

Wykorzystanie matrycy fotorezystorowej w badaniach rozkładu natężenia oświetlenia w pomieszczeniach

Streszczenie. Badania rozkładu natężenia oświetlenia w pomieszczeniach są pomocne w dobieraniu algorytmów sterowania oświetleniem. Dokładna znajomość parametrów rozkładu oświetlenia, pozwala określić natężenie światła na całej szerokości pomieszczenia oraz umożliwia ustalenie miejsc zainstalowania oraz mocy oświetlenia sztucznego, tak aby uzyskać wymagane natężenie oświetlenia. Dotychczasowe badania były wykonywane ręcznie za pomocą luksomierza. Niedokładności związane z błędami w pomiarach wymusiły opracowanie bardziej niezawodnego sposobu pomiaru jakim jest matryca fotorezystorowa. Niniejszy artykuł przedstawia koncepcję działania całego układu pomiarowego ze szczególnym uwzględnieniem zalet wynikających z nowej metody pomiarowej.

Abstract. Researches on the lighting distribution in rooms are helpful in the selection of lighting control algorithms. Accurate knowledge of the lighting distribution parameters allows you to determine the light intensity across the entire width of the room, and allows you to determine the locations of the installation and the power of the artificial lighting in order to obtain the desired lighting intensity. The previous tests were carried out manually by using a luxmeter. The inaccuracies caused by measurement errors made it necessary to develop a more reliable method of measurement, a photoresistor matrix. This article outlines the concept of the entire measuring system functionality and focuses on the advantages of this new measurement method (*Photoresistor matrix utilisation in indoor light intensity distribution investigation*).

Słowa kluczowe: rozkład natężenia światła, sterowanie oświetleniem, pomiar oświetlenia, oszczędność energii

Keywords: distribution of light intensity, lighting control, lighting measurement, energy saving.

Wstęp

Światło w pomieszczeniach odkrywa istotną rolę. Jest czynnikiem wpływającym na jakość wykonywanej pracy, komfort przebywania oraz ma wpływ na bezpieczeństwo związane z wykonywanymi czynnościami. Parametry jakie muszą być spełnione w pomieszczeniach pod kątem oświetlenia, regulują normy i ustawy. Przykładem może być norma PN-EN 12464-1: 2012 [1], która określa wymagania oświetlenia dla osób w miejscach pracy we wnętrzach. Uwzględniane są w niej zalecenia dotyczące oświetlenia miejsc pracy wyposażonych w monitory. Norma oprócz określenia ilościowych i jakościowych cech światła i oświetlenia, wskazuje też dobre praktyki oświetlania. Druga norma odnosząca się do światła w pomieszczeniach jest norma PN-EN 15193-1:2017-08 [2]. Jest to nowa norma, która w wersji angielskiej została opublikowana w sierpniu 2017 roku. W normie znajdziemy określenia współczynników, na podstawie których klasyfikuje pomieszczenia jako z dużą, średnią lub małą dostępnością światła. Znajomość rozkładu natężenia oświetlenia w pomieszczeniu może zostać wykorzystana do opracowania odpowiednich algorytmów sterowania oświetleniem, tak by zapewnić wymagane natężenie światła w danym miejscu [4]. Wartości natężenia oświetlenia regulują normy i przepisy, które określają parametry oświetlenia np. w miejscu pracy. Dane takie możemy znaleźć we wspomnianej normie [1].

Badane pomieszczenie znajduje się w obiekcie edukacyjnym, więc wymagane natężenie oświetlenia dla tego typu pomieszczeń wynosi 500 lx (oznaczone pole na rys.1).

