaczny błąd związany z niedopasowaniem przestrzennym, nie od wartości kąta 75° , jak się przyjmuje dla większości głowic, ale już od kąta wynoszącego co najmniej 50° (wartość tego kąta została wyliczona z układu pomiarowego).

Uzyskane wyniki pomiarów natężenia oświetlenia są większe od wartości otrzymanych z symulacji komputerowych. Minimalne różnice (poniżej 1 lx) uzyskano jedynie w przypadku opraw firmy ZUMTOBEL zamontowanych na ścianie w odległości 0,58 m od podłogi. Natomiast w przypadku wszystkich pozostałych badanych opraw, które zamontowano na ścianie (pod sufitem) w odległości 2 m od podłogi, różnice te były znacznie większe i wynosiły od dwóch do trzydziestu razy. Zostały one spowodowane wykonaniem obliczeń dla składowej bezpośredniej strumienia świetlnego bez uwzględniania w projektach odbić wielokrotnych. Należy pamiętać, że ściany i sufit badanego korytarza miały w rzeczywistości białe ściany i biały sufit oraz podłogę, która w połowie była jasna, a w drugiej granatowa.

8.4. Błąd korekcji widmowej głowic fotometrycznych

Głowica fotometryczna luksomierza musi reagować na padający na nią strumień świetlny dokładnie tak samo jak normalny obserwator fotometryczny o czułości względnej oka $V(\lambda)$ [17]. W związku z tym, że wymagana krzywa $V(\lambda)$ czułości widmowej głowicy fotometrycznej różni się w znacznym stopniu od krzywej czułości widmowej detektora krzemowego $S(\lambda)$ (rys. 8.13) zachodzi konieczność widmowego skorygowania tego detektora. W praktyce konstrukcyjnej głowic fotometrycznych dopasowanie względne czułości widmowej do krzywej skuteczności świetlnej $V(\lambda)$ w przypadku pomiarów wielkości fotometrycznych jest jednym z najważniejszych wymagań dotyczących jakości. Błąd

wynikający z niedokładnego dopasowania tych dwóch krzywych zależy między innymi od rozkładu widmowego promieniowania mierzonego.



Rys. 8.13. Charakterystyki widmowe:

- 1 - Krzywa czułości widmowej $S(\lambda)$ fotoogniwa krzemowego,
- 2 - wymagana krzywa czułości widmowej $V(\lambda)$ głowicy fotometrycznej luksomierza

Błąd korekcji widmowej głowicy pomiarowej, zależny od rozkładu widmowego promieniowania mierzonego, oznaczany jest jako f_1 i wyrażony jest zależnością [17]

$$f_1 = \frac{\int_{380}^{780} E_Z S_\lambda d\lambda}{\int_{380}^{780} E_Z V_\lambda d\lambda} \frac{\int_{380}^{780} E_A V_\lambda d\lambda}{\int_{380}^{780} E_A S_\lambda d\lambda} - 1,$$

gdzie:

E_Z - oznacza rozkład widmowy promieniowania optycznego badanego źródła

E_A - jest to względny rozkład widmowy mocy promieniowania, przy którym przeprowadzono wzorcowanie głowicy fotometrycznej,

$V(\lambda)$ - wymagana względna czułość widmowa głowicy fotometrycznej,

$S(\lambda)$ - względna rzeczywista czułość widmowa głowicy fotometrycznej.

W praktyce do określania jakości korekcji widmowej głowic fotometrycznych stosuje się błąd wywołany niedoskonałą korekcją widmową głowicy, oznaczany jako f_1' i wyrażony zależnością (opis symboli zamieszczono powyżej)

$$f_1' = \frac{\int_{380}^{780} \frac{\int_{380}^{780} E_A V_\lambda d\lambda}{\int_{380}^{780} E_A S_\lambda d\lambda} S_\lambda - V_\lambda d\lambda}{\int_{380}^{780} V_\lambda d\lambda} 100\%$$

Źródła światła, których promieniowanie (E_z) może być mierzone głowicami fotometrycznymi można scharakteryzować za pomocą temperatury barwowej i ogólnego wskaźnika oddawania barw. Do źródeł tych należą: żarówki, żarówki halogenowe oraz świetlówki i lampy wysokoprężne o pełnym zakresie temperatur barwowych wskaźnika oddawania barw.

