

Sławomir SOWA*, Jarosław GIELNIAK*

ALGORYTMY STEROWANIA OŚWIETLENIEM W BUDYNKU SZKOŁY Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU KNX

W artykule omówiono sposoby sterowania oświetleniem z wykorzystaniem światła dziennego. Zaproponowano algorytmy sterowania oświetleniem dla budynku Zespołu Szkół nr 1 w Swarzędzu i zaimplementowano je w systemie KNX. Przedstawiono i opisano topologię systemu sterowania oświetleniem oraz najważniejsze aspekty implementacji systemu KNX w obiekcie szkoły. Zaprezentowano także wyniki badań rozkładu natężenia światła dziennego w dwóch różnych salach lekcyjnych wraz z ich analizą. Publikacja zawiera opis podstawowych algorytmów sterowania oświetleniem wykorzystującym elementy automatyki systemu KNX. Przedstawiono wytyczne, które mogą być pomocne przy podejmowaniu decyzji o zastosowaniu sterowania oświetleniem z uwzględnieniem światła dziennego w obiektach o podobnym sposobie użytkowania.

SŁOWA KLUCZOWE: sterowanie oświetleniem, KNX, automatyka budynkowa, rozkład natężenia oświetlenia, algorytmy sterowania oświetleniem.

1. WSTĘP

1.1. Wprowadzenie do zagadnienia sterowania oświetleniem

W nowoczesnych budynkach, w tym użyteczności publicznej, coraz częściej stosowane są zaawansowane systemy sterowania oświetleniem. Światło jest bardzo ważnym czynnikiem, które wpływa na nasze samopoczucie oraz zdrowie. Zapewnienie właściwego natężenia oświetlenia wpływa na odpowiedni komfort pracy, sprawia, że pracę wykonujemy szybciej i popełniamy mniej błędów, a także mamy do czynienia z mniejszą liczbą wypadków. Oświetlenie jest więc elementem mającym również wpływ na bezpieczeństwo wykonywanych czynności. Zagadnienie dotyczące zapewnienia odpowiedniego oświetlenia ma swoje odzwierciedlenie w przepisach prawnych i normach [1, 2, 3], które określają wielkość natężenia oświetlenia w różnych obiektach i pomieszczeniach, w zależności od sposobu użytkowania i pełnionej funkcji. Odpowiednie sterowanie oświetleniem przynosi także wymierne oszczędności w zużyciu energii

* Politechnika Poznańska

elektrycznej i ma znaczący wpływ na poprawę efektywności energetycznej obiektów [5]. Poprawa efektywności energetycznej budynków jest istotnym zagadnieniem, które ma swoje usankcjonowanie m.in. w dyrektywie Unii Europejskiej [1]. Dlatego też tematyka sterowania oświetleniem jest tak ważnym i aktualnym zagadnieniem dotyczącym nie tylko obiektów użyteczności publicznej, ale także prywatnych przedsiębiorstw czy domów lub mieszkań.

1.2. Uwarunkowania prawne dotyczące oświetlenia w obiektach

Jednym z najważniejszych dokumentów odnoszących się pośrednio do zagadnień związanych z oświetleniem jest dyrektywa Rady Europy z 2012 roku, która nakłada na państwa członkowskie obowiązek wprowadzenia działań zmierzających do ograniczenia zużycia energii końcowej. Drugim ważnym dokumentem dotyczącym bezpośrednio oświetlenia jest norma [2] PN-EN 12464-1:2012. Pojawiły się w niej nowe wymagania, dotyczące minimalnego natężenia oświetlenia na ścianach i sufitach oraz równomierności oświetlenia przypisanej do zadań i aktywności. Wprowadza ona także definicję „obszaru tła” i specyfikację oświetlenia dla tego obszaru. Norma definiuje także siatki natężeń oświetlenia. Z punktu widzenia energooszczędności i sterowania, bardzo ważnym dokumentem jest norma PN-EN 15193 [3]. Zmieniona, nowa wersja w 2017 roku zastąpiła poprzednią z 2010 roku. Wprowadza ona szereg uregulowań, wskaźników związanych z oświetleniem, dostępnością światła oraz energooszczędnością. Wyróżnia także instalacje sterowane manualnie oraz te sterowane za pomocą automatyki.