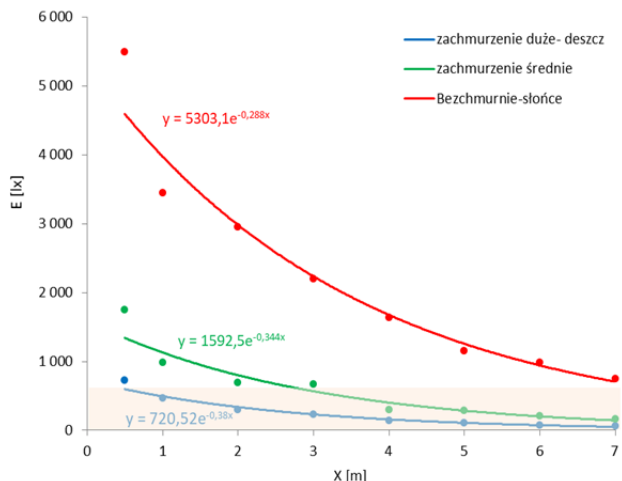
Geneza problemu

Rozkład natężenia światła w pomieszczeniach nie jest równomierny i zależy od wielu czynników [5]. Znajomość rozkładu natężenia światła pozwala na implementację odpowiednich algorytmów sterowania oświetleniem. Dobrze dobrany system sterowania pozwala na uzyskanie oszczędności w zużyciu energii elektrycznej na oświetlenie, jak również poprawi komfort użytkowania pomieszczeń. Oświetleniem możemy sterować na kilka sposobów. Te najbardziej popularne to załącz/wyłącz, ściemnij/rozjaśnij oraz sterowanie zapewniające regulacje natężenia oświetlenia sztucznego w zależności od aktualnego natężenia światła

dziennego. Każdy z tych sposobów charakteryzuje się różnymi urządzeniami wykonawczymi oraz daje inny efekt końcowy sterowania oświetleniem, co przekłada się także na możliwość oszczędzania energii. Do realizacji sterowania oświetleniem możemy użyć różnych systemów automatyki budynkowej. Jednym z wielu dostępnych na rynku systemów sterowania jest system KNX, który może zostać wykorzystany do realizacji sterowania oświetleniem. Wykorzystując informacje o aktualnym natężeniu światła w całym pomieszczeniu możemy dokonać efektywnego sterowania odpowiednimi rzędami opraw oświetleniowych. Takie rozwiązanie będzie wykorzystywało czujniki natężenia światła zainstalowane na zewnątrz i wewnątrz pomieszczenia. Czujnik zewnętrzny będzie rejestrował i przekazywał informacje do systemu dotyczącą wartości natężenia światła na zewnątrz obiektu. Drugi czujnik może zostać zainstalowany wewnątrz pomieszczenia, w którym jest realizowane sterowanie i będzie informował o natężeniu światła wewnątrz pomieszczenia. Pomiar ten uwzględni wszelkie przeszkody w dostępie światła zewnętrznego, tj. np. zabrudzone szyby, zacienienia, itp. Będzie zatem pełnił funkcję weryfikującą faktyczne natężenie światła wewnątrz pomieszczenia i reagując na bieżące zmiany informował system o wartości natężenia światła. Standard KNX jest system o wolnej topologii, co umożliwia łatwe tworzenie struktury systemu. W tym standardzie nie ma konieczności stosowania centralnego urządzenia sterującego, gdyż elementy magistralne przekazują bezpośrednio między sobą informację i polecenia. Cecha ta ułatwia także parametryzację poszczególnych urządzeń systemowych. Elementy wykonawcze systemu KNX będą realizowały sterowanie oświetleniem poprzez załączanie/wyłączanie oraz ściemnianie i rozjaśnianie odpowiednich rzędów opraw oświetleniowych. W dalszej części artykułu przedstawiono ogólną charakterystykę systemu KNX. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe rozkłady natężenia światła w pomieszczeniu, które otrzymano na podstawie pomiarów wykonanych na wysokości referencyjnej 70 cm od powierzchni podłogi. Zaznaczono także wymaganą wartość natężenia oświetlenia.

Należy zwrócić uwagę na aspekt ekonomiczny zastosowania jednego z trzech sposobów sterowania oświetleniem w systemie KNX. W każdym z trzech

przypadków należy użyć zasilacza systemowego oraz sensora umożliwiającego regulację oświetleniem.



Rys.1. Przykładowy rozkład natężenia światła w pomieszczeniu

Sposób sterowania typu załącz/wyłącz pod względem ilości użytych urządzeń nie będzie się znacznie różnił, gdyż w pierwszym przypadku zostanie użyty aktor załączający a w drugim aktor ściemniający, który jest rozbudowaną wersją aktora załączającego i nie jest znacznie droższy od samego wyrobnika załączającego. Natomiast trzeci sposób sterowania wykorzystujący informację o natężeniu światła na zewnątrz oraz w pomieszczeniu będzie składał się z dokładnie takich samych urządzeń jak wersja typu ściemnij/rozjaśnij tyle że wzbogaconą o czujnik natężenia światła zewnętrznego i wewnętrznego. Szacunkowo można zatem przyjąć (na podstawie cenników różnych producentów), że sterowanie w systemie KNX typu ściemnij/rozjaśnij będzie droższe o koszt dodatkowy koszt aktora ściemniającego, co podwyższy koszty instalacji dla jednego standardowego pomieszczenia o około 12-18% w zależności od modelu i producenta aktora ściemniającego. Trzeci sposób sterowania umożliwiający automatyczną regulację natężenia oświetlenia sztucznego będzie droższy o jedynie ok. 5% od wersji drugiej typu ściemnij/rozjaśnij, gdyż będzie to jedynie dodatkowy koszt czujników natężenia światła. Pomimo, że standardowe czujniki natężenia oświetlenia dostępne na rynku są stosunkowo tanie, to należy pamiętać, że należy w rozpatrywanym przypadku, użyć czujników działających w standardzie KNX. Tylko takie czujniki umożliwią przesyłanie magistralą informacji do urządzeń sterujących oświetleniem.