W tabeli 8.12. zamieszczono wartości graniczne błędu związanego z niedopasowaniem czułości widmowej $V(\lambda)$.

Tabela 8.12. Wartości graniczne błędu związanego z niedopasowaniem czułości widmowej

| Maksymalne wartości błędów dla klasy | | | |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|
| Klasa L | Klasa A | Klasa B | Klasa C |
| 2% | 3% | 6% | 9% |

W przypadku luksomierzy używanych do pomiarów natężenia oświetlenia ewakuacyjnego w rozdziale 8.3 niniejszego opracowania, producenci zadeklarowali następujące błędy związane z niedopasowaniem czułości widmowej:

- Sonopan L-100, błąd $f_1' = 1,31\%$,
- LMT B 360 F, błąd $f_1' = 0,6\%$.

8.5. Współczynnik korekcji barwowej

Przy stosowaniu fotometrów do pomiaru źródeł światła mających rozkłady widmowe mocy promienistej inne od rozkładu widmowego źródła wzorcowego wystąpi błąd spowodowany niepełną korekcją widmową czułości widmowej fotometru do funkcji $V(\lambda)$. Błąd ten może być skorygowany za pomocą współczynnika korekcji barwowej

$$K = \frac{E_{WB} \cdot E_{SW}}{E_{SB} \cdot E_{WW}}$$

gdzie:

E_{WW} – natężenie oświetlenia na powierzchni ogniwa fotometrycznego luksomierza odniesienia przy użyciu wzorca światłości (iluminantu A) o temperaturze barwowej najbliższej $T_c = 2\ 856\ K$,

E_{WB} – natężenie oświetlenia na powierzchni ogniwa fotometrycznego luksomierza odniesienia przy użyciu źródła światła nie będącego iluminantem A,

E_{SW} – natężenie oświetlenia na powierzchni ogniwa fotometrycznego badanego luksomierza przy użyciu wzorca światłości (iluminantu A) o temperaturze barwowej najbliższej $T = 2\ 856\ K$,

E_{SB} – natężenie oświetlenia na powierzchni ogniwa fotometrycznego badanego luksomierza odniesienia przy użyciu źródła światła nie będącego iluminantem A.

Jeżeli podczas wykonywania pomiarów źródło nie będące iluminantem A ustawi się w takim punkcie, aby $E_{WB} = E_{WW}$ to współczynnik korekcji barwowej można wyznaczyć z zależności

$$K = \frac{E_{WB}}{E_{SB}}$$

Wyznaczenia współczynników (wskaźników) korekcji barwowej dokonuje się na ławie fotometrycznej. Z jednej strony ustawia się wzorzec światłości (iluminant A) o temperaturze barwowej najbliższej $T = 2\ 856\ K$, a z drugiej wózek z uchwytem pozwalającym na jednoczesne zamocowanie ogniwa fotometrycznego badanego luksomierza oraz ogniwa fotometrycznego luksomierza odniesienia. Powierzchnie czynne obu ogniw fotometrycznych należy ustawić w tej samej płaszczyźnie pionowej, prostopadłej do osi optycznej ławy. W miejscu zamontowania wzorca światłości umieszcza się kolejno pozostałe źródła światła. Najpierw zmierzono natężenie oświetlenia E_{SW} na powierzchni ogniwa fotometrycznego badanego luksomierza oraz natężenie oświetlenia E_{WW} na powierzchni ogniwa fotometrycznego luksomierza odniesienia przy użyciu wzorca światłości. Następnie, po zamianie wzorca światłości kolejnymi źródłami światła zmierzono natężenia oświetlenia E_{WB} na powierzchni ogniwa fotometrycznego luksomierza odniesienia oraz zmierzono natężenie oświetlenia E_{SB} na powierzchni ogniwa fotometrycznego badanego luksomierza.