2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Przedmiotem przeprowadzonych badań było określenie rozkładu natężenia światła w salach lekcyjnych. Zakres badań obejmował pomiary tych rozkładów dla różnych wartości natężenia światła zewnętrznego. Badania prowadzone były w celu opracowania algorytmu sterowania oświetleniem, który ma w założeniach zapewnić wymagane natężenie oświetlenia na płaszczyźnie roboczej. Natężenie światła będzie mierzone przez dwa czujniki umieszczone wewnątrz pomieszczenia. Czujnik natężenia światła umieszczony 0,5 m od okien będzie informował system o wartości natężenia światła dziennego. Korzystając z przeprowadzonych pomiarów ustalono wartości progowe natężenia światła w odległości 0,5 m od okna, dla których będzie realizowane załączenie i wyłączenie odpowiednio I, II i III rzędu oświetlenia. Czujnik umieszczony w głębi pomieszczenia będzie wykorzystywany w celu weryfikacji i zmian nastaw modułu sterowania, które mogą okazać się konieczne w wypadku, gdy rozkład natężenia oświetlenia w pomieszczeniu będzie różnił się od rozkładu na bazie którego

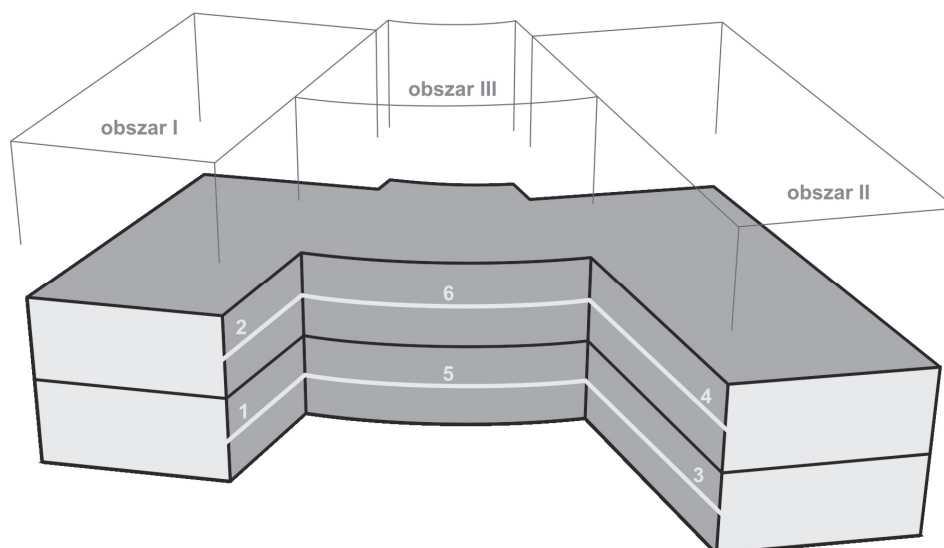
ustalono wartości progowe. Może się tak zdarzyć na przykład, na skutek zmian w aranżacji pomieszczenia. Jego rola będzie nadrzędna w stosunku do czujnika umieszczonego w pobliżu okien.

