

## Elektroniczna matryca pomiarowa do badania lamp lotniskowych

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wybrane aspekty projektowania i działania matrycy pomiarowej umożliwiającej badanie poprawności funkcjonowania oświetlenia lotniskowego. Przeanalizowano zastosowanie wybranych czujników natężenia światła BH1750 oraz VEML7700, pracujących w standardzie I<sup>2</sup>C. Konieczne było użycie wielu czujników pomiarowych. Sposób komunikacji wymagał zastosowania translatora adresów, ze względu na jednakowe identyfikatory przy transmisji I<sup>2</sup>C. Porównano działanie translatorów adresów TCA9548A oraz LTC4317.

**Abstract.** The paper presents selected aspects of the construction and usage of the measuring matrix enabling quality testing of airport lightning. The application of selected light intensity sensors BH1750 and VEML7700, working in the I<sup>2</sup>C standard, was analyzed. It was necessary to use multiple sensors. The method of communication required the use of an address translator due to the same identifiers in I<sup>2</sup>C transmission. The performance of the TCA9548A and LTC4317 address translators was compared. (**Electronic measuring matrix for testing airport lamps**).

**Słowa kluczowe:** elektroniczna matryca pomiarowa, bezpieczeństwo lotnicze, translatory adresów I<sup>2</sup>C, czujniki natężenia światła  
**Keywords:** electronic measurement matrix, aviation security, I<sup>2</sup>C address translators, light intensity sensors

### Wprowadzenie

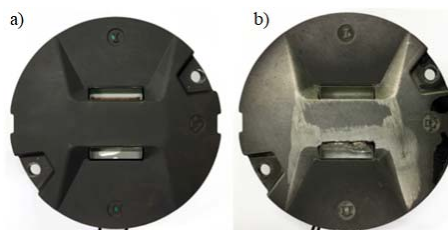
Ze względu na wzrost wymagań agencji lotniczych, porty lotnicze na całym świecie są coraz bardziej obciążane zadaniami poprawy bezpieczeństwa operacji lotniczych. Jednym z ważnych aspektów w tej dziedzinie jest prawidłowe oświetlenie płaszczyzn lotniskowych, a szczególnie dróg startowych, na których odbywają się najbardziej newralgiczne operacje lotnicze. W tym celu buduje się urządzenia pomiarowe, które są zdolne mierzyć sprawność świetlną każdej z lamp i oceniać jej zużycie, a następnie klasyfikować lampy jako zdolne do dalszego użytku bądź wymagające wymiany. Zmniejszenie sprawności świetlnej lamp następuje wskutek warunków atmosferycznych oraz eksploatacji drogi startowej [1].



Rys. 1. Platforma pomiarowa do badania jakości działania lamp lotniskowych [1]

W porcie lotniczym znajduje się wiele typów lamp. Przykładowo, na drodze startowej lotniska klasy Poznań Ławica znajduje się ponad 350 opraw zagłębionych, rozłożonych na odcinku ok. 2,5 km. Ze względu na krótkie szczeliny czasowe pomiędzy operacjami lotniczymi, wynoszące od 5 do 10 minut, determinuje to konieczność szybkiej kontroli poprawności działania oświetlenia lotniskowego, np. przeprowadzanej za pomocą platformy pomiarowej widocznej na rys. 1. Funkcjonowanie lamp jest określone w normie Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA) w rozdziale dotyczącym wytycznych do projektowania lotnisk [2]. W dokumencie tym przedstawiono intensywności świecenia poszczególnych światła i ich zależność od kąta padania. Podane wartości różnią się między sobą w zależności od rodzaju lampy oraz koloru światła. Normy określają także wymagania, odnosząc się do kategorii lotniska. Jednym z najważniejszych parametrów jest minimum światłości dla wiązki głównej,

która znajduje się w różnym zakresie kątowym w zależności od typu lampy. Należy zauważyć, że bardziej rygorystyczne wytyczne zostały przewidziane dla drogi startowej, aniżeli dla innych płaszczyzn lotniskowych, co ma uzasadnienie w wymaganiach bezpieczeństwa operacji lotniczych.