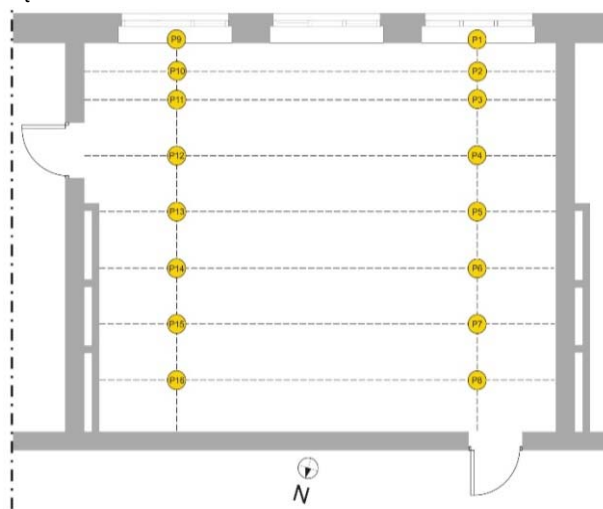
Badania zostały przeprowadzone w typowym obiekcie edukacyjnym jakim jest Zespół Szkół nr 1 w Swarzędzu k/Poznań. W pomieszczeniach wykładowych, jedną ze ścian w około 80% stanowi stolarka okienna. Na wykresie parametr x wyrażony w [m] stanowi odległość od okna w kierunku przeciwległej ściany. Zauważamy, że niektóre charakterystyki przebiegają powyżej wymaganej wartości 500 lx. Oznacza to, że w tych głębokościach pomieszczenia, natężenie światła jest wystarczające i nie ma potrzeby używania oświetlenia sztucznego. Dla innych przebiegów widać konieczność załączenia oświetlenia w części pomieszczenia lub w całym pomieszczeniu.

Pomiary, na podstawie których powstały przedstawione rozkłady natężenia światła, były wykonane ręcznie za pomocą luksomierza. Analiza zebranych pozostałych wyników pomiarów ujawniła szereg błędów wynikających z nierównomiernego operowania czujnikiem natężenia światła, będącym integralną częścią urządzenia pomiarowego. Niedoskonałość tej metody pomiaru polegała także na długim czasie pomiaru, który od momentu

rejestracji wartości natężenia światła w punkcie P1 różnił się znacznie w czasie z pomiarem dokonany np. w punkcie P16. Błędy pomiaru powstawały szczególnie podczas pomiarów w dni o umiarkowanym zachmurzeniu. W takich warunkach zmienność natężenia światła była bardzo duża i często pomiary w poszczególnych punktach pomieszczenia były robione przy odmiennych warunkach naświetlenia, co wypaczało w znaczącym stopniu wyniki pomiarów. Jedynym sposobem na eliminację takich błędów było opracowanie metody pomiarów, która pozwoliłaby na uzyskanie wartości natężenia światła z 16 punktów pomiarowych, w tym samym czasie. Odpowiedzią na tak postawione kryteria jest macierz pomiarowa oparta na fotorezystorowych czujnikach natężenia oświetlenia. Zasada jej działania została przedstawiona w dalszej części artykułu.

Rozkład natężenia oświetlenia w pomieszczeniu jest uzależniony od wielu czynników [2]. Do najbardziej istotnych zaliczamy: położenie budynku oraz pomieszczeń względem stron świata, bezpośrednie otoczenie budynku, które może wpłynąć na zacienienie pomieszczenia. Istotne znaczenie ma także wielkość i rodzaj otworów okiennych, elementy wyposażenia wnętrza pomieszczenia. Wszystkie te czynniki, mają wpływ na rozkład natężenia oświetlenia w pomieszczeniach. Z tego względu rozkłady natężenia światła nie mogą być uniwersalne dla wszystkich pomieszczeń. Istnieje zatem konieczność badania każdego pomieszczenia, w którym ma zostać zaimplementowany system sterowania. Pomiary wykonywane ręcznie byłyby bardzo czasochłonne i w znacznym stopniu opatrzone błędami. Dlatego też macierz pomiarowa została zaprojektowana jako urządzenie mobilne, łatwo przenośne.

