

doi:10.15199/48.2018.08.30

Zautomatyzowane urządzenie do pomiaru oświetlenia ewakuacyjnego

Streszczenie. W artykule opisano konstrukcję modelu zautomatyzowanego urządzenia przeznaczonego do pomiaru oświetlenia ewakuacyjnego. Przedstawiono wyniki pomiarów natężenia oświetlenia, na podstawie których dokonano weryfikacji pomiarowej poprawności wskazań modelu tego urządzenia oraz oceny powtarzalności wyników pomiarów.

Abstract. The paper presents the construction of the model of an automated device designed for measurements of escape route lighting. Verification of the indications correctness of the model of this device and evaluation of the reproducibility of the measurement results were made on the basis of the results of illuminance measurements that were presented in the paper. **Automated device for measuring escape route lighting.**

Słowa kluczowe: platforma mobilna, natężenie oświetlenia, luksomierz, oświetlenie ewakuacyjne.

Keywords: mobile platform, illuminance, light meter, escape route lighting.

Wstęp

Pomiary natężenia oświetlenia w ciągach komunikacyjnych czy strefach komunikacyjnych hal przemysłowych są bardzo uciążliwe, szczególnie gdy są to długie czy duże obiekty. Ponadto, pomiary te, zarówno w przypadku oceny oświetlenia ewakuacyjnego czy podstawowego, należy wykonywać na poziomie podłogi [1]. Niestety nie znaleziono żadnego komercyjnego urządzenia przeznaczonego do pomiaru natężenia oświetlenia, który samodzielnie by się przemieszczał, przekazywało informację o swoim położeniu oraz miało możliwość zbierania wyników pomiarów natężenia oświetlenia i ich zapamiętywania. W związku z tym podjęto próbę zbudowania modelu takiego urządzenia, które spełniałoby te wymagania oraz zapewniało prawidłowość oraz powtarzalność wykonanych pomiarów.

Założenia konstrukcyjne modelu zautomatyzowanego urządzenia do pomiaru oświetlenia ewakuacyjnego

Projektowane urządzenie przeznaczone do pomiaru natężenia oświetlenia powinno mieć możliwość:

- samodzielnego przemieszczania się w linii prostej,
- unikania zderzenia z obiektami, które przypadkowo mogą znaleźć się na trasie pojazdu jak np. przechodzący człowiek,
- sterowania, 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,
- zamontowania głowicy fotometrycznej jak najbliżej podłogi oraz zamontowania jej na zadanej wysokości względem podłogi.

Zbudowanie urządzenia spełniającego wyżej wymienione warunki wymaga wiedzy z zakresu mechaniki, elektroniki i programowania. Na podstawie ww. założeń zidentyfikowano następujące problemy, które wymagały rozwiązania:

- układ pomiaru natężenia oświetlenia,
- wybór konstrukcji mechanicznej pojazdu elektrycznego,
- konstrukcja autonomicznego modułu unikania zderzeń z obiektami nieruchomymi oraz takimi, które przypadkowo mogą znaleźć się na trasie przejazdu,
- układ pomiaru położenia - przebytej drogi,
- układ komunikacji: pojazd - komputer, komputer - pojazd,
- obróbka danych pomiarowych i współpraca z powszechnie dostępnymi arkuszami kalkulacyjnymi.

Konstrukcja zautomatyzowanego urządzenia do pomiaru natężenia oświetlenia ewakuacyjnego

Pomiary natężenia oświetlenia należy wykonać za pomocą luksomierza umożliwiającego pomiary bardzo małych wartości natężenia oświetlenia (poniżej 0,25 lx), które występują w oświetleniu ewakuacyjnym. Ponadto głowica luksomierza nie może być zintegrowana z przyrządem pomiarowym, a być z nim połączona za pomocą przewodu. Wymagania te spełnia, między innymi, luksomierz polskiego producenta SONOPAN, typ L-100, który zastosowano w urządzeniu pomiarowym. Jego zakres pomiarowy wynosi od 0,001 lx o 300 klx, a klasa dokładności A (ISO/CIE 19476: 2014 [2]). Błąd całkowity luksomierza wynosi $\leq 2,5\%$. Głowica fotometryczna posiada korekcję do względnej widmowej skuteczności świetlnej dla widzenia fotopowego $V(\lambda)$, błąd ze względu na dopasowanie widmowe $f_1 = 1,31\%$, a na dopasowanie kierunkowe $f_2 \leq 1,5\%$ [2, 3].