3. UKŁAD STEROWANIA

3.1. Topologia sterowania oświetleniem w systemie KNX dla budynku szkoły

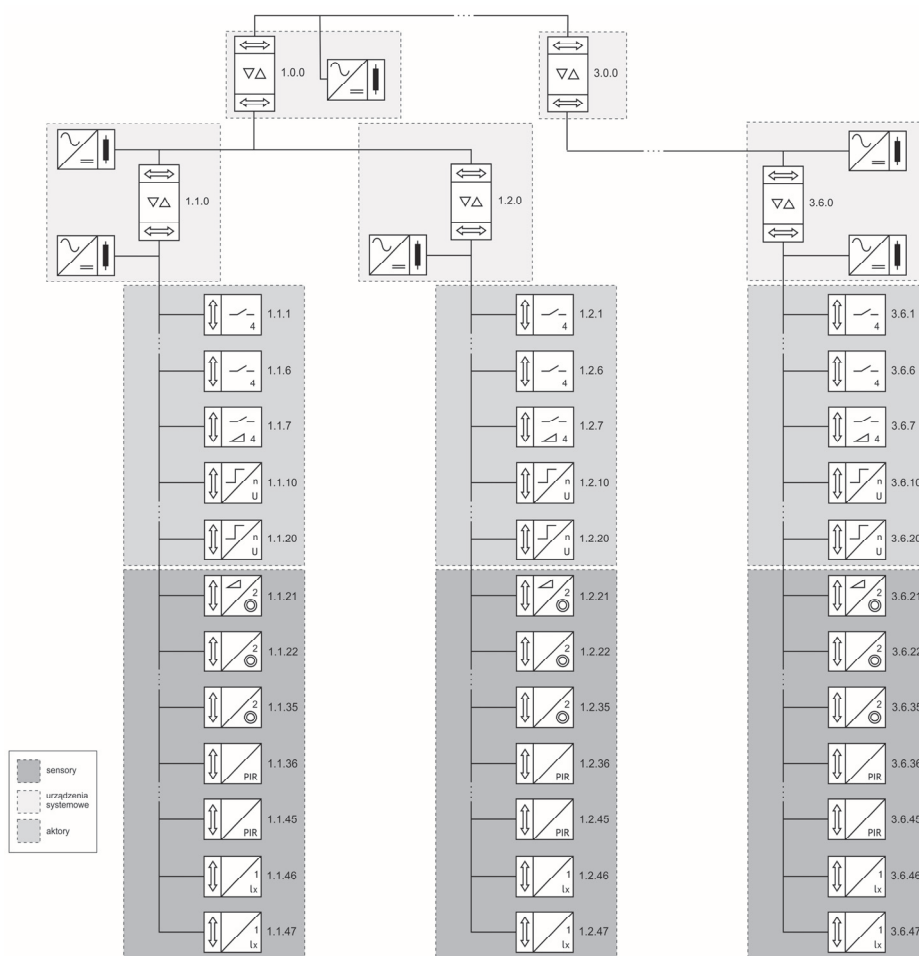
System KNX posiada strukturę rozproszoną. Każdy z elementów systemu jest połączony ze sobą specjalnym przewodem magistralnym, który zapewnia zasilanie urządzeń oraz przesyłanie informacji między nimi. Podstawową częścią architektury KNX jest linia, do której możemy przyłączyć maksymalnie 256 urządzeń końcowych. Linie tworzą obszary (area), które mogą zawierać do 15 linii. Taki podział systemu porządkuje strukturę, ułatwia konfigurację i zarządzanie systemem, zwłaszcza w rozbudowanych układach.

Rysunek 1 przedstawia topologię systemu KNX dla Zespołu Szkół nr 1 w Swarzędzu, który składa się z trzech segmentów 2-kondygnacyjnych. Na rysunku przedstawiono linie obszarowe 1-6 oraz obszary I, II i III. Każdy z trzech segmentów szkoły posiada nieco odmienną funkcję użytkowania. Bliźniacze skrzydła A i B mieszczą sale wykładowe, w skrzydle B przeważają pracownie i laboratoria techniczne. W łączniku zlokalizowana jest aula, duży hol wejściowy oraz pomieszczenia administracyjne. Odmienność funkcjonalna tych segmentów uzasadnia celowość rozdzielania instalacji sterującej na 3 obszary.



Rys. 1. Topologia systemu KNX dla Zespołu Szkół nr 1 w Swarzędzu

Z przedstawionej na rysunku 1 struktury obiektu wynika schemat funkcyjny sterowania oświetleniem (rys. 2).



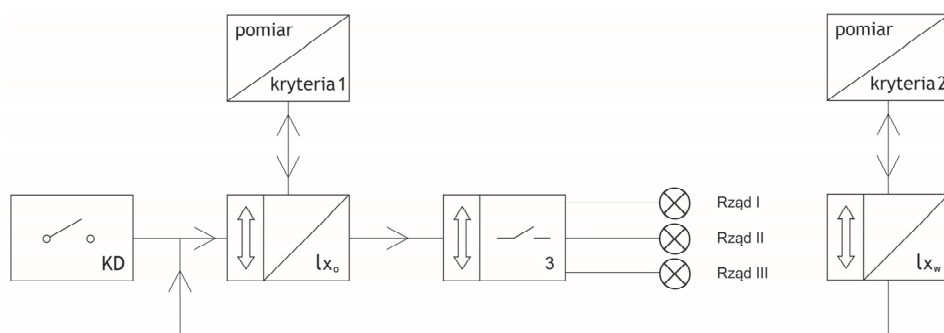
Rys. 2. Schemat funkcyjny sterowania oświetleniem w systemie KNX dla ZS1 w Swarzędzu

