

Andrzej Stanisław Zając ■ Maciej Zajkowski ■
Urszula Joanna Błaszczak ■ Marian Gilewski ■ Łukasz Gryko

**Półprzewodnikowe
emitery promieniowania
do zastosowania
w kształtowaniu bezpieczeństwa
na stanowiskach pracy**

materiały informacyjne



CIOP  PIB

Warszawa, 2016

Opracowano i wydano w ramach III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2014-2016), finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Wykonawca: Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny

Zadanie nr III.P.17 – Półprzewodnikowe emitory promieniowania do zastosowania w kształtowaniu bezpieczeństwa na stanowiskach pracy

Autorzy:

prof. dr hab. inż. Andrzej Stanisław Zając, Politechnika Białostocka,

dr hab. inż. Maciej Zajkowski, prof. PB, Politechnika Białostocka,

dr inż. Urszula Joanna Błaszczak, Politechnika Białostocka,

dr inż. Marian Gilewski, Politechnika Białostocka,

dr inż. Łukasz Gryko, Politechnika Białostocka

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2016

CIOP  **PIB**

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

Wprowadzenie

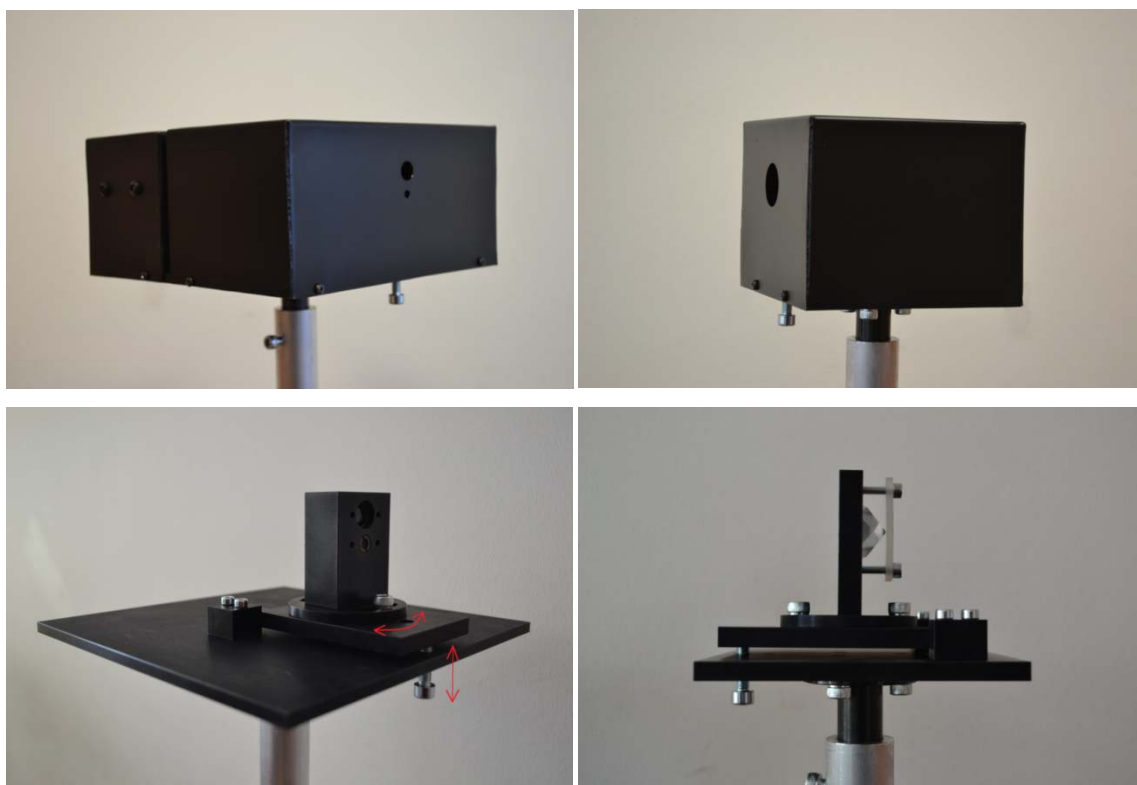
Rozwój technologii optoelektronicznych obejmujących: elementy, układy i konstrukcje detektorów oraz emiterów promieniowania, przewodnice falowe, półprzewodnikowe elementy mocy i systemy procesorowe, umożliwia uzyskanie parametrów technicznych i eksploatacyjnych na takim poziomie, który pozwala na wykorzystanie tego typu elementów i układów w aplikacjach spełniających kryteria zarówno ekonomiczne, jak i szczególne parametry techniczne oraz eksploatacyjne również w dziedzinach wymagających spełnienia bardzo wysokich wymagań niezawodnościowych, np. w układach stosowanych w celu spełnienia wymagań BHP.

Działania podejmowane w ramach opisywanego niżej zadania badawczego, polegały na opracowaniu układów przeznaczonych do zapewnienia odpowiednich warunków bhp, ze szczególnym uwzględnieniem aktualnych możliwości technologii półprzewodnikowych emiterów promieniowania oraz różnego rodzaju elementów pozwalających na ekspozycję danych. Dostępne elementy – emiterzy promieniowania (diody LED oraz lasery półprzewodnikowe z zakresu widmowego 400 – 1600 nm), półprzewodnikowe elementy mocy czy oszczędne i posiadające szereg interesujących parametrów technicznych wyświetlacze – pozwoliły na opracowanie nowoczesnych i energooszczędnych układów w elementach oraz systemach optoelektronicznych podnoszących bezpieczeństwo na stanowiskach pracy.

Zadanie, które zrealizowano, tj. „Półprzewodnikowe emiterzy promieniowania do zastosowania w kształtowaniu bezpieczeństwa na stanowiskach pracy” obejmowało trzy zasadnicze problemy:

- 1. opracowanie modelu rekonfigurowalnej bariery optycznej z sygnalizacją naruszenia i hierarchicznym, elektronicznym systemem dostępu,**
- 2. opracowanie modelu oprawy LED z zabezpieczeniem przeciwolśnieniowym,**
- 3. opracowanie modelu oprawy oświetlenia ewakuacyjnego o dynamicznej prezentacji treści.**

1. Rekonfigurowalna bariera optyczna z sygnalizacją naruszenia i hierarchicznym, elektronicznym systemem dostępu



Fot. 1. Model bariery optycznej (źródło: Autorzy)

Hierarchiczny, elektroniczny system kontroli dostępu ogranicza osobom nieupoważnionym dostęp do określonych miejsc w obiekcie w czasie, gdy w strefie chronionej przebywają osoby uprawnione. Stanowi on alternatywę dla tradycyjnych, mechanicznych systemów kontroli dostępu. Za pomocą specjalnego oprogramowania administrator ma możliwość wybierania, w bardzo szybki i prosty sposób osób, które mają być objęte systemem, ustalania harmonogramu przejść i przydzielania im priorytetów oraz prawa dostępu.