W tabeli 8.13 zamieszczono wyniki współczynników korekcji barwowej (mnożników) luksomierza L-100 oraz właściwości barwowe (temperatura barwowa najbliższa i wskaźnik oddawania barw) wykorzystanych do badań elektrycznych źródeł światła.

Tabela 8.13. Współczynniki korekcji barwowej dla luksomierza L-100

| Źródło światła | Wartość współczynnika | Temperatura barwowa [K] | Wskaźnik oddawania barw |
|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Wysokoprężna lampa sodowa | 0,99 | 2178 | 56 |
| Wysokoprężna lampa rtęciowa | 1,00 | 5425 | 41 |
| Lampa ksenonowa | 1,00 | 5946 | 94,5 |
| Świetlówka – barwa ciepła | 0,99 | 2657 | 85 |
| Świetlówka – barwa biała | 1,00 | 3698 | 64,5 |
| Świetlówka – barwa chłodno-biała | 1,00 | 4522 | 83 |
| Świetlówka – barwa dzienna | 1,00 | 7373 | 79 |
| LED – barwa ciepła | 0,99 | 3092 | 71 |
| LED – barwa biała | 0,99 | 4163 | 66 |
| LED – barwa zimna | 1,00 | 7721 | 80 |
| LED – barwa niebieska | 1,06 | – | – |
| LED – barwa zielona | 1,00 | – | – |
| LED – barwa czerwona | 0,99 | – | – |

Zastosowanie podanych w tabeli 9.13 współczynników korekcji barwowej zmniejsza błędy uzyskanej wartości natężenia oświetlenia. Idealną sytuacją jest, aby współczynniki te przyjmowały wartość równą jeden. Jednak taka sytuacja występuje w praktyce dla głowic fotometrycznych luksomierzy o bardzo dobrej korekcji widmowej. W przypadku luksomierzy o klasie B współczynniki te przyjmują wartości pomiędzy 0,99 a 1,42, a dla klasy C – od 0,9 do 2,64. Największe wartości tego współczynnika występują dla źródeł LED o barwie zielonej i niebieskiej.

8.6. Zaokrąglanie i zapis wyników pomiarów oraz ich niepewności

Wynik pomiaru powinien informować o wartości wielkości zmierzonej, jednostkach w jakich jest ta wielkość podana oraz dokładności z jaką została wyznaczona. Bez tych informacji wynik jest mało przydatny.

Wynik z pomiaru natężenia oświetlenia z uwzględnieniem błędu całkowitego (2,5%) ma postać $E = 3,21 \text{ lx} \pm 0,08 \text{ lx}$.

Zaokrąglanie wartości niepewności pomiaru

Podczas zaokrąglania wartości niepewności pomiarów należy stosować następujące zasady:

1. Niepewność zaokrąglać zawsze w górę.
2. Wstępnie niepewność zaokrągla się do jednej cyfry znaczącej.

3. Jeżeli wstępne zaokrąglenie wartości niepewności powoduje wzrost jej wartości o więcej niż 10%, to niepewność należy zaokrąglić z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Zaokrąglanie wyników pomiarów

Podstawowa dla procesu zaokrąglania wyników pomiarów jest reguła podawania wyników pomiarów z dokładnością do miejsca, na którym występuje ostatnia znacząca cyfra niepewności pomiaru.

Wnioski

W praktyce pomiarowej wartość zmierzona powinna być podawana z taką dokładnością z jaką określona jest dokładność niepewności. Podawanie zbędnych cyfr zarówno w wynikach pomiarów, jak i wartościach niepewności nie świadczy o skrupulatności obliczającego, lecz o niezrozumieniu podstaw analizy niepewności pomiarów!