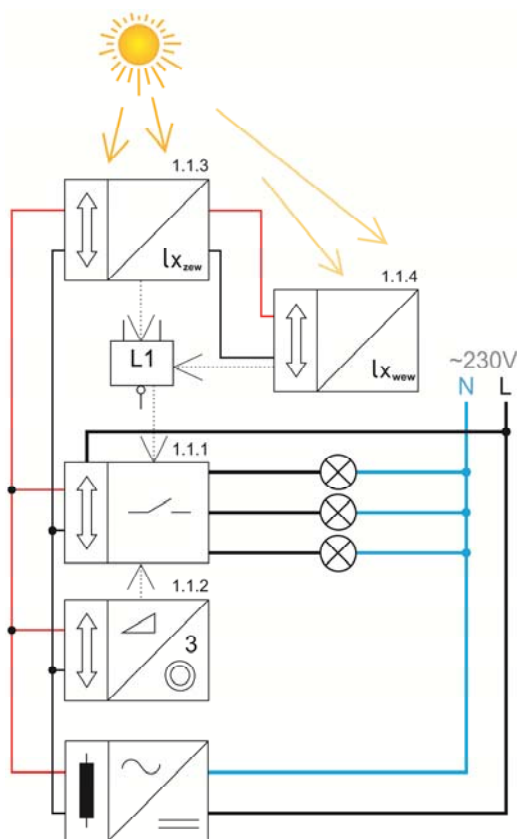
Stojaki z czujnikami natężenia oświetlenia zaprojektowano i wykonano z delikatnych, trwałych i stabilnych rurek aluminiowych. Połączenie pomiędzy czujnikami natężenia oświetlenia a centralnym modulem rejestrującym macierzy, zdecydowano się zrealizować za pomocą złącza RJ-45, które zapewni szybkie połączenie wszystkich czujników z jednostką centralną, rejestrującą macierzy. Połączenia przewodowe czujników z modulem centralnym wykonano przewodem UTP kat5, umieszczając go wewnątrz rurki stojaka, co zapewnia trwałość oraz wysoką jakość połączenia. Takie rozwiązanie eliminuje także ewentualne problemy z przewodami w transporcie, a także w miejscu pomiarów. Na rysunku 2 przedstawiono miejsca pomiarowe, w których dokonywano pomiarów luksomierzem. W tych punktach będą usytuowane czujniki natężenia oświetlenia.



Rys.2. Punkty pomiarowe – umiejscowienie czujników natężenia oświetlenia

Ogólna charakterystyka systemu KNX

Standard KNX został opracowany w latach 90-tych ubiegłego wieku i wprowadził możliwość cyfrowego sterowania instalacją elektryczną. Podstawowa różnica w porównaniu z klasyczną instalacją elektryczną polega na zastosowaniu specjalnego przewodu magistralnego, który służy do zasilania elementów systemu KNX oraz przesyłania informacji cyfrowych w postaci telegramów do urządzeń KNX. Urządzenia działające w systemie KNX można podzielić na systemowe, aktory i sensory. Do urządzeń systemowych będziemy zaliczali takie elementy jak zasilacze czy sprzęgła liniowe. Aktory natomiast stanowią część wykonawczą systemu KNX i zalicza się do nich takie urządzenia jak wyrobniki załączające, ściemniające, bramki binarne. W topologii systemu KNX możemy wyróżnić linie i obszary. Taka struktura zapewnia dużą przejrzystość sieci i pozwala na stworzenie układu hierarchicznego elementów systemu. Każde z urządzeń zainstalowanych w systemie ma swój indywidualny adres fizyczny, który pozwala na identyfikację w strukturze systemu KNX. Większość urządzeń jest oprogramowywana, co umożliwia odpowiednią parametryzację i wgranie oprogramowania zarządzającego elementami. Przykładowy schemat połączeń sterowania oświetleniem w systemie KNX został przedstawiony na rysunku 3. Schemat przedstawia układ umożliwiający sterowanie trzema rzędami opraw oświetleniowych. Zawiera elementy systemowe, wykonawcze oraz sensory KNX.