3.2. Zaproponowany układ sterowania oświetleniem

Istnieje obecnie wiele systemów sterowania oświetleniem. Sterowanie ma znaczący wpływ na energooszczędność instalacji oświetleniowych. Implementując odpowiednie systemy sterowania możemy np. wykorzystać światło dzienne, ograniczając przy tym zużycie energii elektrycznej [4]. Najbardziej popularnym sposobem sterowania oświetleniem jest sterowanie typu załącz/wyłącz. Istotne jest określenie, kiedy oświetlenie musi zostać włączone, a kiedy możemy je

wyłączyć. Pierwszy warunek związany jest z obecnością użytkownika w pomieszczeniu. Podczas wykonywania badań w obiekcie szkoły, zaobserwowano, że wykładowcy nie zwracają uwagi na światło dzienne i często oświetlenie załączone na początku dnia zostaje włączone przez cały czas, pomimo wystarczającego natężenia światła dziennego. W zdecydowanej większości przypadków, oświetlenie w salach lekcyjnych nie jest wyłączane na czas przerw, pomimo braku obecności użytkowników w pomieszczeniu. Przeprowadzone szacowania wykazują, iż zastosowanie odpowiedniego sterowania może wprowadzić znaczące oszczędności zużycia energii [5]. W artykule zaproponowano realizację sterowania za pomocą systemu KNX. Jest to popularny światowy standard systemu automatyki budynkowej, którego cechuje struktura rozproszona. Wszystkie elementy systemu można łatwo sparаметryzować ustawiając programowo odpowiednie funkcje czy wartości. Szybki dostęp do zadanych parametrów, pełen monitoring działania, to tylko niektóre, niewątpliwe zalety systemu KNX, które zdecydowały o jego wyborze do proponowanego systemu sterowania. W zaproponowanym układzie zastosowano podstawowe, niezbędne do sterowania oświetleniem, elementy systemu KNX, tj. aktry załączające, sensory, czujniki natężenia światła, czujniki PIR. Realizację sterowania oświetleniem w sali lekcyjnej podczas obecności użytkownika, proponuje się rozwiązać poprzez kartę dostępu KD. Karta dostępową, którą będzie posiadał nauczyciel pozwoli na uruchomienie obwodów sterowania oświetleniem. Wyjęcie karty przy wyjściu z sali spowoduje wyłączenie zasilania obwodów oświetleniowych. W wypadku, w którym realizowane będzie sterowanie typu ściemnij/rozjaśnij to aktor załączający, zostanie zastąpiony aktorem załączająco-ściemniającym, pozostawiając cały pozostały układ bez zmian.

Zaproponowany w niniejszej pracy układ sterowania oświetleniem przedstawiono na schemacie blokowym (rys. 3). Układ ten składa się z dwóch czujników natężenia światła zainstalowanych odpowiednio w pobliżu okien (czujnik I_{xO}) oraz wewnątrz pomieszczenia (I_{xW}). Najkorzystniejsze usytuowanie czujnika I_{xW} będzie przedmiotem przyszłych badań i analiz. Najważniejszym elementem przedstawionego układu jest moduł decyzyjny oparty na kryterium zapewnienia wymaganego w normie [2] wartości natężenia oświetlenia, które dla opisywanego obiektu wynosi 500 lx.