Rys. 2 Lampa nowa (a) oraz zużyta (b) linii centralnej drogi kołowania IDM5582 [11]

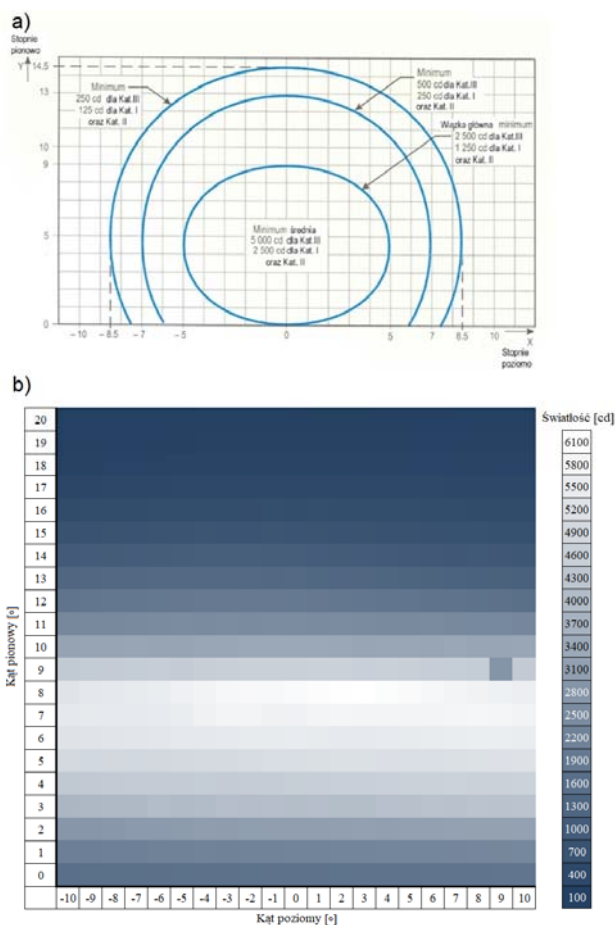
Eksperymenty laboratoryjne [1] polegające na testowaniu lamp lotniskowych pozwoliły na porównanie świecenia lamp z oprawami fabrycznie nowymi i zużytymi w celu kwalifikowania opraw jako niezdatne do dalszego użytku. Przeprowadzone badania wykazały, że pomiędzy dwoma egzemplarzami lamp tego samego typu, ale różniącymi się czasem eksploatacji, występują znaczące zmiany w charakterystyce emitowanego światła. Uszkodzone (porysowane i powyszczerbiane) pryzmaty lamp powodują przesunięcie głównej wiązki względem norm, jak również w niektórych sytuacjach jej rozproszenie. W przypadku nowych opraw wytyczne co do minimalnej wartości światłości są znacząco przekroczone, natomiast lampy zużyte charakteryzują się znacznie niższymi intensywnościami świecenia. Jest to problem dotyczący głównie drogi startowej, gdzie oprawy są szczególnie narażone na uszkodzenia mechaniczne. Porównanie lampy nowej oraz zużytej przedstawione zostało na rys. 2.



Rys.3. Druciane szczotki na pługach odśnieżających płaszczyzn lotniskowe [11]

Największe zużycie oprav zagłębionych jest obserwowane w okresie trwania „akcji zima”. Polega ona na gruntownym oczyszczaniu płaszczyzn lotniskowych z zalegającego śniegu oraz błota z wykorzystaniem środków chemicznych oraz specjalistycznych pługów wyposażonych w druciane szczotki (rys. 3).

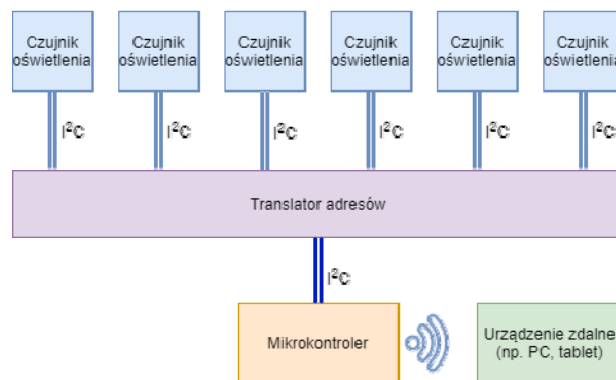
Aby lampa znajdująca się w strefie przyziemia została dopuszczona do użytkowania, jej światłość musi przekraczać wartości minimalne z zakresu od 250 do 5000 cd, określone tzw. izokandelami. Na rys. 4 zostały przedstawione minimalne znormalizowane wartości dla lampy tej strefy IDM4671 [2]. W celu sprawdzenia sprawności świetlnej przeprowadzone zostały badania empiryczne za pomocą goniometru BIG128. Przykładowy wykres światłości w zależności od kąta padania wiązki dla lampy strefy przyziemia, został zamieszczony na rys. 4, a szczegółowe wyniki badań pozostałych punktów świetlnych zostały zamieszczone w artykule [1].