Rys.3. Poglądowy schemat połączeń sterowania 3 rzędów oświetleniowych w systemie KNX

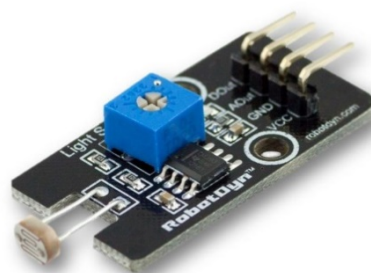
Zasilacz jako urządzenie systemowe jest elementem zasilającym wszystkie urządzenia KNX i nie wymaga oprogramowania. Aktor ściemniający 1.1.1 umożliwia załączanie i wyłączanie oraz rozjaśnianie i ściemnianie 3 rzędów oświetleniowych. Regulacja natężenia oświetlenia

odbywa się niezależnie dla każdego rzędu w sposób płynny. Informacje o wielkości natężenia światła zewnętrznego i wewnętrznego, znajdującego się w pomieszczeniu jest przekazywana niezależnie z czujników 1.1.3 lx_{zew} oraz 1.1.4 lx_{wew} . Informacja o wielkości natężenia jest przetwarzana w jednostce logicznej L1, która ma zdefiniowane przez użytkownika kryteria sterowania podłączonymi obwodami oświetleniowymi. Sensor 1.1.2 umożliwia załączenie, wyłączenie oraz ściemnianie i rozjaśnianie poszczególnych rzędów oświetlenia niezależnie od sterowania przez czujniki natężenia światła.

Matryca fotorezystorowa

Pomiar natężenia oświetlenia z pomocą matrycy fotorezystorowej oparty jest na koncepcji jednoczesnego pomiaru w 16 punktach pomieszczenia. Elementem dokonującym pomiaru natężenia oświetlenia jest czujnik natężenia wykorzystujący element fotorezystancyjny. Zastosowany czujnik natężenia oświetlenia przedstawia rysunek 4. Czujnik umieszczony jest na precyzyjnie zaprojektowanym i wykonanym stojaku, który zapewnia dużą stabilność. Czujnik jest połączony z centralą rejestrującą dane.

Urządzenie centralne matrycy pomiarowej pełni dwie funkcje. Przetwarza wartości sygnałów elektrycznych, pochodzących z 16 czujników natężenia światła, na wielkości wyrażone w luksach. Drugim zadaniem jest przekazanie wyników pomiaru do systemu komputerowego, który pozwala na rejestrację pomierzonych wartości oraz ich analizę. Centrala przekazuje dane do komputera za pomocą złącza USB. Dla ułatwienia pracy w górnej części obudowy umieszczono wyświetlacz LED, który może na bieżąco pokazywać wartości natężenia oświetlenia. W zależności od przyjętej funkcji, może wyświetlać wartość natężenia oświetlenia mierzoną przez dowolny czujnik lub w ustalonych sekwencjach czasowych wyświetlać natężenie oświetlenia mierzone przez kolejne czujniki. Schemat blokowy układu do pomiaru natężenia oświetlenia za pomocą matrycy fotorezystorowej przedstawia rysunek 5.

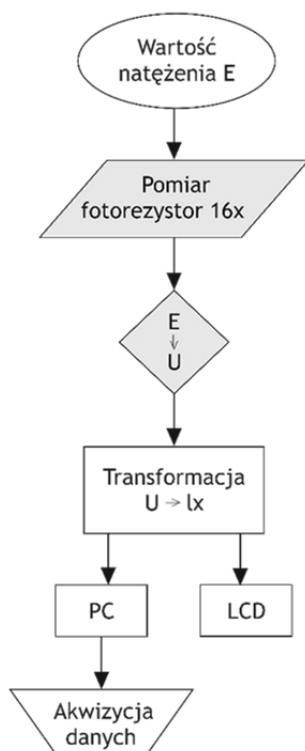


Rys.4. Czujnik natężenia oświetlenia stanowiący jeden z 16 elementów pomiarowych

Koncepcja pomiarów, akwizycja danych

Pomiary natężenia oświetlenia wykonywane za pomocą matrycy fotorezystorowej realizowane są metodą cyfrową i są skomputeryzowane. Program obsługujący czujniki natężenia rejestruje chwilowe wartości natężenia światła jednocześnie dla wszystkich 16 czujników. Próbkowanie pomiaru może być realizowane z krokiem jednosekundowym. Dane przekazywane z czujników natężenia oświetlenia w postaci wartości napięcia są przetwarzane na informację podawaną w luksach. Chwilowe wyniki mogą być wyświetlane za pomocą wyświetlacza LCD umieszczonego w obudowie jednostki

centralnej matrycy. Przekazywane są także w czasie rzeczywistym do systemu komputerowego, który zapisuje otrzymane wartości natężenia światła z wszystkich 16 czujników.