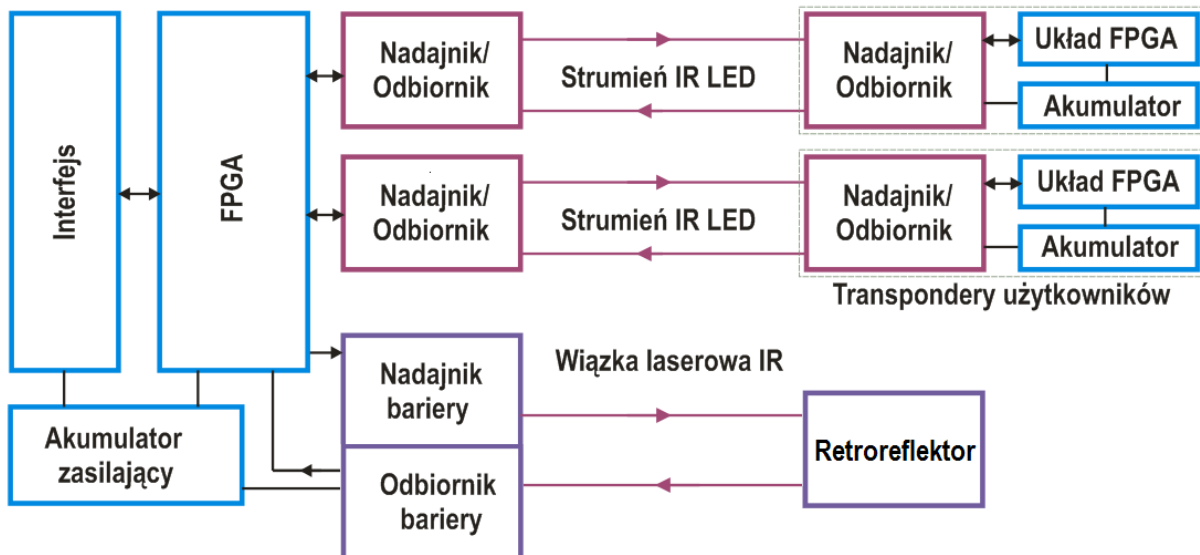
Praktycznych obszarów zastosowań opisywanego ww. systemu kontroli dostępu można wyróżnić kilka, zwłaszcza w odniesieniu do dużych obiektów przedsiębiorstwa. System pozwala precyzyjnie określić zasady dostępu poszczególnym pracownikom do określonych pomieszczeń i stref ochrony. Dzięki temu można zmniejszać ryzyko: zagrożenia wystąpienia zdarzenia wypadkowego, utraty środków materialnych, niepowołanego dostępu do obszarów chronionych i wejścia osób nieupoważnionych w posiadanie informacji o charakterze poufnym lub niejawnym. System elektronicznej kontroli dostępu w budynkach użyteczności publicznej (szpitale, urzędy) oraz dużych zakładach przemysłowych (elektrownie, rafinerie, kopalnie) umożliwia personelowi wynikający

z potrzeb organizacji dostęp do różnych stref, podczas gdy osoby postronne mogą swobodnie poruszać się jedynie w wyznaczonych obszarach.

W ramach opisywanego systemu możliwe jest wykorzystanie rekonfigurowalnych barier optycznych do ograniczania dostępu niepowołanych osób do wybranych obszarów. Bariery optyczne są już od pewnego czasu stosowane na wielu stanowiskach pracy, aczkolwiek z reguły są to rozwiązania integralnie związane ze stanowiskiem pracy i trudne w rekonfiguracji. W wielu sytuacjach, takich jak zabezpieczenie ruchu oraz prace remontowe, możliwość zastosowania rekonfigurowalnej (tzn. adaptowalnej do konkretnego zadania) bariery optycznej umożliwia podniesienie standardów bhp, szczególnie w sytuacjach awaryjnych. Ponadto możliwość uzyskania różnych poziomów zabezpieczenia w odniesieniu do różnych grup pracowniczych jest gwarancją elastyczności systemu ochrony.

Aktualna technologia wytwarzania diod laserowych oraz ich komercyjna dostępność w połączeniu z możliwymi aplikacjami programowalnych układów logicznych umożliwiły opracowanie „inteligentnej” bariery optycznej, pozwalającej na kontrolę dostępu do zabezpieczanego obszaru oraz rekonfigurowanie systemu w zależności od konkretnych potrzeb (fot. 1). Proponowane rozwiązanie, w odróżnieniu od typowych układów barier optycznych, stosowanych wspólnie w różnego rodzaju zabezpieczeniach, pozwala na dobór parametrów bariery do konkretnych wymagań chronionego miejsca. Przy pomocy tej technologii możliwe jest dokonywanie programowalnego sterowania przydziałem dostępu do ochranianego obszaru wybranych grup pracowniczych przy niedopuszczeniu innych.

Podstawą działania systemu kontroli dostępu jest autoryzacja użytkowników. Obecnie stosuje się szereg metod identyfikacji zapewniających niski, średni lub wysoki stopień zabezpieczeń, wykorzystujących kolejno: pamięć użytkownika, klucz lub cechy biometryczne. W opracowanym rozwiązaniu stosowanym sposobem autoryzacji jest transponder aktywny z wbudowanym układem logicznym z zaprogramowanym kodem i nadajnikiem LED działającym w zakresie podczerwieni (rys. 1). Aktywacja transpondera przy pomocy przycisku wymusza emisję sygnału nadajnika. Odczyt informacji z transpondera odbywa się w odbiorniku z fotodiodą IR (sterowanym układem logicznym FPGA), zainstalowanym w barierze optycznej. Odebrany sygnał jest analizowany w celu podjęcia czynności wykonawczych w obrębie bariery lub przekazywany jest do systemu nadzorującego, który identyfikuje stan i podejmuje działania na poziomie całego systemu zabezpieczenia lub zarządzania. Fakt fizycznego posiadania identyfikatora przez pracownika zwiększa stopień bezpieczeństwa.



Rys. 1. Schemat funkcjonalny bariery optycznej (źródło: Autorzy)

Wykrycie obiektu w polu działania bariery opiera się na detekcji tłumienia energii skierowanej wiązki promieniowania optycznego z zakresu bliskiej podczerwieni (rys. 2). Aktywna bariera podczerwieni zbudowana jest z dwóch podstawowych obwodów – nadajnika laserowego i odbiornika wraz z układem wykonawczym oraz retroreflektora ustawionego na końcu optycznego toru, odbijającego emitowane promieniowanie z nadajnika do detektora. Nadajnik jest odpowiedzialny za generację niewidocznego gołym okiem promieniowania podczerwonego o parametrach bezpiecznych dla oka – długość fali 1550 nm. Odbiornik (fotodioda InGaAs) sprzężony optycznie z nadajnikiem odbiera nadawany optyczny sygnał i zamienia go na sygnał elektryczny.



Rys. 2. Sposób montażu elementów układu bariery laserowej (LD – dioda laserowa, PD – fotiodioda) – widok przekrojowy (źródło: Autorzy)

W torze transmisyjnym pojawienie się nieprzezroczystej przeszkody w zasięgu działania urządzenia powoduje fizyczne przerwanie wiązki promieniowania. Bezbłędne wykrycie zmiany natężenia promieniowania, które jest sygnalizowana w odbiorniku jako zmiana parametrów sygnałów elektrycznych fotodetektora, stanowi kryterium alarmu. W konsekwencji następuje reakcja bariery w postaci uruchomienia blokady bądź operacji alarmowej czy też wysłania komunikatu do centralnego systemu sterującego. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość umieszczenia nadajnika i odbiornika w jednej obudowie.