Rys. 4. Norma jasności: (a) dla lampy strefy przyziemia (światło białe) IDM4671 [2] oraz (b) wykres zależności światłości od kąta padania wiązki światła dla lampy IDM4671

### Koncepcja matrycy pomiarowej

Założeniem projektowym było opracowanie matrycy pomiarowej z czujnikami natężenia światła. Wykorzystanie wielu modułów wynika z szerokości wiązki światła emitowanej przez lampy zagłębione, ale również z niedokładności najazdu platformy nad lampę. Na rys. 5 przedstawiono schemat połączeń pomiędzy modułami czujników (BH1750 lub VEML7700), translatorem adresów (TCA9548A lub LTC4317) a mikrokontrolerem (ATMEGA328P).



Rys. 5. Schemat koncepcyjny połączeń matrycy pomiarowej

### Charakterystyka czujników natężenia światła

Podstawowym elementem matrycy pomiarowej do badania oświetlenia są czujniki określające wartości natężenia wiązki światła. Najważniejsze parametry, którymi powinny się one charakteryzować to szybkość pomiaru oraz jego zakres, ponieważ determinują poprawność wyniku uzyskanego w czasie dokonywania kontroli. Równie istotnym aspektem jest liczba czujników oraz ich układ na matrycy pomiarowej. W artykule porównano dwa typy czujników: BH1750 i VEML7700.

Czujnik BH1750 (rys. 6) umożliwia pomiar w zakresie od 1 do 65 535 lx, wysyłając dane przez magistralę I<sup>2</sup>C. Zgodnie z charakterystyką producenta zależność wyników pomiarów wykonanych za pomocą tego układu od padającego światła, w badanym zakresie natężenia, jest liniowa, co odpowiada specyfikacjom określonym dla lamp lotniskowych.

Czujnik ten posiada programową możliwość zmiany rozdzielczości dokonywanego pomiaru. Za jego pomocą można dokonywać odczytów z rozdzielczością 0,5 lx, co, według producenta, wymaga czasu 120 ms (maksymalnie 180 ms). Innym trybem pracy jest pomiar z rozdzielczością 1 lx, przy czym deklarowane czasy akwizycji są identyczne. Najszybszym, bo trwającym 16 ms (maksymalnie 24 ms) jest tryb o rozdzielczości 4 lx. Dodatkowo istnieje możliwość wybrania metody pomiaru jako ciągłej lub wykonania pojedynczego pomiaru dla każdej z wyżej wymienionych rozdzielczości [3].



Rys. 6. Moduł z czujnikiem natężenia światła BH1750 [9]

Drugi przetestowany czujnik natężenia światła to układ VEML7700 (rys. 7). Posiada on moduł cyfrowy o rozdzielczości 16-bitowej do pomiaru natężenia światła oraz fotodiodę o wysokiej czułości i wzmacniacz, który charakteryzuje się niskim poziomem szumów. Ten czujnik ma dużo większy zakres pomiarowy niż układ BH1750, bo od 0 aż do 120 000 lx z maksymalną rozdzielczością do

0,0036 lx przy czasie odświeżania 4800 ms. W przypadku najkrótszego możliwego odświeżania wynoszącego 600 ms, rozdzielczość wynosi 0,0288 lx [4].



Rys. 7. Moduł z czujnikiem natężenia światła VEML7700 [10]

Badania na ławie optycznej przeprowadzone z wykorzystaniem układów prototypowych w odniesieniu do pomiarów wykonanych profesjonalnym luksomierzem, pozwoliły na wyznaczenie współczynników korekcji wielomianowej. Zostały one zastosowane w celu osiągnięcia jak najlepszych odczytów natężenia światła w pełnym zakresie pomiarowym. Przeprowadzone testy wykazały różnice pomiędzy układami BH1750 a VEML7700 zarówno w zakresach pomiarowych, jak również w dokładności ich działania w zależności od barwy badanego światła [1].