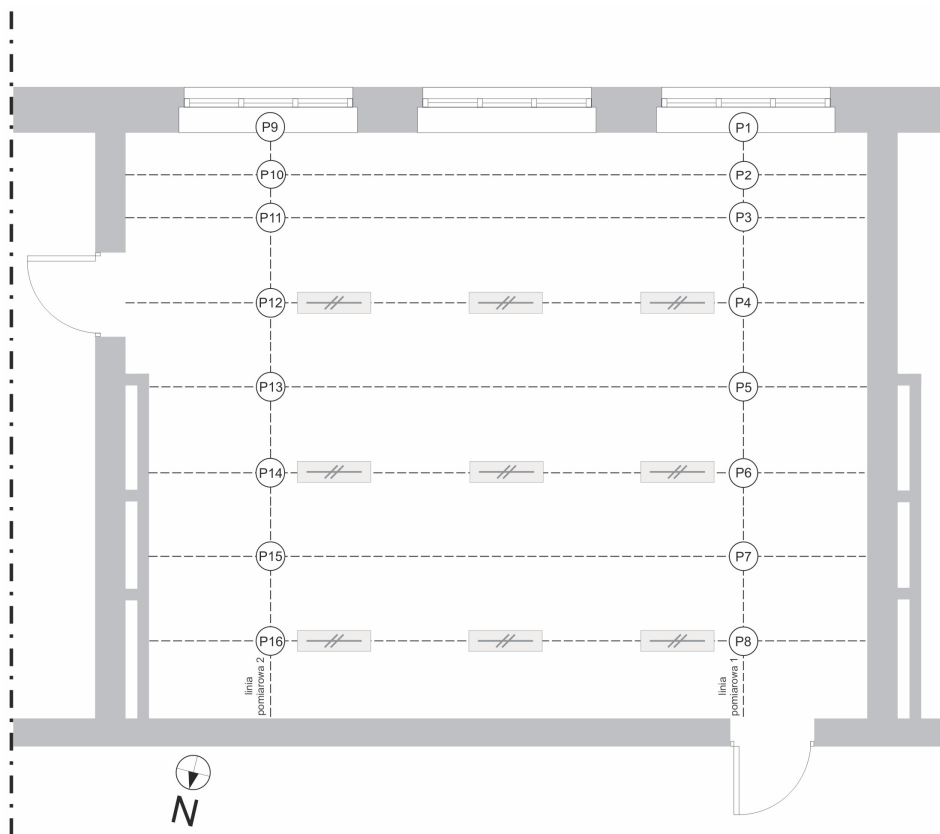
Rys. 3. Algorytm sterowania oświetleniem z wykorzystaniem systemu KNX

Zapewnienie wymaganej wartości natężenia oświetlenia wymaga znajomości rozkładu natężenia światła dziennego w pomieszczeniu. Analiza pomiarów przeprowadzonych wewnątrz pomieszczenia pozwoliła na ustalenie wartości natężenia światła, przy których będzie realizowane załączenie i wyłączenie poszczególnych rzędów oświetlenia. Punktem pomiarowym, do którego będzie się odnosić system sterowania będzie pierwszy punkt pomiaru zlokalizowany bezpośrednio przy oknie. Z tego też względu, czujnik natężenia światła umieszczony wewnątrz pomieszczenia w bezpośredniej bliskości okna, będzie rejestrował wartości natężenia, które będą porównywane z ustalonymi kryteriami, opisanymi w wynikach badań (pkt. 4).

4. WYNIKI BADAŃ

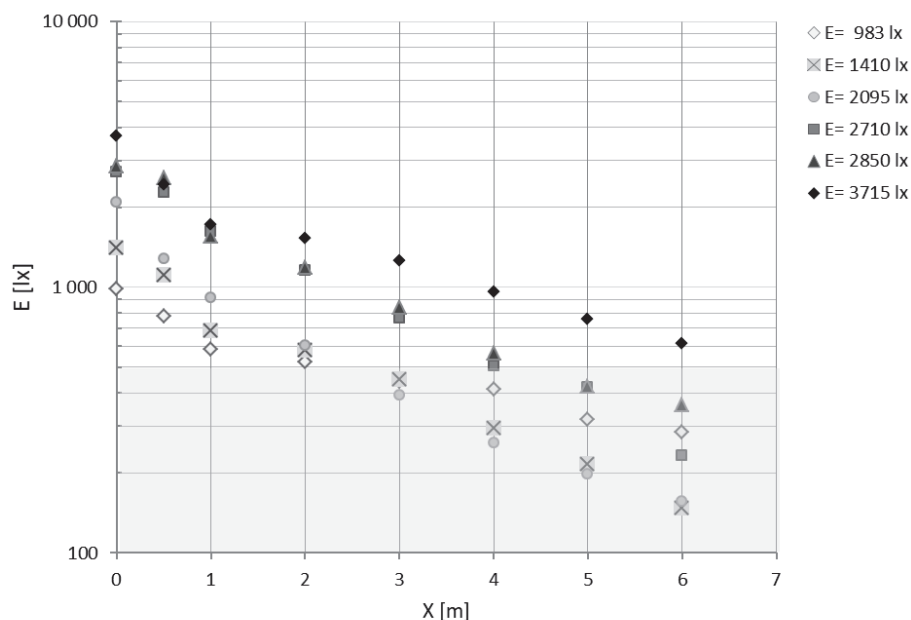
Badano wartości natężenia oświetlenia w pomieszczeniach wykładowych, w których powierzchnia okien stanowi około 80% powierzchni jednej ze ścian.