Konstrukcja platformy

Projektowany model platformy nośnej powinien pomieścić wszystkie niezbędne urządzenia pomiarowe oraz zapewnić rozsądną szybkość przemieszczania się. Sterowanie kierunkiem jazdy powinno odbywać się na drodze elektronicznej np. przez sterowanie silników napędzających koła. Ważną kwestią jest zapewnienie odpowiedniej stabilności mechanicznej, którą osiąga się poprzez odpowiedni rozstaw osi pojazdu i odpowiednią jego długość. Po analizie tych kwestii postanowiono wykorzystać platformę mobilną, składającą się z dwóch stalowych, giętych płyt, polskiej firmy Woobit (rys. 1).

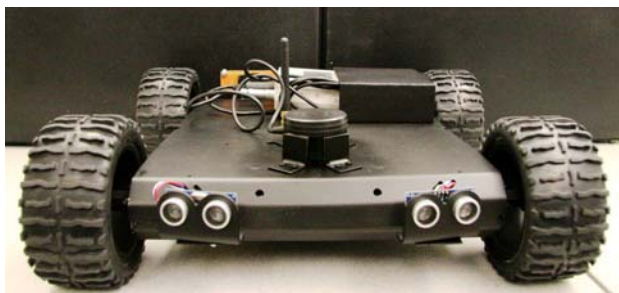


Rys. 1. Widok kołowej platformy mobilnej z podniesioną pokrywą

Koła wykonane są z tworzywa sztucznego z gumowymi, terenowymi oponami wypełnionymi pianką. Napędzane są one przez cztery silniki prądu stałego (Beuhler Motor) z przekładnią planetarną o przełożeniu 1 : 72.

Układ zabezpieczający przed zderzeniem z przeszkodami

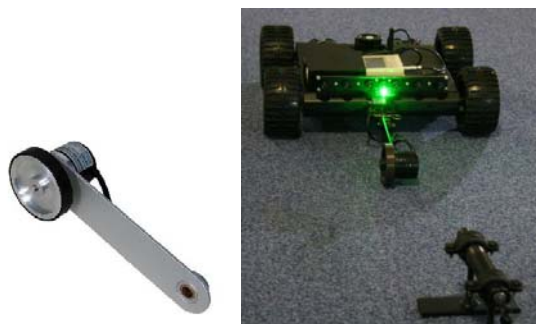
Podczas poruszania się urządzenia po badanym terenie istnieje możliwość jego zderzenia się z pojawiającą się nieoczekiwanie na trasie przeszkodą lub uderzenie np. w ścianę na skutek nieuwagi operatora. W związku z tym w modelu zastosowano dwa czujniki ultradźwiękowe (sonary) zamontowane w jego przedniej części (rys. 2). Kąt widzenia każdego z czujników wynosi 120° , a zasięg widzenia przeszkody zaprogramowany został na 0,3 m. Zasięg typowych czujników ultradźwiękowych wynosi od 5 cm do 3,5 m z rozdzielczością 3 mm. Precyzja pomiaru (rozdzielczość) została zwiększona przez zastosowanie drugiego toru pomiarowego. W tym wypadku nadajnik znajduje się pomiędzy dwoma odbiornikami. Takie rozwiązanie zapewnia również szerszy kąt wykrywania przeszkód. Działanie tych czujników jest nadrzędne w stosunku do wszystkich układów platformy.



Rys. 2. Widok kołowej platformy mobilnej od strony przedniej – z zamontowanymi czujnikami ultradźwiękowymi

Układ pomiaru przebytej odległości (położenia)

Zadaniem pomiaru przebytej drogi jest precyzyjne określenie położenia głowicy pomiarowej luksomierza. Do jego konstrukcji rozważano wykorzystanie układów nawigacji satelitarnej GPS, nawigację optyczną z wykorzystaniem monochromatycznego aparatu cyfrowego, zastosowanie systemu zliczania znaczników na specjalnie wykonanej taśmie, komercyjnego modułu dalmierza ultradźwiękowego, licznika obrotów, lub obliczanie na podstawie liczby impulsów sterujących obrót silnika krokowego. Po rozważeniu zalet i wad powyższych rozwiązań zdecydowano zastosować w budowanym modelu przetwornik obrotowo-impulsowy (enkodera) MWK 40 (rys. 3) na wahliwym wysięgniku zamontowany za platformą mobilną (rys. 3).