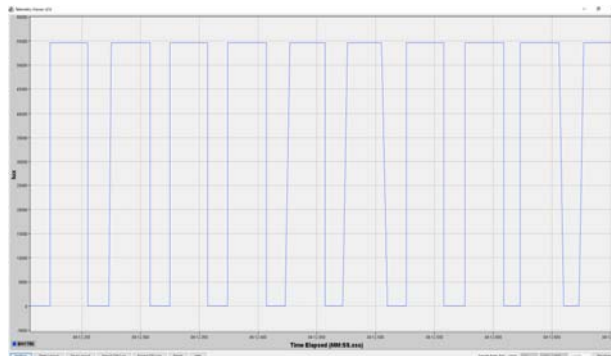
Istotnym aspektem projektowania i konstrukcji matrycy pomiarowej do badania jakości działania lamp lotniskowych jest czas akwizycji danych przez czujnik natężenia światła. Wynika to z potrzeby jak najszybszego przeprowadzania procesu kontroli oświetlenia krytycznych miejsc lotniska takich jak pas startowy czy drogi kołowania. Przeprowadzono zatem eksperyment w warunkach laboratoryjnych, którego celem było sprawdzenie teoretycznej maksymalnej szybkości akwizycji danych. Lampę zastąpiono diodą LED, która została podłączona do generatora sygnału prostokątnego o stałej amplitudzie. Dokonywano jedynie zmian częstotliwości sygnału w celu symulacji zmiany prędkości ruchu układu pomiarowego. Testy wykonano stosując w układzie pomiarowym diody LED o barwie zimnej białej i różnych średnicach – 5 mm oraz 10 mm, które odpowiednio emitowały światło o wartości światłości odpowiadającej lampie nowej oraz używanej, ale wciąż spełniającej normy. Czujnik sprawdzający poziom natężenia światła został podłączony do mikrokontrolera ATmega328P, natomiast otrzymywane dane były wizualizowane online za pomocą oprogramowania Telemetry Viewer otrzymującego wartości z portu szeregowego. Znając średnicę lampy (20 cm) i upraszczając ją jako „punkt” świetlny o tym wymiarze oraz zakładając minimum 4 pomiary dla jednej oprawy, wyznaczono zależność prędkości od częstotliwości. Należy zaznaczyć, że testy wykonano dla maksymalnej szybkości akwizycji, która skutkowałą mniejszą rozdzielczością pomiaru.

W przypadku modułu BH1750 poprawne odczyty natężenia światła były możliwe dla maksymalnej częstotliwości 20 Hz (rys. 8), co odpowiada teoretycznej maksymalnej prędkości poruszania się matrycy pomiarowej wynoszącej 3,6 km/h. Przy wyższej częstotliwości następowały już zmiany polegające na braku wszystkich odczytów wartości zero pomiędzy kolejnymi rozbłyskami diody. W takiej sytuacji zazwyczaj jest możliwe rozpoznanie

lamp i obszaru pomiędzy nimi, ponieważ widoczny jest spadek wartości. Przy takich założeniach maksymalna teoretyczna prędkość poruszania się platformy pomiarowej z czujnikami BH1750 osiąga ok. 4,5 km/h.

Tabela 1. Zależność teoretycznej prędkości jazdy matrycy od generowanej częstotliwości

Częstotliwość [Hz]	Prędkość [m/s]	Prędkość [km/h]
2	0,1	0,36
4	0,2	0,72
6	0,3	1,08
8	0,4	1,44
10	0,5	1,8
12	0,6	2,16
14	0,7	2,52
16	0,8	2,88
18	0,9	3,24
20	1	3,6
25	1,25	4,5



Rys. 8. Odczyt wartości natężenia światła dla czujnika BH1750 przy częstotliwości LED 20 Hz

Czujnik VEML7700 charakteryzuje się znacznie dłuższymi czasami dokonywania pomiaru wynoszącymi 600 ms, co potwierdziły testy z diodą LED. Maksymalna częstotliwość, dla której można odczytać wszystkie wartości bez żadnych zakłóceń to 4 Hz co odpowiada prędkości zaledwie 0,2 km/h. Zastosowanie tego modułu w matrycy pomiarowej do badania lamp lotniskowych nie jest zatem w praktyce możliwe.

Należy zwrócić uwagę, że zbadana teoretyczna prędkość dotyczy sytuacji kiedy dane są pobierane z jednego czujnika, a nie całej matrycy, do konstrukcji której niezbędny jest translator adresów.