Nadajnik optyczny

Wykorzystane w układzie aktywnej bariery promieniowanie laserowe musi generować ładunek energetyczny, na który w normalnych warunkach jej pracy mogą być ekspozowane osoby bez doznawania przez nie szkodliwych skutków. W PN-EN 60825-1:2014-11 zostały podane wartości maksymalnej dopuszczalnej ekspozycji (MDE), reprezentujące maksymalny poziom napromieniowania – gęstość mocy bądź energii, na który mogą być ekspozowane oko lub skóra bez wynikających z tego powodu obrażeń. **Lasery emitujące promieniowanie podczerwone małej mocy o długości fali dłuższej niż 1,4 μm często są określane jako „bezpieczne dla oka”**, ponieważ rogówka oka absorbuje większą część energii o tych długościach fal, zapewniając ochronę siatkówki przed uszkodzeniem. Analiza wartości MDE w odniesieniu do źródeł emitujących różne długości fali jednoznacznie sugeruje wykorzystanie jako bezpiecznego dla oka źródła sygnału nadawczego pracującego w zakresie od 1400 do 2000 nm (tab. 1). Zbliżona wrażliwość oka na promieniowanie optyczne występuje w całym ww. zakresie długości fal, aczkolwiek zastosowanie źródła na 1550 nm jest najbardziej ekonomiczne. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że przy ekspozycji oka na promieniowanie z zakresu bliskiej podczerwieni (IR-A) nie występują mechanizmy obronne w postaci mrugania, ponieważ jest ono niewidoczne dla oka, w związku z tym stanowi szczególne zagrożenie.

Tabela 1. Maksymalne dopuszczalne ekspozycje (MDE) oka na promieniowanie laserowe źródeł punktowych (patrzenie w wiązkę); opracowano na podstawie [1-3]

Długość fali [nm]	Czas ekspozycji			
	1 s		10 s	
	Gęstość energii [J/m ²]	Gęstość mocy promieniowania stałego [mW/cm ²]	Gęstość energii [J/m ²]	Gęstość mocy promieniowania stałego [mW/cm ²]
635	18	1,8	≈ 100	10
850	36	3,6	≈ 200	20
940	54	5,4	≈ 300	30
1550	5600	560	10 000	1000

W opracowanym w ramach zadania układzie wykorzystano emiter pracujący typowo w zakresie długości fali 1540 nm i mocy 5 mW. Parametry energetyczne źródła i emisja w zakresie średniej podczerwieni umożliwiły uzyskanie wysokiego stosunku sygnał – szum (promieniowanie otoczenia) z uwagi na niższą wartość irradancji spektralnej źródeł stosowanych do oświetlania pomieszczeń w tym zakresie spektralnym. Niska moc admisyjna emitera (nieprzekraczająca 50 mW) powoduje, że stabilizacja termiczna źródła i rozproszenie nadmiaru wydzielanego ciepła mogły zostać wykonane przy wykorzystaniu chłodzenia pasywnego (radiatora).

Zwiększenia natężenia napromieniowania, a więc zasięgu bariery bądź czułości układu zrealizowano przez zmniejszenie kąta emisyjnego źródła poprzez zastosowanie układu optycznego (kolimatora) i skierowanie wiązki promieniowania na powierzchnię fotodiody. Zastosowany układ optyczny formuje wiązkę promieniowania o dwupołówkowym kącie świecenia równym 2,5 mrad, średnica wiązki w odległości 8 m wynosi 20 mm. Dzięki ukształtowaniu wiązki o tak małym kącie rozbieżności została wyeliminowana problematyczna kwestia możliwości wystąpienia wiązki odbitej od elementów otoczenia i jej detekcji w układzie odbiornika.

Średnicę wiązki promieniowania (zależnej od ogniskowej kolimatora) dobrano w taki sposób, aby zostały spełnione normy bezpieczeństwa – gęstość mocy promieniowania na soczewce oka nie przekracza maksymalnych bezpiecznych wartości. W odniesieniu do długości fali 1550 nm maksymalna dopuszczalna gęstość mocy to 100 mW/cm². Przy zastosowanej diody laserowej o mocy 5 mW i średnicy wiązki 4,5 mm średnia gęstość mocy wynosi 31,4 mW/cm², co spełnia wymóg bezpieczeństwa dla dłuższych czasów ekspozycji oka na promieniowanie, nawet przekraczających 10 s.

Retroreflektor

Na drugim końcu toru optycznego bariery wstawiono retroreflektor pryzmatyczny o średnicy 25,4 mm, odbijający promieniowanie w kierunku, z którego ono przybyło, niezależnie od kąta padania. Występuje przy tym pożądanego przesunięcie poprzeczne wiązki odbitej względem padającej, a zależne jest ono od położenia miejsca padania wiązki względem środka retroreflektora. Retroreflektor pryzmatyczny to trójwymiarowy element wykonany z wypolerowanych ścian pryzmatu, które zostały ustawione względem siebie pod kątami prostymi, tworząc narożnik sześciąnu. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość umieszczenia nadajnika i odbiornika w jednej obudowie, co pozwala zintegrować ich układy sterowania i zasilania.

Odbiornik optyczny

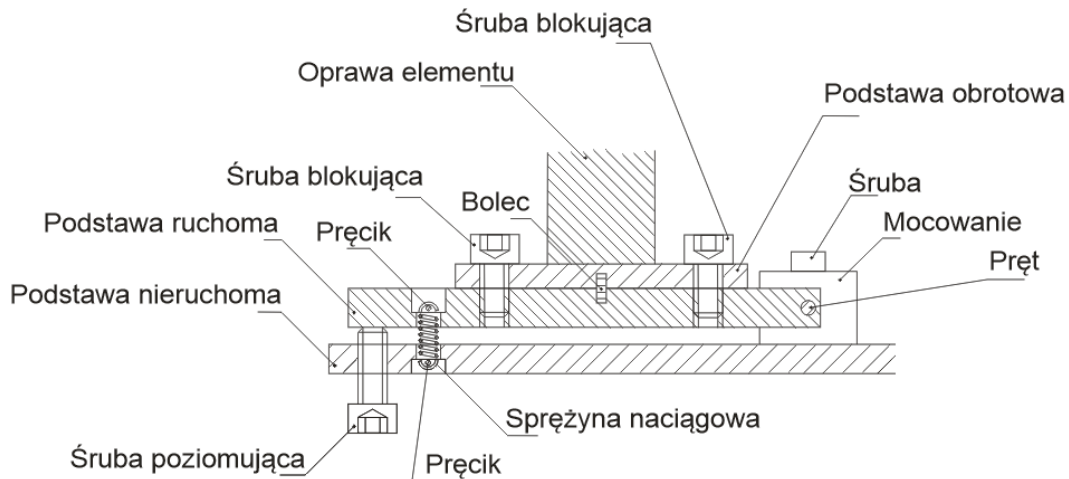
Do układu bariery podczerwieni wyselekcjonowano fotodiodę InGaAs o zakresie czułości widmowej 900-1700 nm – nieobejmującej promieniowania widzialnego – wraz z układem wzmacniającym. Układ optyczny w postaci soczewki skupiającej o ogniskowej 12,7 mm umiejscowionej przed fotodetekтором realizuje dopasowanie średnicy wiązki do jego powierzchni czynnej – zebranie możliwie dużej ilości promieniowania nadajnika odbitego od retroreflektora. W celu eliminacji detekcji promieniowania otoczenia ograniczono dwupołwkowy kąt widzenia detektora do 36° poprzez zamocowanie detektora wewnątrz poczernionej oprawy.