III. Automatyzacja pomiarów natężenia oświetlenia

9. Model zautomatyzowanego urządzenia do pomiaru natężenia oświetlenia ewakuacyjnego

Niektóre modele luksomierzy mają możliwość zbierania wyników pomiarów i zapamiętania ich w pamięci elektronicznej oraz możliwość komunikacji z otoczeniem za pomocą portu szeregowego (RS 232 lub USB). Możliwy jest również w niektórych przyrządach automatyczny pomiar natężenia oświetlenia w określonych odstępach czasu co pozwala wyznaczyć np. charakterystykę czasową świecenia źródła. Jednak nie znaleziono żadnego komercyjnego przyrządu przeznaczonego do pomiaru natężenia oświetlenia, który samodzielnie by się przemieszczał i przekazywał informację o swoim położeniu. Takie urządzenie mogłoby znaleźć zastosowanie przy pomiarze natężenia oświetlenia w długich ciągach komunikacyjnych czy halach przemysłowych. Ułatwiłoby ono pomiary natężenia oświetlenia dróg ewakuacyjnych, które wykonywane są na poziomie podłogi. W związku z tym wykonany model urządzenia pomiarowego ma możliwość:

- samodzielnego przemieszczania się w linii prostej,
- unikania zderzenia z obiektami, które przypadkowo mogą znaleźć się na trasie pojazdu jak np. przechodzący człowiek,
- komunikacji: pojazd - komputer, komputer - pojazd
- sterowania pojazdem, przy zachowaniu możliwie najmniejszej ingerencji w proces pomiaru,
- przekazywania informacji o położeniu (przebytej drodze) i natężeniu oświetlenia w danym punkcie pomiarowym ze ściśle określonym błędem pomiarowym,
- współpracowania z powszechnie dostępnymi arkuszami kalkulacyjnymi,
- posiadania możliwości regulacji wysokości zamontowania czujnika oświetlenia od minimalnego, możliwego położenia głowicy pomiarowej względem podłoża (około 8 cm do 80 cm).

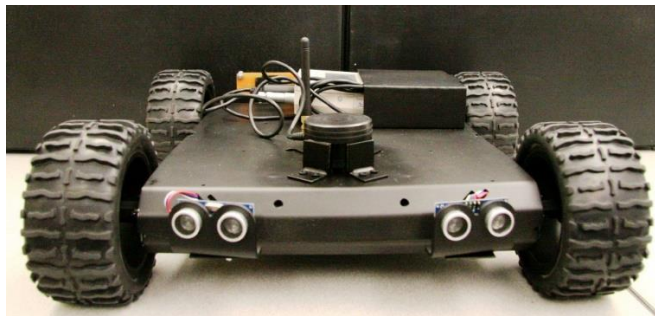
Do pomiarów natężenia oświetlenia zastosowano luksomierz firmy SONOPAN, typ L-100. Jego zakres pomiarowy wynosi od 0,001 lx o 300 klx, a klasa dokładności A (wg CIE). Błąd całkowity luksomierza wynosi $\leq 2,5\%$. Głowica fotometryczna tego luksomierza posiada korekcję do względnej skuteczności biologicznej widzenia ftopowego $V(\lambda)$, błąd ze względu na dopasowanie widmowe $f_1 = 1,31\%$, a na dopasowanie kierunkowe $f_2 \leq 1,5\%$ (zgodnie z CIE [17]).

W modelu urządzenia pomiarowego wykorzystano platformę nośną polskiej firmy Woobit (rys. 9.1).



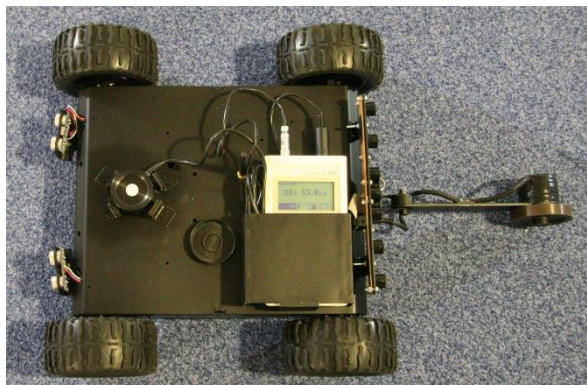
Rys. 9.1. Widok kołowej platformy mobilnej firmy Woobit

Jako układ zabezpieczający przed zderzeniami wykorzystano czujniki ultradźwiękowe zamontowane w przedniej części platformy – 2 sztuki (rys. 9.2). Kąt widzenia każdego z czujników wynosi 120° , a zasięg widzenia przeszkody zaprogramowano na 0,3 m.