Rys. 3. Widok enkodera MWK 40 oraz widok kołowej platformy mobilnej od strony tylnej - z zamontowanymi kolimatorami i enkodermem

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.

Układ utrzymujący prostoliniowy kierunek jazdy

Parametrem, który wpływa na błąd pomiaru przebytej odległości są odchylenia toru jazdy od wyznaczonego kierunku. Wpływ kąta odchylenia na błąd pomiaru odległości dla trasy o długości 100 m podano w tabeli 1.

Tabela 1. Przesunięcie pojazdu względem wyznaczonego kierunku jazdy w funkcji kąta odchylenia od wyznaczonego kursu

Odchylenie kątowe od wyznaczonego kierunku jazdy [°]	Odchylenie od wyznaczonego kierunku jazdy [m]
0,10	0,17
0,25	0,44
0,50	0,87
1,00	1,75
2,50	4,37
5,00	8,75

Z analizy zamieszczonych wyników widać, że błąd wyznaczania kierunku powinien być jak najmniejszy. Nawet stosunkowo niewielka wartość kąta odchylenia powoduje duży błąd pomiaru odległości. Błąd na poziomie 0,2% przy trasie o długości 100 m generuje błąd pomiaru odległości na poziomie 35 cm, a na trasie o długości 50 m - 17 cm. Wyniki te w wielu wypadkach mogą być jeszcze wartością akceptowalną ponieważ porównywalne błędy uzyskuje się odmierzając odległości taśmą mierniczą, przyjmując tylko jeden punkt odniesienia. Duży problem w proponowanym układzie będzie stanowił wielokrotna korekta kierunku jazdy w kierunku prostoliniowym i sumowanie się wyników poszczególnych korekt. W przypadku zastosowania skutecznego i odpowiednio szybkiego układu korekty kierunku jazdy błędy wynikające ze stosowania korekty kierunku jazdy będą małe.

Do konstrukcji tego układu rozważano zastosowanie modułu elektronicznego kompasu przeznaczonego do umieszczania w robotach czy układu czujników refleksyjnych wykrywających kierunek poruszania się pojazdu względem linii prowadzącej. W wykonanym modelu urządzenia pomiarowego ustalanie toru jazdy zrealizowano za pomocą zielonego lasera liniowego oraz dziewięciu fotoelementów elektronicznych (fototranzystorów z soczewkami) – kolimatorów, umiejscowionych z tyłu na korpusie platformy mobilnej (rys. 3). 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 linii lasera detekowanej w kolimatorach wynosi minimum 50 m.

Komunikacja bezprzewodowa

Zadaniem modułu komunikacji bezprzewodowej jest zapewnienie łączności, w obie strony, pomiędzy platformą mobilną a komputerem. Komunikacja między komputerem a platformą zapewnia jej sterowanie – przesył poleceń: startu pojazdu, zatrzymania oraz jego powrotu. Komunikacja między platformą a komputerem służy do przekazywania danych pomiarowych: informacji o przebytej drodze i natężeniu oświetlenia. Ze względów praktycznych możliwa do zastosowania jest tylko komunikacja bezprzewodowa. W komunikacji bezprzewodowej stosuje się zasadniczo: ultradźwięki, fale widzialne, promieniowanie podczerwone i fale radiowe. Sterowanie ultradźwiękami mimo swojej prostoty, szerokiego kąta działania zostało na wstępie wyeliminowane ze względu na możliwość zakłócenia pracy ultradźwiękowych czujników odległości. Układy wykorzystujące fale widzialne i promieniowanie podczerwone, mimo iż są skomplikowane w realizacji, w

praktyce byłyby niewygodne w stosowaniu. W związku z tym w budowanym urządzeniu zdecydowano się na zastosowanie modemu radiowego służącego do jednoczesnej, wzajemnej komunikacji układów między sobą w standardzie RS 232 lub USB. Jest to moduł radiowy MOBOT-RCR-V2, który umożliwia łączność z modułem MOBOT-RCR-USB-V2 bezpośrednio podłączonym do komputera PC przez złącze USB. Moduły te umożliwiają 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. 2).