Układ wzmacniający fotodetektora zawiera przełączany wzmacniacz transimpedancyjny, przekształcający prąd fotoelektryczny fotodiody w napięcie wyjściowe. Następnie otrzymany sygnał napięciowy można w zależności od potrzeb: poddać konwersji analogowo-cyfrowej, przekształcić na sygnał cyfrowy o częstotliwości proporcjonalnej do jego amplitudy lub skierować do szybkiego układu detekcji progowej z histerezą. Przetworzony sygnał wejściowy jest następnie rejestrowany w układzie FPGA.

Przeprowadzone badania wykazały, że fotodetektor zainstalowany w oprawie nie rejestrował promieniowania widzialnego. Alternatywnie możliwe jest zastosowanie dodatkowo górno- lub wąskopasmowego filtra optycznego dostrojonego widmowo do długości fali promieniowania laserowego nadajnika w celu poprawy selektywności widmowej, co jednak zwiększałoby znacząco koszt układu. Opracowana oprawa pozwala na pracę systemu bariery w zmiennych warunkach oświetleniowych, natomiast nie eliminuje wpływu na jej działanie przypadkowych źródeł światła.

Układy pozycjonujące

Niezawodność bariery optycznej zależy w znacznej mierze od jakości układów optycznych formujących wiązki oraz ich pozycjonowania względem siebie. Opracowano układ optomechaniczny umożliwiający poziomowanie wiązki laserowej w zakresie ± 40 mrad oraz regulację kąтового położenia wiązki w płaszczyźnie azymutalnej w zakresie $\pm 45^\circ$ (rys. 3, fot. 2).



Rys. 3. System pozycjonujący oprawy układu nadawczo-odbiorczego – widok przekrojowy (źródło: Autorzy)



Fot. 2. System pozycjonujący oprawy układu nadawczo-odbiorczego (źródło: Autorzy)

Układ komunikacyjny bariery

System bariery optycznej stanowi moduł podstawowy, który może komunikować się z centralnym systemem sterującym oraz dowolną liczbą transponderów użytkowników. Centralny system sterujący, nadrzędny w stosunku do konfiguracji bariery, może w czasie rzeczywistym modyfikować prawa dostępu użytkowników i ich relacje hierarchiczne względem siebie oraz całego systemu.

Użytkownicy bariery mogą komunikować się dwukierunkowo z modułem podstawowym z użyciem transponderów optycznych. Moduł bariery został zaprojektowany w taki sposób, żeby możliwa była transmisja zarówno w paśmie 1550 nm, jak i w pasmach 940 nm oraz 850 nm. Moduł bariery optycznej realizuje funkcję hierarchicznego dostępu na podstawie parametrów sygnału przesłanego przez użytkownika, udziela/blokuje prawo dostępu, jak również wyznacza pozycję w hierarchii w stosunku do innych użytkowników systemu (fot. 3). Opcjonalnie możliwa jest również komunikacja transponderów różnych użytkowników między sobą, co wymaga modyfikacji układu transpondera. Moduł bariery optycznej może obsłużyć w zasadzie dowolną liczbę użytkowników – ograniczenie stanowią jedynie zasoby sterownika bariery, który można wymienić na układ o większej mocy obliczeniowej.



Fot. 3. Płytkę PCB modułu podstawowego bariery (źródło: Autorzy)

Zasilanie modułu bariery jest realizowane z akumulatora (np. *power bank*) o napięciu znamionowym 4,8 V dołączanym do gniazda ZAS. Wyłącznik zasilania S5 znajduje się na obudowie modułu bariery. Programowanie układu FPGA jest realizowane za pośrednictwem złącza miniUSB JP1 interfejsu JTAG.

Zabezpieczone przepięciowo gniazdo umożliwia bezpośrednie podłączenie nadajnika-odbiornika Wi-Fi (złącze sygnałowe), przeznaczonego do komunikacji radiowej modułu bariery z centralnym systemem sterującym lub układu wykonawczego systemu ochrony, sterowanego bezpośrednio z bariery. Gniazdo JP3 (stanu bariery) jest typowym złączem diagnostycznym, przydatnym na etapie uruchamiania i testowania różnych aplikacji. Można za jego pośrednictwem obsługiwać również inne (np. w sensie przedziału widmowego) zintegrowane odbiorniki IR. Układ został zamontowany na 6-warstwowym druku dwustronnym PCB.

Moduł transpondera

Podstawową funkcją transpondera jest wysłanie unikalnej, zakodowanej informacji optycznej w paśmie IR przez użytkownika systemu ochrony w kierunku modułu bariery. Bariera po odebraniu sygnału użytkownika w połączeniu z detekcją wiązki laserowej obszaru chronionego identyfikuje użytkownika i tym samym jego uprawnienia w zakresie możliwości przekroczenia obszaru chronionego. Reakcją na identyfikację wkroczenia uprawnionego (lub nie) użytkownika może być uruchomienie (lub blokada) układu wykonawczego bariery albo poinformowanie centralnego systemu sterującego o wystąpieniu stanu przecięcia chroniącej obszar wiązki laserowej.