Rys. 9.2. Widok kołowej platformy mobilnej od strony przedniej
- z zamontowanymi czujnikami ultradźwiękowymi

Do pomiaru przebytej drogi zastosowano przetwornik obrotowo-impulsowy (enkoder) MWK 40 na wahliwym wysięgniku zamontowanym za platforma mobilną (rys. 9.3 i 9.4). Bieżnia gumowa koła pomiarowego przetwornika toczy się po mierzonym materiale dociskana ciężarem własnym przetwornika z ramieniem. Współpraca z rewersyjnym licznikiem umożliwia precyzyjny pomiar długości. Enkoder generuje 1 000 impulsów/obrót co przy obwodzie koła enkodera wynoszącym 20 cm pozwala na uzyskanie rozdzielczości pomiaru przejechanej drogi rzędu 0,2 mm.



Rys. 9.3. Widok modelu zautomatyzowanego urządzenia przeznaczonego do pomiaru natężenia oświetlenia ewakuacyjnego

Parametrem, który wpływa na błąd pomiaru przebytej drogi jest odchylenie toru jazdy od wyznaczonego kierunku. Nawet stosunkowo niewielka wartość kąta odchylenia powoduje duży błąd pomiaru odległości. Ustalanie toru jazdy platformy realizowane jest za pomocą zielonego lasera liniowego oraz dziewięciu kolimatorów (fototranzystorów z soczewkami) umieszczonych z tyłu na korpusie platformy mobilnej (rys. 9.4). Laser zamontowany jest w specjalnej podstawie umożliwiającej ukierunkowanie jego wiązki w obszar kolimatorów. Laser pozostaje na jednym z końców badanego korytarza, a urządzenie pomiarowe przemieszcza się do drugiego końca. Promień lasera wyznacza linię wzdłuż której wykonywane są pomiary. Zasięg wiązki lasera detekowanej w kolimatorach wynosi minimum 50 m.

Urządzenie pomiarowe przemieszcza się po linii prostej i wykonuje pomiar w stałej, zadanej odległości między punktami pomiarowymi. W trakcie wykonywania pomiaru urządzenie zatrzymuje się na około 3 sekundy w celu ustabilizowania się wskaźnika natężenia oświetlenia.



Rys. 9.4. Widok kołowej platformy mobilnej od strony tylnej
- z zamontowanymi kolimatorami i enkoderem

Komunikacja bezprzewodowa

Zadaniem modułu komunikacji bezprzewodowej jest zapewnienie łączności, w obie strony, pomiędzy platformą ruchomą a komputerem. Komunikacja między komputerem a platformą ruchomą zapewnia sterowanie platformy, wydaje polecenia: startu pojazdu, zatrzymania oraz jego powrotu. Komunikacja między platformą ruchomą a komputerem służy do przekazywania danych pomiarowych: informacji o przebytej drodze i natężeniu oświetlenia. W wykonanym modelu urządzenia zastosowano moduł radiowy MOBOT-RCR-

V2, który umożliwia łączność z modułem MOBOT-RCR-USB-V2 bezpośrednio podłączonym do komputera PC przez złącze USB. Moduł ten pracuje w trybie „modem”, który umożliwia dwukierunkową wymianę danych. Moduły działają w paśmie 868 MHz w zasięgu ponad 100 m. Antena modułu radiowego MOBOT-RCR-V2 zamontowana jest w centralnej części platformy ruchowej (rys. 9.3).