Oprogramowanie sterujące urządzeniem pomiarowym

Sterowanie z wykorzystaniem interfejsu RS 232 zrealizowano z wykorzystaniem programu HyperTerminal zintegrowanego z systemem Windows. Program ten umożliwia pracę dwukierunkową, pozwala na sterowanie platformą za pomocą klawiatury komputera oraz na równoczesny odczyt danych z platformy. W celu poprawnego odczytu wiadomości opracowano odpowiedni format danych kompatybilny z oprogramowaniem luksomierza, które umożliwia między innymi podgląd transmisji danych. Do dalszej analizy danych użyto bardziej zaawansowanego terminala o nazwie Br@y++ mającego możliwość podejrzenia wyników również w translacji na kod heksadecymalny, binarny i dziesiętny. Opisana procedura służy do prawidłowego odczytywania danych z pomiarów natężenia oświetlenia i ich rejestracji.

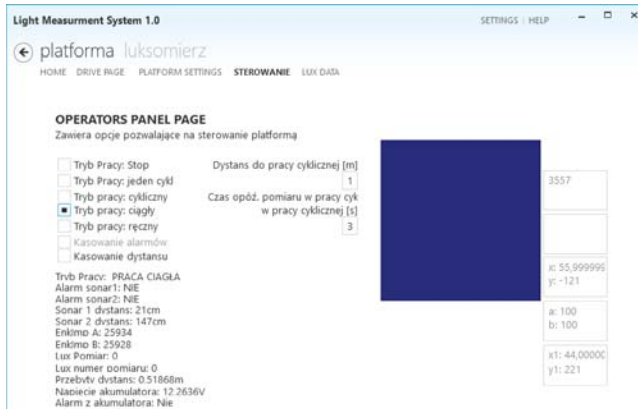
Jednostką sterującą urządzeniem jest 8 bitowy mikrokontroler z rodziny AVR. Służy on do odbioru danych pomiarowych z luksomierza, sterowania platformą i przesyłu informacji drogą bezprzewodową za pomocą modułu Mobot RCR-V2. Układem sterowania pracą silników i utrzymywania kierunku jazdy oraz wykrywania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

Z chwilą włączenia urządzenia układ każdorazowo wysyła informację o sposobie sterowania platformą. Po komendzie startu układ zaczyna się poruszać na wprost i w zależności od wybranej opcji wykonuje pomiar natężenia oświetlenia.

Urządzenie pomiarowe sterowane jest za pomocą oprogramowaniu Light measurement system z wykorzystaniem dwóch zakładki: STEROWANIE i LUX DATA.

W oknie STEROWANIE (rys. 4) wybierany jest jeden z poniższych trybów pracy:

- stop - pomimo spełnienia warunków do dokonywania pomiarów, platforma mobilna nie będzie się poruszać,
- jeden cykl - dokonywany jest jeden pomiar po przebyciu danym odcinku drogi,
- cykliczny - pomiar dokonywany jest co zaprogramowany odcinek drogi (platforma zatrzymuje się na zadany czas, dokonywany jest pomiar i rejestrowany wynik),
- ciągle - platforma porusza się wzdłuż zadanej linii siatki,
- ręczny - umożliwia sterowanie ręczne platformą, poprzez przesuwanie kursora po niebieskim kwadracie symulującym joystick.

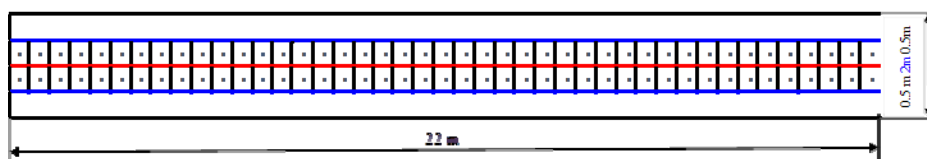


Rys. 4. Widok zakładki STEROWANIE programu Light measurement system

W zakładce LUX DATA można zobaczyć wyniki pomiarów: numer próbki, znacznik czasu, wartość natężenia oświetlenia i przebyty dystans. Oprogramowanie umożliwia zapis do plików wewnętrznych aplikacji (rozszerzenie *.lux) oraz export do formatu MS EXCEL.