#### Badanie działania translatorów adresów

W celu możliwości obsługi wielu czujników natężenia światła na magistrali I<sup>2</sup>C, identyfikujących się tym samym adresem, istnieje konieczność zastosowania translatora adresów. Dzięki temu istnieje możliwość utworzenia pełnej matrycy czujników, składającej się z co najmniej kilku modułów, zamiast z jednego bądź dwóch. Powoduje to lepszą jakość odczytów danych oraz usprawnia dokonywanie pomiaru, który nie wymaga bardzo precyzyjnego przejazdu nad lampą.

W tym celu przetestowano dwa modele translatorów, które umożliwiają przeprowadzenie odpowiednich operacji zmiany adresów. Moduł LTC4317 [5], przedstawiony na rys. 9, umożliwia przesyłanie danych przez maksymalnie 3 urządzenia o tym samym identyfikatorze w magistrali. To jest możliwe dzięki sprzętowej zamianie adresów przy użyciu odpowiednich rezystorów, które dobiera się w oparciu o oprogramowanie kalkulacyjne [5]. Z racji sprzętowej realizacji translacji LTC4317 nie wymaga to dodatkowego oprogramowania, więc wydajność translacji



większe możliwości co do liczby czujników natężenia światła stanowiących matrycę, jednakże powoduje duże opóźnienia, które wymagałyby wykonywania pomiarów stacjonarnie.

**Autorzy:** mgr inż. Kacper Podbucki, E-mail: [kacper.a.podbucki@doctorate.put.poznan.pl](mailto:kacper.a.podbucki@doctorate.put.poznan.pl); mgr inż. Jakub Suder, E-mail: [jakub.a.suder@doctorate.put.poznan.pl](mailto:jakub.a.suder@doctorate.put.poznan.pl); dr inż. Tomasz Marciniak, E-mail: [tomasz.marciniak@put.poznan.pl](mailto:tomasz.marciniak@put.poznan.pl); prof. dr hab. inż. Adam Dąbrowski, E-mail: [adam.dabrowski@put.poznan.pl](mailto:adam.dabrowski@put.poznan.pl); Politechnika Poznańska, Instytut Automatyki i Robotyki, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań.

#### LITERATURA

- [1] Suder J., Maciejewski P., Podbucki K., Marciniak T., Dąbrowski A., Platforma pomiarowa do badania jakości działania lamp lotniskowych, *Pomiary Automatyka Robotyka*, R. 23, Nr 2/2019, 5-13, DOI: 10.14313/PAR\_232/5
- [2] Specyfikacje Certyfikacyjne (CS) oraz Materiały Zawierające Wytoczne (GM) do Projektowania Lotnisk Wydanie 3, Załącznik do Decyzji nr 2016/027/R Dyrektora Wykonawczego EASA, Europejska Agencja Bezpieczeństwa Lotniczego, 2016
- [3] Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC BH1750FVI – Technical Note, ROHM Semiconductor, 2009
- [4] Accuracy Ambient Light Sensor with I<sup>2</sup>C Interface, VEML7700, Vishay Semiconductors, 2016
- [5] Linear Technology Corporation, LTC4317 Dual I<sup>2</sup>C/SMBus Address Translator, 2015
- [6] Texas Instruments Incorporated, TCA9548A Low-Voltage 8-Channel I<sup>2</sup>C Switch With Reset, SCPS207D, May 2012, Revised January 2015
- [7] Moduł translatora adresów I<sup>2</sup>C z układem LTC4317, <https://www.tindie.com/products/closedcube/ltc4317-dual-i2csmbus-hardware-address-translator/>, dostęp: 08.09.2020
- [8] Moduł translatora adresów I<sup>2</sup>C z układem TCA9548A, <https://www.adafruit.com/product/2717>, dostęp: 08.09.2020
- [9] Moduł z czujnikiem natężenia światła BH1750, <https://www.avmarket.eu/modul-czujnik-natezenia-swiatla-bh1750fvi-i2c-p-3409.html>, dostęp: 08.09.2020
- [10] Moduł z czujnikiem natężenia światła VEML7700, <https://www.dfrobot.com/product-1620.html>, dostęp: 08.09.2020
- [11] Suder J., *Inspekcja wizyjna lamp lotniskowych*, Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Poznańska, 2019