Oprogramowanie sterujące urządzeniem pomiarowym i wizualizacja danych

Jednostką sterującą urządzeniem jest 8 bitowy mikrokontroler z rodziny AVR. Służy on do odbioru danych pomiarowych z luksomierza, sterowania platformą i przesyłu informacji drogą bezprzewodową za pomocą modułu Mobot RCR-V2. Układem sterowania pracą silników i utrzymywania kierunku jazdy oraz wykrywania przeszkód steruje program napisany w języku SPARTA, który jest wizualnym językiem programowania stworzonym do programowania robotów serii MOBOT.

Program mający na celu sterowanie sygnałami zatrzymującymi i zezwalającymi na poruszanie i sterowanie komputerowe urządzenia, odczyt pomiaru przebytej drogi, odczyt danych z luksomierza oraz zintegrowanie danych pomiarowych w ciąg wyników, które mogą być później przeniesione do arkusza kalkulacyjnego napisany został w języku Bascom. Nadrzędnym sygnałem wobec wszystkich sygnałów sterujących jest sygnał z sonarów ultradźwiękowych zapobiegający zderzeniu platformy ruchomej z przeszkodami.

Na rysunku 9.5. pokazano model urządzenia pomiarowego podczas wykonywania pomiarów natężenia oświetlenia ewakuacyjnego na badanym korytarzu.



Rys. 9.5. Widok korytarza podczas wykonywania pomiarów natężenia oświetlenia ewakuacyjnego z wykorzystaniem modelu urządzenia pomiarowego

10. Podsumowanie

Instalacja oświetlenia awaryjnego, podobnie jak instalacja podstawowego oświetlenia, podlega modyfikacjom uwzględniającym, między innymi, rozwój technologii sprzętu oświetleniowego, zmiany przepisów w zakresie bezpieczeństwa pożarowego budynków, czy zwiększonych wymagań stawianych projektom budowlanym. Znajduje to odzwierciedlenie również w aktualizacjach przepisów normalizacyjnych dotyczących oświetlenia awaryjnego. Wprowadzona w 2013 roku metodą okładkową znowelizowana norma PN-EN 1838: 2013E [7] zastąpiła normę opublikowaną w języku polskim PN-EN 1838: 2005 [6] o tym samym tytule. Nowa norma rozszerzyła rodzaje oświetlenia awaryjnego stosowanego w budynkach o oświetlenie ewakuacyjne wykonane za pomocą znaków bezpieczeństwa.

W zakresie sprzętu oświetleniowego przeznaczonego do oświetlenia awaryjnego można zauważyć, że oprawy z diodami świecącymi (LED) wypierają powszechnie do tej pory stosowane oprawy świetlówkowe. Coraz częściej oprócz stosowania tradycyjnych opraw oświetlenia ewakuacyjnego, są spotykane systemy sterowania ewakuacją w zależności od lokalizacji pożaru i obciążenia dróg ewakuacyjnych. W zależności od zaprogramowanego scenariusza potencjalnej sytuacji awaryjnej w danym obiekcie, w sposób dynamiczny zmieniają się wyświetlane znaki na piktogramach wskazujące bezpieczny kierunek ewakuacji. Należy oczekiwać, że dynamiczne systemy awaryjne będą coraz powszechniej stosowane, zwłaszcza w dużych obiektach użyteczności publicznej, gdyż wpływają na zwiększenie bezpieczeństwa ludzi podczas ewakuacji.

W normie PN-EN 1838: 2013E [7] została zwrócona uwaga na zagadnienie postrzegania przeszkód na drodze ewakuacji oraz lokalizacji wyjść ewakuacyjnych przez osoby starsze, które z racji wieku wymagają większej ilości światła lub dłuższego czasu adaptacji do warunków występujących podczas ewentualnych zagrożeń pożarowych. Po raz pierwszy uwzględniono w niej potrzeby osób niepełnosprawnych, które również mogą znaleźć się w sytuacjach awaryjnych. W normie zalecono, aby wyjścia ewakuacyjne były bardzo wyraźnie oznakowane, a drogi ewakuacji miały wystarczającą liczbę strategicznie rozmieszczonych znaków ewakuacyjnych. Zwiększona została liczba miejsc, w których należy umieszczać oprawy do oświetlenia ewakuacyjnego. Zasadą generalną jest umieszczanie ich w pobliżu każdej drzwi wyjściowych z budynku, w pobliżu sprzętu bezpieczeństwa oraz w miejscach, w których należy zwrócić uwagę na potencjalne niebezpieczeństwo.