Weryfikacja metody badania oświetlenia ewakuacyjnego z wykorzystaniem zautomatyzowanego urządzenia pomiarowego

W celu praktycznego zweryfikowania poprawności działania wykonanego modelu urządzenia do pomiaru oświetlenia ewakuacyjnego wykonano pomiary natężenia oświetlenia na podłodze rzeczywistego korytarza o długości 22 m. W badanym korytarzu, zgodnie z projektem [4] spełniającym wymagania normatywne, było zamontowanych na ścianie 5 sztuk opraw oświetlenia ewakuacyjnego ORILED 2/1W LED 760 firmy ZUMTOBEL na wysokości 0,58 m względem podłogi w odległości pomiędzy oprawami 4,4 m (odległość skrajnych opraw od krótszej ściany wynosiła 2,2 m). Pomiary wykonano, zgodnie z zasadami podanymi w [5], w środkowej linii (zaznaczonej kolorem czerwonym na rys. 5) oraz w obszarze centralnego pasa (zaznaczonego na rys. 5 kolorem niebieskim) o szerokości 1 m, po obu stronach linii środkowej.



Rys. 5. Widok siatki pomiarowej na korytarzu; kolor czerwony - linia środkowa, kolor niebieski - pas centralny

Ostęp między punktami pomiarowymi wynosił 0,5 m. W każdej z linii wyznaczono 44 punkty pomiarowe. Łącznie wykonano 132 pomiary dla przyjętego korytarza. Pomiary wykonano bez dostępu światła dziennego oraz po odczekaniu 60 min w celu ustabilizowania się strumienia świetlnego źródeł LED.

Pomiary wykonano trzykrotnie – w tym samych punktach pomiarowych rozmieszczonych na poszczególnych liniach pomiarowych. W związku z tym nie zmieniano w oprogramowaniu urządzenia pomiarowego żadnych nastaw. Jedyną zmianą było przestawianie urządzenia mobilnego oraz podstawki z zielonym laserem w celu wytyczenia kolejnej linii pomiarowej. Taka konfiguracja miała na celu ocenę powtarzalności wyników pomiarów, a tym samym potwierdzenie precyzyjności układu mierzącego odległość oraz zachowującego prostoliniowość

przemieszczania się platformy. W tej samej siatce pomiarowej wykonano również pomiary ręcznie – z wykorzystaniem tego samego luksomierza. Na rysunku 6 pokazano model urządzenia pomiarowego podczas wykonywania pomiarów natężenia oświetlenia ewakuacyjnego na badanym korytarzu.



Rys. 6. Widok modelu urządzenia pomiarowego podczas wykonywania pomiarów natężenia oświetlenia ewakuacyjnego na korytarzu

Wyniki pomiarów natężenia oświetlenia ewakuacyjnego

Uwzględniając rodzaj oświetlenia awaryjnego [6], zgodnie z wymaganiami normatywnymi [4] porównano wartości minimalnego oraz maksymalnego natężenia oświetlenia dla środkowej linii oraz dwóch linii centralnego pasa drogi ewakuacyjnej, uzyskanych z trzech serii pomiarów z wykorzystaniem urządzenia pomiarowego oraz z pomiarów ręcznych zaprezentowano w tabeli 2. Ze względu na zamontowanie głowicy luksomierza na platformie mobilnej 5 cm powyżej poziomu podłogi, w tabeli 2 przedstawiono wyniki pomiarów natężenia oświetlenia ewakuacyjnego dla trzech serii pomiarowych przeliczone zgodnie z prawem odwrotności kwadratów.