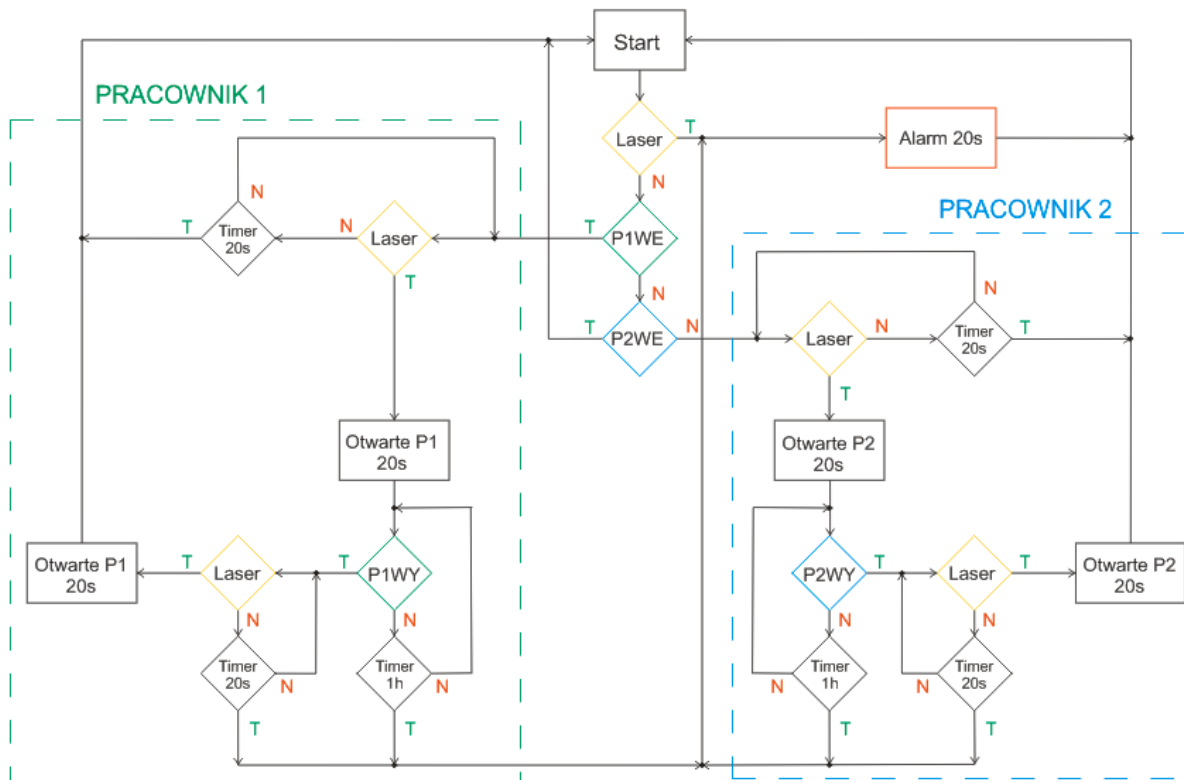
W systemie, oprócz jednokierunkowej transmisji transponder – bariera, przewidziano również możliwość wysyłania informacji przez barierę w kierunku transpondera użytkownika. Algorytm sterujący transpondera może zmodyfikować zawartość parametrów kontrolnych zapisanych w pamięci stałej transpondera. Tym samym bariera może w trybie on-line zmieniać uprawnienie użytkownika bez jego wiedzy, a w szczególności „wykluczyć” użytkownika z grupy osób uprawnionych – nawet bez jego wiedzy.

Sygnalizacja stanów bariery

Stany bariery są sygnalizowane poprzez wskaźniki LED zamontowane na obudowie bariery (rys. 4):

- białe światło LED – bariera aktywna, stan oczekiwania,
- zielone światło LED – wejście/wyjście, stan oczekiwania na przecięcie wiązki bariery laserowej po naciśnięciu przycisku przez pracownika uprawnionego nr 1 (czas trwania stanu regulowany, domyślnie 20 sekund),
- niebieskie światło LED – wejście/wyjście, stan oczekiwania na przecięcie wiązki bariery laserowej po naciśnięciu przycisku przez pracownika uprawnionego nr 2 (czas trwania stanu regulowany, domyślnie 20 sekund),

- czerwone światło LED – stan alarmowy,
 - przecięcie wiązki bariery laserowej bez uprzedniego przesłania praw dostępu,
 - przesłanie praw dostępu do wyjścia i brak przecięcia wiązki przy wyjściu (wypadek przy pracy),
 - zbyt długi czas przebywania pracownika w miejscu dozorowanym.



Rys. 4. Algorytm pracy systemu (T/N – tak/nie; P1WE/P1WY – użytkownik nr 1 wejście/wyjście; Laser – przecięcie wiązki; P2WE/P2WY – użytkownik nr 2 wejście/wyjście; Timer – czas oczekiwania) (źródło: Autorzy)

Podsumowanie

Rozwiązanie aplikacyjne bariery optycznej z **sygnalizacją naruszenia i hierarchicznym, elektronicznym systemem dostępu** zawiera autorskie opracowania układów generacji, detekcji oraz filtracji sygnałów optycznych i elektronicznych. Zastosowano najnowsze elementy optoelektroniczne, elektroniczne oraz programowalne. Zastosowano montaż powierzchniowy układów na wielowarstwowych płytkach PCB, które zostały zamontowane w odpornych na zakłócenia zewnętrzne obudowach ekranujących. Każdy z układów posiada autonomiczne zasilanie. Projekty zrealizowano z wykorzystaniem materiałów i narzędzi z uwzględnieniem zasady zrównoważonego rozwoju.

System bariery podczerwieni sterowany cyfrowo jest w pełni funkcjonującym modułem bezpiecznym dla wzroku i pozwalającym spełnić funkcje analizy oraz sygnalizacji naruszenia toru

zabezpieczającego dostęp do obszaru chronionego. Spełnia on wymaganie modułowości systemu kontroli dostępu, tzn. może pracować autonomicznie lub w komunikacji z centralnym systemem sterującym. Niewątpliwą zaletą rozwiązania jest jego mobilność wynikająca z braku okablowania strukturalnego – dzięki autonomicznemu zasilaniu oraz sterowaniu współbieżnemu w układzie FPGA i komunikacji w podczerwieni jest możliwe: szybkie przemieszczenie bariery w inne miejsce, ponowna jej rekonfiguracja lub zmiana algorytmu sterującego. Ponadto zasoby przedstawionego systemu pozwalają na realizację wielowymiarowej funkcji hierarchicznego systemu. Hierarchiczność może być rozumiana w przekroju: zakresu terytorialnego, uprawnień funkcyjnych, czasu dostępu, kolejności dostępu i innych kryteriów. Opracowane rozwiązanie jest systemem otwartym, zapewnia podstawową bazę sprzętową w sensie funkcjonalnym, która może być uzupełniana w układy nadawczo-odbiorcze pracujące w innym przedziale widmowym oraz wykorzystujące różne systemy modulacji lub kodowania wiązki laserowej. Zastosowane układy odbiorników o przełączanej czułości oraz nadajników o zmiennej mocy pozwalają na dostosowanie mocy wiązki laserowej do konkretnych warunków pracy, a tym samym racjonalne wykorzystanie energii układu zasilającego. System sterujący w postaci algorytmów decyzyjnych czasu rzeczywistego pracujących współbieżnie można w zależności od zakresu i złożoności implementować zarówno w zasobach obliczeniowych centralnego systemu sterującego, jak i lokalnie – w zasobach sprzętowych struktury FPGA. Przewagą przedstawionego rozwiązania w stosunku do innych jest zastosowanie optycznej transmisji w zakresie średniej podczerwieni 1550 nm. Czynnikiem ten decyduje o bezpieczeństwie, mobilności, elastyczności i uniwersalności rozwiązania.

Tak skonfigurowana bariera – pod warunkiem, że zostanie sprzęgnięta odpowiednio zdefiniowanymi bazami danych – może realizować cały szereg dodatkowych funkcji zabezpieczających:

- pozwala na hierarchiczny i priorytetowy dostęp do chronionych obiektów (np. inny zakres terytorialny i czasowy mogą posiadać: nadzór techniczny, służby utrzymania ruchu czy pracownicy obsługi),
- umożliwia weryfikację kalendarza i utraty praw dostępu (np. utrata kwalifikacji, zwolnienie lekarskie lub zakończenie stosunku pracy),
- realizacja specjalnych uprawnień wymagających stosownego certyfikatu (np. czasowy dostęp do danego obszaru w celu realizacji zadań specjalnych).