Pomiary wykonywano w określonych punktach, których lokalizację przedstawiono na rysunku 4. Punkty pomiarowe usytuowano na dwóch prostopadłych do otworów okiennych liniach. Odległości pomiędzy punktami pomiarowymi wynoszą 1 m, za wyjątkiem drugiego i trzeciego punktu pomiarowego, które są oddalone od poprzedniego o 0,5 m. Zagęszczenie punktów pomiarowych w pobliżu okien wynika z dużych zmian natężenia światła w tym obszarze. Wyniki przedstawione na rysunku 5, to wartości średnie natężenia światła, obliczone dla tych samych odległości od okna na podstawie pomiarów wykonanych w dwóch liniach przedstawionych na rysunku 4.



Rys. 4. Lokalizacja punktów pomiarowych oraz opraw oświetleniowych w pomieszczeniu

Oprawy oświetleniowe są zainstalowane w odległości 2, 4 i 6 m licząc od okna. Jak wnioskujemy z wykresu (rys. 5), dla natężenia światła wynoszącego, w odległości 0,5 m od okna, ok. 1000 lx (rozkład oznaczony znacznikami \diamond (w postaci jasnoszarych kwadratów) w całym pomieszczeniu nie ma wymaganego natężenia światła, więc wszystkie 3 rzędy oświetlenia muszą zostać włączone. Natomiast rozkład przedstawiony za pomocą znaczników \blacklozenge (w postaci czarnych kwadratów) dowodzi, że przy natężeniu światła (w odległości 0,5 m od okna) na poziomie ok. 3500 lx, zapewniona jest wymagana wartość natężenia światła do szóstego metra, a więc miejsca zainstalowania III-go rzędu opraw oświetleniowych.



Rys. 5. Rozkłady natężenia światła w sali dla różnych warunków oświetleniowych

Otrzymane wyniki pozwoliły ustalić kryterialne wartości natężenia światła rejestrowanego przez czujnik lx_0 , dla których w miejscach instalacji opraw świetlnych, natężenie światła jest wystarczające. Ustalono następujące przedziały natężenia światła dziennego, mierzonego wewnątrz pomieszczenia w pobliżu okna:

- do 1000 lx,
- od 1000 do 2300 lx,
- od 2300 do 3500 lx,
- powyżej 3500 lx.

Zdefiniowane w ten sposób przedziały wartości mogą być wykorzystywane przy ustawieniach parametrów, dla których po otrzymaniu informacji z czujnika natężenia światła lx_0 , ma zadziałać wyrobnik sterujący odpowiednimi rzędami oświetlenia.

Czujnik będzie zatem wysyłał informacje o konieczności załączenia lub wyłączenia poszczególnych obwodów oświetleniowych zgodnie z poniższymi relacjami:

- ⇒ $E_w \leq 1200 \text{ lx} \Rightarrow$ załączony I, II, III rząd opraw świetlnych,
- ⇒ $E_w \in 1200 - 2100 \text{ lx} \Rightarrow$ załączony II, III rząd opraw świetlnych,
- ⇒ $E_w \in 2100 - 3200 \text{ lx} \Rightarrow$ załączony III rząd opraw świetlnych,
- ⇒ $E_w \geq 3200 \text{ lx} \Rightarrow 0$, całe oświetlenie wyłączone.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W artykule zaproponowano koncepcję sterowania oświetleniem w sali lekcyjnej wykorzystując czujniki zainstalowane wewnątrz pomieszczenia. Takie podejście w odróżnieniu do koncepcji sterowania z czujnikami zewnętrznymi uniezależnia system od konieczności uwzględniania szeregu czynników mogących wpłynąć na wartość natężenia światła w pomieszczeniu (zabrudzenia szyb, czujnika zewnętrznego, czy chwilowe przesłonięcia zarówno czujnika jak i okien pomieszczenia itp.). Przedstawiony w pracy sposób sterowania jest realizowany z myślą o zastosowaniu w nowym obiekcie szkolnym powstającym przy Zespole Szkół nr 1 w Swarzędzu.