Tabela 2. Zestawienie wartości minimalnych i maksymalnych natężenia oświetlenia ewakuacyjnego uzyskanych z pomiarów z wykorzystaniem zautomatyzowanego urządzenia pomiarowego oraz z pomiarów ręcznych

Rodzaj wykonanych pomiarów	Środkowa linia drogi ewakuacyjnej		Centralny pas drogi ewakuacyjnej			
			linia lewa		linia prawa	
	E_{max} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} [lx]
I seria	15,69	2,26	12,02	1,60	18,59	2,81
II seria	15,68	2,27	12,00	1,55	18,57	2,76
III seria	15,69	2,30	11,99	1,57	18,58	2,78
Pomiar ręczny	15,67	2,28	12,02	1,59	18,57	2,77

Wnioski z weryfikacji pomiarowej poprawności wskazań urządzenia pomiarowego

Najistotniejszym wynikiem pomiarowym w zakresie oświetlenie ewakuacyjnego jest jego wartość minimalna [5]. Maksymalna różnica tej wartości, dla pomiarów wykonanych z wykorzystaniem zautomatyzowanego urządzenia pomiarowego, wyniosła 0,05 lx dla prawej linii centralnego pasa drogi ewakuacyjnej. Liczba ta stanowi 1,8% wartości zmierzonej natężenia oświetlenia. W przypadku wartości maksymalnych natężenia oświetlenia różnice były mniejsze i wyniosły maksymalnie 0,03 lx dla

lewej linii centralnego pasa drogi ewakuacyjnej, czyli 2% wartości zmierzonej.

Z porównania wartości zmierzonych z wykorzystaniem zautomatyzowanego urządzenia pomiarowego i wykonanych ręcznie, różnice pomiędzy wynikami wartości minimalnych wyniosły maksymalnie 0,03 lx dla lewej linii centralnego pasa drogi ewakuacyjnej, a dla wartości maksymalnej 0,04 lx (dla lewej i prawej linii centralnego pasa drogi ewakuacyjnej).

Wnioski końcowe

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów można stwierdzić, że zautomatyzowane urządzenie pomiarowe zapewnia bardzo dużą powtarzalność wyników pomiarów oraz porusza się dokładnie po linii prostej – co również potwierdziły wyniki pomiarów wykonanych ręcznie. Oznacza to, że wykonane zautomatyzowane urządzenie do pomiaru natężenia oświetlenia ewakuacyjnego spełnia założenia konstrukcyjne oraz jest wykonane poprawnie. W trakcie wykonywania pomiarów urządzenie pomiarowe zachowywało się prawidłowo. Przemieszczało się po linii prostej i po przejechaniu 0,5 m wykonywało pomiar zatrzymując się na 3 sekundy, a po dojechaniu do ściany zatrzymało się na stałe.

Ponieważ wszystkie pomiary wykonano tym samym egzemplarzem luksomierza oraz uwzględniono różnicę w wysokości położenia górnej powierzchni głowicy luksomierza umieszczonej na zautomatyzowanym urządzeniu pomiarowym w stosunku do tej samej powierzchni głowicy położonej na podłodze, to na te minimalne różnice mogła mieć ewentualnie wpływ:

- dokładność przyjęcia punktów pomiarowych,
- zaokrąglenie wyników pomiarów do dwóch miejsc po przecinku,
- niestabilizowanie się wyniku pomiaru na trzecim miejscu po przecinku.

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

Autor: mgr inż. Andrzej Pawlak, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Techniki Bezpieczeństwa, Pracownia Promieniowania Optycznego, Warszawa, ul. Czerniakowska 16, e-mail: anpaw@ciop.pl

LITERATURA

- [1] Pawlak A., Przegląd wybranych krajowych przepisów prawnych dotyczących oświetlenia awaryjnego, *Bezpieczeństwo Pracy*, 2017, nr 8, 14-17
- [2] ISO/CIE 19476:2014 Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters
- [3] PN-EN 13032-1 Światło i oświetlenie. Pomiar i prezentacja danych fotometrycznych lamp i opraw oświetleniowych. Część 1: Pomiar i format pliku, PKN, Warszawa, 2012
- [4] Pawlak A., Oświetlenie ewakuacyjne – analiza porównawcza projektów i wyników pomiarów, *Przegląd Elektrotechniczny*, 93 (2017), nr 6, 55-58
- [4] PN-EN 1838: 2013 Zastosowania oświetlenia - Oświetlenie awaryjne, PKN, Warszawa, 2013
- [5] Pawlak A., Zasady eksploatacji systemów oświetlenia awaryjnego, *Przegląd Elektrotechniczny*, 91 (2015), nr 7, 62-66
- [6] Pawlak A., Rodzaje oświetlenia awaryjnego i cele jego stosowania, *Bezpieczeństwo Pracy*, 2017, nr 9, 24-28