Układ rekonfigurowalnej bariery optycznej z laserami półprzewodnikowymi oraz programowalną sygnalizacją naruszenia i hierarchicznym systemem dostępu może znaleźć zastosowanie zarówno w stacjonarnych układach dozoru dostępu do chronionego obszaru, jak i w czasowym, mobilnym dozorcze wyłączonych obszarów. W wielu służbach zabezpieczenia ruchu

oraz służbach remontowych posiadanie rekonfigurowalnej, tzn. dostosowywanej do konkretnego zadania bariery optycznej, dla której możliwe jest uzyskanie różnych poziomów zabezpieczenia dla różnych grup pracowniczych, może stanowić o podniesieniu warunków bhp, szczególnie w sytuacjach awaryjnych. Zatem opracowane rozwiązanie ma potencjał rynkowy, a grupa docelowa jest wielowymiarowa.

2. Oprawa oświetlenia ewakuacyjnego z dynamiczną prezentacją treści

Systemy oświetlenia awaryjnego, w tym ewakuacyjnego, ewoluują pod względem sterowania i automatyzacji. Wymagania PN-EN 12464-1:2012 nakładają na instalację oświetleniową, oprócz spełnienia parametrów fotometrycznych, również realizację polityki efektywności energetycznej, obejmując w ten sposób wykorzystanie nowoczesnego sprzętu w połączeniu z systemami sterowania budynków (BMS – ang. *Building Management System*), zawierającym system centralnego monitoringu instalacji bezpieczeństwa (DMS – *Danger Management System*). System taki znajduje zastosowanie w budynkach biurowych, przemysłowych i różnych innych instytucjach. Zakres jego działania obejmuje integrację, kontrolę, monitorowanie, optymalizację i raportowanie między innymi oświetlenia, systemów przeciwpożarowych, alarmowych oraz dostępu i dozoru. Oświetlenie awaryjne jest nieodzownym i wymaganym elementem budynku użyteczności publicznej i powinien być realizowany w oparciu o najnowocześniejszy sprzęt oświetleniowy, wykorzystujący półprzewodnikowe emitory promieniowania.

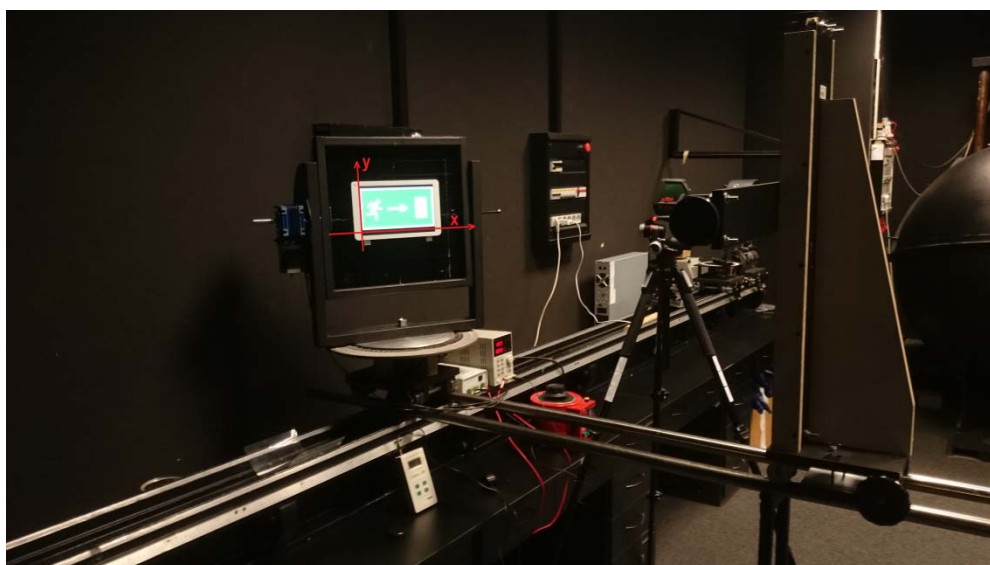
Pomiar wybranych emiterów LC i OLED

W wyniku przeprowadzonych analiz fotometrycznych i kolorymetrycznych, wybrany został najbardziej odpowiedni wyświetlacz do zamodelowania układu świetlno-optycznego realizującego oświetlenie ewakuacyjne i awaryjne (tabela 2).

Tabela 2. Właściwości emiterów proponowanych w rozwiązaniu oprawy oświetleniowej

	Urządzenie A	Urządzenie B	Urządzenie C
Technologia emitera	TFT HD LED	TFT IPS 2	Super AMOLED
Przekątna	10,1"	10,1"	10,5"
Rozdzielczość ekranu	1024x600	1920x1200	2560x1600
Wymiar ekranu	255x160 mm	255x160 mm	246x176 mm

W oparciu o wyświetlacz wykonany w technologii AMOLED zasymulowano działanie oprawy przy wykorzystaniu oprogramowania do projektowania oświetlenia DIALux 4.12. Niezbędne do tego celu było opracowanie pliku fotometrycznego w formacie LDT, który pozwolił na wykonanie obliczeń symulacyjnych. Krzywa światłości emitera LCD została zmierzona na opracowanym i zbudowanym zautomatyzowanym stanowisku goniometrycznym (fot. 4).