Wymienione wymagania muszą zostać uwzględnione w projektach instalacji oświetlenia awaryjnego w nowo budowanych lub remontowanych obiektach. Niestety, ale zdarzają się jeszcze przypadki, że oświetlenie to jest często projektowane niezgodnie z

przepisami i obowiązującymi normami, a niejednokrotnie pomijane przez inwestorów w celu redukcji kosztów. Projektanci wspólnie z inwestorami muszą podjąć decyzję, jaki system oświetlenia awaryjnego zastosować w danym obiekcie. Ze względu na przepisy przeciwpożarowe, nakazujące co najmniej raz w roku kontrolę i konserwację opraw oświetlenia awaryjnego w obiektach, w których znajduje się ich większa liczba, trudno sobie wyobrazić system oświetlenia awaryjnego bez automatycznego testowania i monitorowania stanu technicznego wszystkich opraw oświetlenia awaryjnego w obiekcie.

W celu wyeliminowania błędów pomiarowych, spowodowanych niedostateczną korekcją widmową, wzorcowanie luksomierzy należałoby przeprowadzać przy zastosowaniu źródeł światła o rozkładach widmowych odpowiadającym mierzonym w praktyce promieniowaniom. Z uwagi jednak na dużą różnorodność stosowanych obecnie źródeł światła, przeprowadzenie takich pomiarów byłoby kłopotliwe. Warto też wziąć pod uwagę fakt, że bardzo często oświetlenie miejsc pracy we wnętrzach jest wynikiem superpozycji różnych cząstkowych strumieni świetlnych pochodzących od różnych źródeł światła (opraw oświetleniowych, ścian, mebli itp.). A zatem wypadkowy rozkład widmowy strumienia świetlnego (padającego na powierzchnię światłoczułą głowicy luksomierza) będzie różnił się od rozkładu widmowego pojedynczego (jednego rodzaju) źródła światła. Zdarza się, że producenci w specyfikacjach technicznych luksomierzy podają błąd niedopasowania widmowego dużo niższy niż jest on w rzeczywistości. Kierowanie się specyfikacją techniczną producenta przy wyborze luksomierza jest w takiej sytuacji niewystarczające, ponieważ wartości w nich podane mogą być zaniżone lub podane orientacyjnie. Ponadto użytkownicy często wybierają luksomierze, których konstrukcja może być powodem nieprawidłowych wyników pomiarów, co w szczególności dotyczy luksomierzy, w których panel odczytowy i odbiornik fotometryczny jest w jednym elemencie. Takie rozwiązanie może spowodować częściowe zacienienie odbiornika przy odczytywaniu wartości natężenia oświetlenia.

Laboratorium wzorcujące nie ma kompetencji do narzucania użytkownikom ograniczeń w stosowanych przez nich miernikach. Użytkownik ponosi odpowiedzialność za jakość wykonywanych przez siebie pomiarów i to on decyduje, czy jakość danego luksomierza jest wystarczająca do wykonania konkretnych badań. W okresie, kiedy luksomierze podlegały prawnej kontroli metrologicznej (legalizacji), dopuszczano do użytkowania tylko fotometry spełniające wymagania odpowiednich przepisów. Podczas legalizacji sprawdzano charakterystyki metrologiczne, wyznaczano współczynniki korekcyjne dla najczęściej stosowanych źródeł światła, wyznaczano błąd kosinusowy oraz sprawdzano czy konstrukcja, wykonanie, stan i oznaczenia sprawdzanego luksomierza odpowiadają wymaganiom przepisów o luksomierzach. Legalizacja była skutecznym narzędziem

eliminującym mierniki posiadające duże błędy, o niewłaściwych konstrukcjach lub z wadami jednostkowymi. Obecnie takich ograniczeń nie ma, a niepokojący jest fakt, że w ostatnich latach obserwuje się w laboratoriach wzorcujących dużą rozbieżność w jakości luksomierzy zgłaszanych do wzorcowania.