Rys.5. Schemat blokowy matrycy pomiarowej

Kalibracja czujników natężenia oświetlenia

Na przestrzeni 18 miesięcy w badanym pomieszczeniu były dokonywane pomiary rozkładu natężenia oświetlenia. Ręczna metoda pomiarów z wykorzystaniem luksomierza okazała się niedoskonała ze względu na liczne błędy pomiarowe wynikające z manualnego operowania czujnikiem mierzącym natężenie oraz czasem pomiaru, który pomiędzy pierwszym a ostatnim punktem wynosił nawet kilka minut. Nowa metoda pomiaru z wykorzystaniem matrycy fotorezystorowej umożliwia pomiary w tej samej chwili we wszystkich 16 punktach, w których wcześniej mierzono natężenie oświetlenia za pomocą ręcznego luksomierza. Chcąc wykorzystać dane uzyskane na przestrzeni 18 miesięcy, postanowiono skalibrować czujniki fotorezystorowe matrycy z luksomierzem, którym były dokonywane wcześniejsze pomiary. Rozwiązanie takie zapewni możliwość kontynuacji badań, pomiarów z możliwością odniesienia się do dotychczasowych uzyskanych wyników oraz określenia wielkości błędów poprzednich pomiarów.

Podsumowanie

Przedstawiona koncepcja nowej metody pomiaru rozkładu natężenia światła w pomieszczeniach jest oparta na dokładnej analizie wyników otrzymanych przy pomiarze ręcznym luksomierzem. Zastosowany w matrycy nowy sposób pomiarów eliminuje wszystkie błędy występujące podczas wcześniejszych rejestracji danych. Oprócz zdecydowanej poprawy dokładności pomiarów, poprzez umieszczenie elementów pomiarowych na stabilnych stojakach, oferuje szybszy czas pomiaru wynikający z rejestracji natężenia światła jednocześnie we wszystkich 16 punktach pomiarowych. Jednoczesny pomiar w całej badanej powierzchni pomieszczenia, pozwala wyeliminować możliwość występowania zmiennych warunków natężenia światła zewnętrznego. Takie przypadki występują najczęściej przy pomiarach podczas dużego zachmurzenia. Dodatkowo pomiary wykonane za pomocą opracowanej matrycy są w pełni zautomatyzowane łącznie z procesem akwizycji danych. Kolejną, niewątpliwą zaletą tego sposobu pomiaru jest mobilność całego układu, co pozwala na wykonywanie pomiarów rozkładu natężenia światła w dowolnych pomieszczeniach, obiektach.

Artykuł jest finansowany z Dotacji na utrzymanie potencjału badawczego oraz na badania naukowe nr 04/41/DSPB/4345 pt.: „Rozwój zaawansowanych metod diagnostycznych i oceny stanu układu izolacyjnego transformatorów energetycznych”.

Autorzy: mgr inż. Sławomir Sowa, Politechnika Poznańska, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań E-mail: slawomir.b.sowa@doctorate.put.poznan.pl; dr hab. inż. Jarosław Gielniak, Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: jaroslaw.gielniak@put.poznan.pl;

LITERATURA

- [1] PN-EN 12464-1 :2012 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Miejsca pracy we wnętrzach
- [2] PN-EN 15193-1:2017-08 Efektywność energetyczna budynków – Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia
- [3] Sowa S., Kamińska A., Prognozowane zmniejszenie zużycia energii w budynku szkoły przez sterowanie oświetleniem w systemie KNX, *Przegląd Elektrotechniczny*, Nr 2 (2018), 193-197
- [4] Sowa S., Gielniak J., Algorytmy sterowania oświetleniem w budynku szkoły z wykorzystaniem systemu KNX, *ElectricalEngineering*, Nr 96 (2018), 78-81
- [5] Sowa S., Natężenie światła dziennego w budynku szkoły, *Informatyka, Automatyka I Pomiary w Gospodarce I Ochronie Środowiska*. Nr 3 (2017), 153- 62