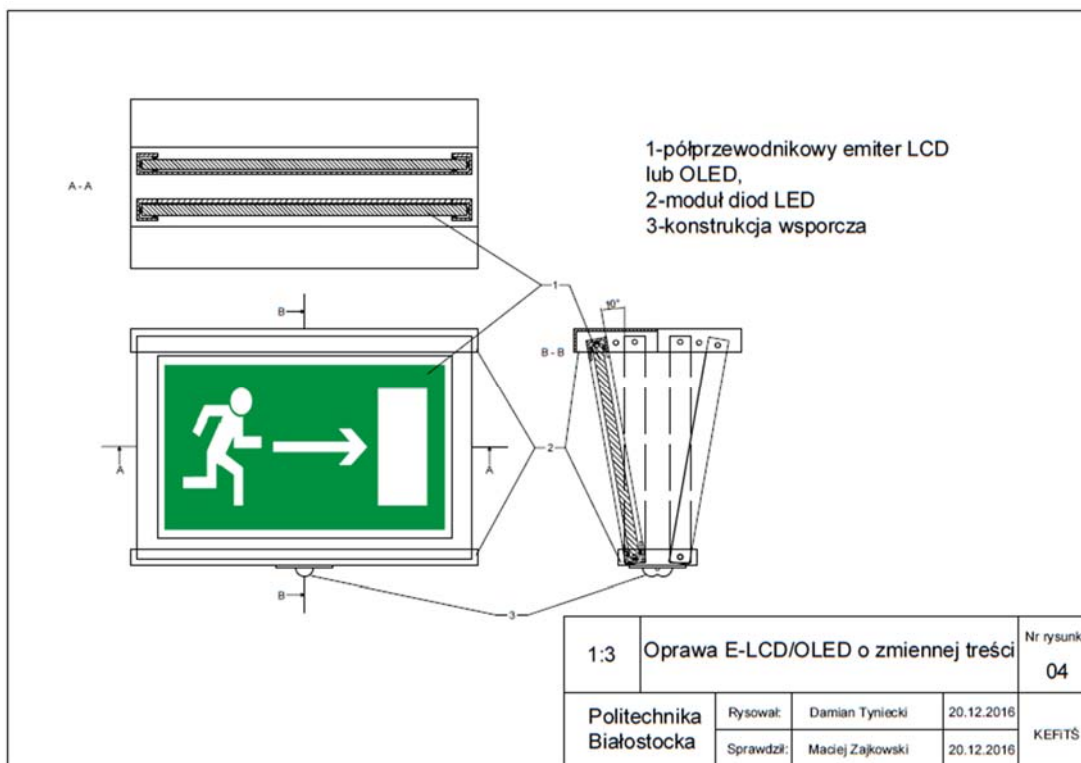


Fot. 4. Stanowisko do wyznaczania cech fotometrycznych wyświetlaczy (źródło: Autorzy)

Konstrukcja oprawy E-LCD/OLED

Optymalną konstrukcją oprawy, mogącą zarówno oświetlać przestrzeń wymaganym natężeniem oświetlenia (według analiz matematycznych), jak i wyświetlać znaki bezpieczeństwa, jest wersja z dwoma emiterami LCD odchylonymi od pionu do 45°. Konstrukcja taka (rys. 5), zgodnie z przeprowadzonymi obliczeniami symulacyjnymi, powinna zapewnić na płaszczyźnie podłogi

średnie natężenie oświetlenia na poziomie 0,87 lx oraz minimalne natężenie oświetlenia 0,59 lx, co w efekcie daje wysoką równomierność oświetlenia $\delta = 0,679$ i spełnia wymagania oświetleniowe dotyczące oświetlenia awaryjnego.



Rys. 5. Rysunek złożeniowy opracowanego modelu konstrukcji oprawy o zmiennej treści (źródło: Autorzy)

Parametry kolorymetryczne wykorzystanego emitera LCD potwierdziły możliwość pełnienia przez niego funkcji oprawy informującej o sposobie i drodze ewakuacji. Wyświetlacz wykorzystany do opracowania modelu oprawy charakteryzował się stabilną temperaturą barwową i wskaźnikiem oddawania barwy w funkcji kąta obserwacji. Oznacza to, że wyświetlany przez oprawę piktogram będzie widoczny i poprawnie rozpoznawalny, niezależnie od odległości, w której znajduje się obserwator i pod jakim kątem patrzy na oprawę. Przeprowadzone analizy umożliwiły opracowanie modelowej konstrukcji oprawy oświetlenia ewakuacyjnego wykorzystującego źródła typu LCD/OLED/LED z możliwością prezentowania zmiennych treści i oznakowania (piktogramów), przy zapewnieniu parametrów fotometrycznych, zgodnych z wymaganiami PN-EN 1838 oraz PN-EN 60598-2-22, a także zbadania możliwości zdalnego zasilania i sterowania opraw z zachowaniem warunków wymaganych w różnych środowiskach, gdzie występują zagrożenia (np. atmosfera wybuchowa, substancje łatwopalne).

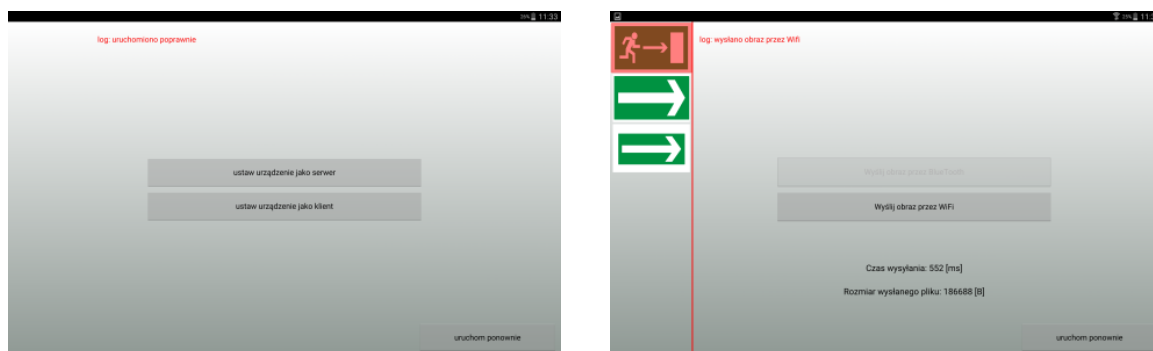


Fot. 5. Widok oprawy E-LCD/OLED pracującej w warunkach rzeczywistych oświetlenia ewakuacyjnego korytarza w budynku Wydziału Elektrycznego PB (źródło: Autorzy)

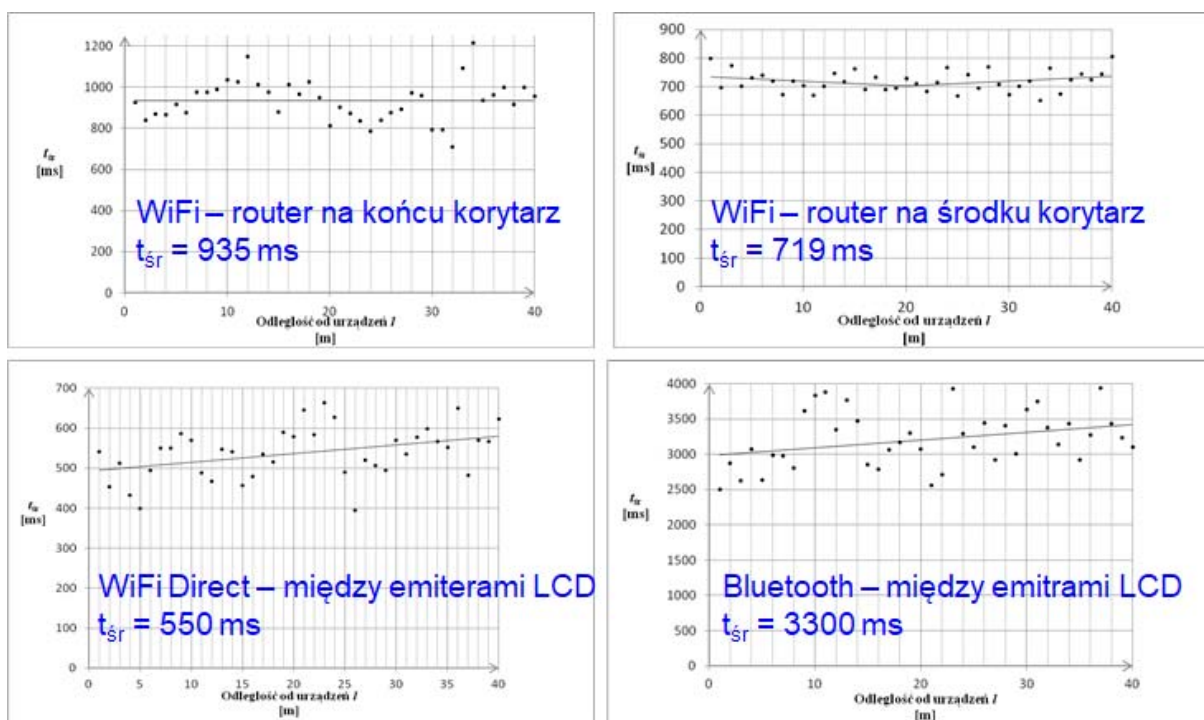
W oparciu o emitory o przekątnej ok. 10", wykonane w technologii AMOLED oraz LCD/IPS, przeprowadzono pełną analizę fotometryczną urządzeń. Zmierzone rozsyły strumienia świetlnego wskazały na konieczność użycia, jako głównego źródła światła do oświetlenia drogi ewakuacyjnej, niezależnego systemu oświetleniowego z diodą LED, do której została dobrana soczewka realizująca rozkład natężenia oświetlenia wynikający z wymagań stosowanej normy. Oba wybrane półprzewodnikowe powierzchniowe emitory promieniowania spełniły wymagania oświetleniowe ze względu na rozkłady luminancji ich powierzchni oraz konieczne do uzyskania parametry kolorymetryczne, niezbędne do realizacji prezentacji barwnych piktogramów. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów opracowano i wykonano model oprawy oświetlenia awaryjnego, realizujący prezentację treści i sygnałów niezbędnych w sytuacji awaryjnej (fot. 5).