Bibliografia

- [1] Kuczyński K.: Oświetlenie awaryjne - zagadnienia wybrane. Elektro-info nr 7-8, 2012 r.
- [2] Pawlak A.: Oświetlenie awaryjne w Poradnik Technika Świetlna'09 - praca zbiorowa członków PKOŚ SEP, PKOŚ, Warszawa, 2013 r.
- [3] Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U. 2015 poz. 1422.
- [4] 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. Dz.U. z 2010 r. nr 85 poz. 553.
- [5] Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów. Dz.U. z 2010 r. nr 109, poz. 719.
- [6] PN-EN 1838: 2005 Zastosowanie oświetlenia. Oświetlenie awaryjne.
- [7] PN-EN 1838: 2013E Zastosowanie oświetlenia. Oświetlenie awaryjne.
- [8] PN-EN 50172: 2005 Systemy awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego.
- [9] PN-EN 60598-2-22: 2004+AC: 2006. Oprawy oświetleniowe. Część 2-22: Wymagania szczegółowe. Oprawy oświetleniowe do oświetlenia awaryjnego – zastąpiona przez PN-EN 60598-2-22:2015-01E.
- [10] PN-ISO 7010: 2006 Symbole graficzne. Barwy bezpieczeństwa i znaki bezpieczeństwa. Znaki bezpieczeństwa stosowane w miejscach pracy i w obszarach użyteczności publicznej – zastąpiona przez PN-EN ISO 7010: 2012E Symbole graficzne. Barwy bezpieczeństwa i znaki bezpieczeństwa. Zarejestrowane znaki bezpieczeństwa.
- [11] PN-ISO 3864-1: 2006 Symbole graficzne. Barwy bezpieczeństwa i znaki bezpieczeństwa. Część 1: Zasady projektowania znaków bezpieczeństwa stosowanych w miejscach pracy i w obszarach użyteczności publicznej – zastąpiona przez ISO 3864-1: 2011 E Symbole graficzne. Barwy bezpieczeństwa i symbole bezpieczeństwa. Część 1: Zasady projektowania znaków bezpieczeństwa i oznakowania bezpieczeństwa.

- [12] ISO 3864-3: 2012E Symbole graficzne. Barwy bezpieczeństwa i znaki bezpieczeństwa. Część 3: Zasady projektowania symboli graficznych do użycia w znakach bezpieczeństwa.
- [13] ISO 3864-4: 2011 Symbole graficzne. Barwy bezpieczeństwa i znaki bezpieczeństwa. Kolorymetryczne i fotometryczne zasady dla znaków bezpieczeństwa i materiałów dla tych znaków.
- [14] PN-N-01256-02: 1992 Znaki bezpieczeństwa - ewakuacja. Norma wycofana przez PKN w dniu 4. 09. 2014 r. bez zastąpienia.
- [15] PN-N-01256-05: 1998 Zasady umieszczania znaków bezpieczeństwa na drogach ewakuacyjnych i drogach pożarowych.
- [16] PN-EN 13032-1+A1: 2012E Światło i oświetlenie. Pomiar i prezentacja danych fotometrycznych lamp i opraw oświetleniowych. Część 1: Pomiar i format pliku.
- [17] Publikacja CIE 69-1987. Methods of characterizing illuminance meters and luminance meters (Metody charakteryzowania luksomierzy i mierników luminancji).
- [18] Katalog firmy ZUMTOBEL
- [19] Katalog wyrobów firmy AMATECH
- [20] Katalog firmy HYBRYD