Aby umożliwić wykorzystanie jak najmniejszej liczby czujników w systemie, konieczna jest znajomość rozkładów natężenia oświetlenia w pomieszczeniach, w których ma być zaimplementowany.

Wykonano pomiary natężenia światła w pomieszczeniu, tworzące rozkłady natężenia światła dla całej szerokości pomieszczenia. Znając lokalizację opraw oświetleniowych zainstalowanych w pomieszczeniu, określono kryterialne wartości natężenia światła, mierzonego przez czujnik wewnętrzny zainstalowany w pobliżu okna. Na podstawie tych wartości będzie realizowane sterowanie poszczególnymi rzędami opraw oświetleniowych w taki sposób, aby zapewnić wymagane minimalne natężenie oświetlenia w całym pomieszczeniu. Takie podejście (niezależne sterowanie każdym rzędem opraw oświetleniowych) umożliwia z jednej strony równomierne oświetlenie pomieszczenia, z drugiej strony poprawia efektywność energetyczną instalacji oświetleniowych.

Kolejnym etapem prac badawczych będzie ustalenie najlepszego, właściwego miejsca instalacji czujnika natężenia zainstalowanego w pobliżu okna. Szczególną uwagę zamierza się zwrócić na opracowanie takiego montażu, który zapewni dokładny pomiar natężenia światła wewnętrznego oraz wyeliminuje wpływ sztucznego oświetlenia na mierzone wartości.

Jeśli rozkład natężenia światła będzie się różnił od rozkładów na bazie których powstały kryteria, niezbędne będzie wykorzystanie drugiego czujnika, który został ujęty w algorytmie sterowania. Jednakże kwestie związane z lokalizacją tego czujnika oraz kryteriami jego działania będą przedmiotem dalszych prac autorów.

Przedmiotem kolejnych prac będzie także opracowanie sterowania z wykorzystaniem systemu DALI, który pozwala na niezależną regulację mocy każdej oprawy oświetleniowej. Regulacja typu ściemnij/ rozjaśnij z użyciem tego systemu będzie umożliwiała doświetlenie wybranych miejsc pomieszczenia do wymaganej wartości natężenia oświetlenia oraz zapewni jeszcze większe oszczędności w zużyciu energii.

LITERATURA

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego I Rady Europy 2012/27/UE.
- [2] PN-EN 12464-1:2012 Światło i oświetlenie – Oświetlenie miejsc pracy – Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach.
- [3] PN-EN 15193:2017P Charakterystyka energetyczna budynków – Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia.
- [4] Sowa S., Natężenie światła w budynku szkoły - Informatyka Automatyka Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska, s. 78-81 nr 3/2017.
- [5] Sowa S., Kamińska A., „Prognozowane zmniejszenie zużycia energii w budynku szkoły przez sterowanie oświetleniem w systemie KNX”, s.193-197, Przegląd Elektrotechniczny nr 2/2018.

LIGHTING CONTROL ALGORITHMS IN A SCHOOL VENUE USING KNX SYSTEM

Ways of lighting control with the use of daylight were discussed in the following article. Particular lighting control algorithms, implemented in KNX system, were offered for a school venue in Zespół Szkół nr 1 in Swarzędz, Poland. Topology for lighting control and the most important aspects for KNX system implementation in a school venue were presented and described. The research results for daylight illuminance for two different classrooms with its analysis were given. This article contains the description of basic lighting control algorithms with the use of automation elements of KNX system. The results may become really useful when making decisions on a particular lighting, taking into consideration a daylight, in other educational or similar venues.

(Received: 16.02.2018, revised: 10.03.2018)