Analiza jakości komunikacji bezprzewodowej

Gotowy model oprawy poddano badaniom związanym z możliwością wykorzystania komunikacji bezprzewodowej do realizacji systemu oświetlenia awaryjnego. Wybrano radiową technologię bezprzewodową, w standardach otwarty WiFi.



Rys. 6. Widok aplikacji do zarządzania oprawą E-LCD/OLED (źródło: Autorzy)



Rys. 7. Wyniki analizy średniego czasu transferu danych w systemie oprawy E-LCD/OLED, w różnych konfiguracjach (źródło: Autorzy)

Opracowano aplikację, która pozwalała na zdalną prezentację treści na wyświetlaczu i dokonywała pomiaru prędkości transmisji (rys. 6). W badaniach wykorzystano konwencjonalną

topologię WiFi z routerem oraz połączenie bezpośrednie (WiFi Direct). Pomiary realizowano na korytarzu testowym o długości 40 metrów. Wykonano pomiar czasu przesyłania jednakowego piktoqramu z jednego urządzenia do drugiego, zarówno w topologii konwencjonalnej (router WiFi) jak też bezpośredniej (WiFi Direct) (rys. 7).

Zastosowanie technologii WiFi Direct pozwoliło uzyskać większą o około 33% prędkość transmisji w porównaniu do układu WiFi z routerem umieszczonym na środku testowego odcinka korytarza, a o 72% większą prędkość transmisji w porównaniu do układu z routerem ulokowanym na końcu korytarza.

Założono, zgodnie z PN-EN 1838, że na ocenę jakości transferu będzie wpływał czas w jakim plik zostanie dostarczony do urządzenia odbiorczego. Ocenie poddano również wpływ wzajemnej lokalizacji urządzeń na czas przesyłania danych. Uzyskane pomiary z wykorzystaniem technologii bezprzewodowej transmisji danych spełniają warunki określone w PN-EN 1838, która wymaga aby 50% luminancji piktoqramu była osiągnięta w czasie nie większym niż 5 sekund, natomiast luminancję 100% w czasie do 60 sekund.

Przeprowadzone analizy układu modelowego oprawy oświetlenia awaryjnego, pracującego w środowisku rzeczywistym, z wykorzystaniem bezprzewodowej technologii komunikacyjnej, pozwoliły zapewnić parametry fotometryczne zgodne z wymaganiami PN-EN 1838 oraz PN-EN 60598-2-22, z zachowaniem warunków wymaganych w różnych środowiskach, gdzie występują zagrożenia (np. atmosfera wybuchowa, substancje łatwopalne).

Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów opracowano i wykonano model oprawy oświetlenia awaryjnego, realizujący prezentację treści i sygnałów niezbędnych w sytuacji awaryjnej. Gotowy model oprawy poddano badaniom związanym z możliwością wykorzystania komunikacji bezprzewodowej do realizacji systemu oświetlenia awaryjnego. Wybrano radiową technologię bezprzewodową w standardach: otwarte WiFi oraz Bluetooth.

Opracowaną aplikację, która pozwalała na zdalną prezentację treści na wyświetlaczu i dokonywała pomiaru prędkości transmisji. W badaniach wykorzystano konwencjonalną topologię WiFi z routerem oraz połączenie bezpośrednie (WiFi Direct). Pomiary realizowano na korytarzu testowym o długości 40 metrów. Wykonano pomiar czasu przesyłania jednakowego piktoqramu z jednego urządzenia do drugiego, zarówno w topologii konwencjonalnej (router WiFi) jak też bezpośredniej (WiFi Direct).

Zastosowanie technologii WiFi Direct pozwoliło uzyskać większą o około 33% prędkość transmisji w porównaniu do układu WiFi z routerem umieszczonym na środku testowego odcinka korytarza, a o 72% większą prędkość transmisji w porównaniu do układu z routerem ulokowanym na końcu korytarza.

Uzyskane parametry z wykorzystaniem technologii WiFi i Bluetooth bezprzewodowej transmisji danych spełniają warunki określone w PN-EN 1838, zgodnie z którymi 50% luminancji piktogramu powinno być osiągnięte w czasie nie większym niż 5 sekund, natomiast luminancja 100% w czasie do 60 sekund.

Zmierzone rozsyły strumienia świetlnego nie dają gwarancji na realizację zadania oświetleniowego, o którym mowa jest w PN-EN 1838. Konieczne jest zastosowanie modułu LED z dedykowanym układem optycznym do realizacji oświetlenia drogi ewakuacyjnej.

Przeprowadzone analizy układu modelowego oprawy oświetlenia awaryjnego, pracującego w środowisku rzeczywistym z wykorzystaniem bezprzewodowej technologii komunikacyjnej, pozwoliły zapewnić parametry fotometryczne zgodne z wymaganiami PN-EN 1838 oraz PN-EN 60598-2-22, z zachowaniem warunków wymaganych w różnych środowiskach, gdzie występują zagrożenia (np. atmosfera wybuchowa, substancje łatwopalne).

Bibliografia

1. PN-EN 60825-1:2014-11. Bezpieczeństwo urządzeń laserowych. Część 1: Klasyfikacja sprzętu i wymagania.
2. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. Nr 217, poz. 1833).
3. Wolska A., Głogowski P. *Promieniowanie laserowe. Dokumentacja dopuszczalnych wartości natężenia czynnika fizycznego*. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy 2010, No. 1(63), pp. 5-78.