

NATEŻENIE ŚWIATŁA DZIENNEGO W BUDYNKU SZKOŁY

Sławomir Sowa

Zespół Szkół nr 1 w Swarzędzu

Streszczenie. Oświetlenie w budynkach musi zapewniać wymagania komfortu określone przez normę [1] przy minimalnym zużyciu energii elektrycznej [2]. Spełnienie wymagań tych norm jest możliwe przy wykorzystaniu światła dziennego i sterowania oświetleniem. Oświetlenie wnętrza budynku zależy od warunków klimatycznych, położenia budynku względem stron świata i jego otoczenia (zacienienia), konstrukcji budynku, wielkości i wyposażenia pomieszczeń. Wymienione czynniki powodują, że rozkład natężenia światła dziennego w pomieszczeniach jest bardzo różny. Należy przy tym podkreślić, że znajomość tego rozkładu umożliwia prawidłowy dobór algorytmów sterowania oświetleniem i ich parametrów. W pracy przedstawiono wyniki badań rozkładu natężenia światła dziennego w budynku Zespołu Szkół nr 1 w Swarzędzu. Jest to budynek dwukondygnacyjny, wolnostojący. Pomiary natężenia światła przeprowadzono w pomieszczeniach posiadających okna od strony północnej i południowej. Określono zależność natężenia światła wewnątrz pomieszczenia od natężenia światła zewnętrznego oraz od odległości punktu pomiaru od okna. Przedstawiono rozkłady natężenia światła oraz ich aproksymację. Szczególną uwagę zwrócono na bardzo dużą zmienność natężenia światła wewnątrz pomieszczenia zależną od chwilowego zachmurzenia. Zagadnienie to było przedmiotem badań, których wyniki przedstawiono między innymi w pracy [3], przy czym były one uzyskane w innych warunkach geograficznych. W podsumowaniu zawarto uwagi dotyczące możliwości sterowania oświetleniem przy wykorzystaniu światła dziennego, wynikające z przeprowadzonych badań.

Słowa kluczowe: światło dzienne w budynku, sterowanie oświetleniem, system KNX

THE INTENSITY OF DAYLIGHT IN SCHOOL BUILDING

Abstract. The lighting in buildings shall fulfil the comfort requirements with the minimal consumption of electric energy. Meeting of these requirements is possible by using the daylight and controlling the lighting. The interior lighting depends on climatic conditions, the geographical position of the building and its surroundings (shadows), construction of a building and the size and equipment of rooms. All above mentioned factors contribute to the fact that the distribution of daylight in rooms varies significantly. It should be mentioned that the knowledge of that distribution allows for the proper selection of lighting control algorithms and adjustment of their correct values. The work presents the light intensity research results, obtained at Zespół Szkół nr 1 Swarzędz. That detached school building has 2 floors. The lighting level was measured in the rooms which have windows directed towards the south and the north respectively. The measurements were focused on the level of light with reference to external (natural) light with relation to the distance from the window to the point of examination. The distributions of illumination intensity were presented, along with their approximation. Special attention was paid to the very big variation of light intensity in the room, related to the temporary clouds. The summary presents the guidelines for controlling the illumination by means of daylight, stemming from the conducted research.

Keywords: daylight in the building, lighting control, KNX system.

Wstęp

Zapewnienie odpowiedniej ilości światła w budynkach użyteczności publicznej ma istotny wpływ na jakość wykonywanej pracy. Zagwarantowanie minimalnych parametrów oświetlenia nie jest tylko podyktowane komfortem pracy, ale także usankcjonowane przepisami określającymi wymagania jakie powinny być spełnione przy oświetleniu pomieszczeń i miejsc pracy.

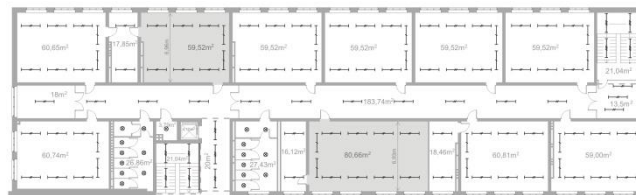
W artykule przedstawiono wyniki pomiarów natężenia światła w budynku Zespołu Szkół nr 1 w Swarzędzu/ k. Poznania. Badania zostały wykonane w istniejącym skrzydle placówki zarówno od strony północnej jak i południowej. Mają one na celu wykazanie oszczędności w zużyciu energii przy zastosowaniu sterowania oświetleniem oraz uzasadnienie racjonalności implementacji systemu sterowania w budowanej nowej części szkoły. W celu wykazania korzyści płynących z zastosowania sterowania oświetleniem przeprowadzono badania pomiaru natężenia oświetlenia zewnętrznego i jego wpływ na rozkład natężenia wewnątrz pomieszczeń. Zostały w tym celu wybrane dwie reprezentatywne sale dydaktyczne położone z dwóch różnych stron świata - północnej N i południowej S. Otrzymane wyniki badań poddano analizie, z której wnioski zostały przedstawione w niniejszym artykule. Wyniki prowadzonych badań zostaną także wykorzystane w opracowaniach, wykazujących konkretne, wyliczone wielkości oszczędności z źródła systemu automatycznego sterowania oświetleniem w całym budynku szkoły.

W pracy zwrócono szczególną uwagę na występowanie dużej zmienności natężenia światła wewnątrz pomieszczeń, wynikających z różnych warunków pogodowych, co za tym idzie trudności w opracowaniu prawidłowych algorytmów sterowania oświetleniem.

1. Charakterystyka badanego obiektu

Budynek Zespołu Szkół nr 1 mieści się w Swarzędzu i jest obiektem wolnostojącym, dwukondygnacyjnym, posiadającym 3 skrzydła ułożone w charakterystyczną literę U. Skrzydła A i B są położone równolegle względem siebie i posiadają ten sam układ pomieszczeń oraz korytarzy. Część obiektu łącząca dwa skrzydła przeznaczona jest na komunikację wejściową, pomieszczenia gospodarczo-administracyjne oraz aulę mieszczącą się na piętrze.

Obiekt szkoły nie posiada w swoim pobliżu przeskoki przestrzennych, tj. innych sąsiadujących budynków, drzew itp., które mogą wpływać na zmniejszenie lub zmienność docierającego światła do pomieszczeń. W najbliższym czasie rozpocznie się budowa 4 skrzydła budynku, w którym mieścić się będą przede wszystkim pracownie i laboratoria techniczne oraz sale wykładowe i konferencyjne. Pomieszczenia posiadają bardzo dobre naturalne naświetlenie poprzez aluminiową stolarkę okienną, która stanowi około 85% powierzchni jednej ze ścian. Część sal dydaktycznych posiada południową wystawę okienną, a inne posiadają okna od strony północnej. Części komunikacyjne, tj. korytarze, klatki schodowe, są praktycznie pozbawione dostępu światła dziennego. Pomiary natężenia oświetlenia były prowadzone w dwóch pomieszczeniach położonych zarówno od strony N jak i S. Układ pomieszczeń pierwszego piętra jednego ze skrzydeł szkoły, w których dokonywane były pomiary przedstawia rysunek 1.

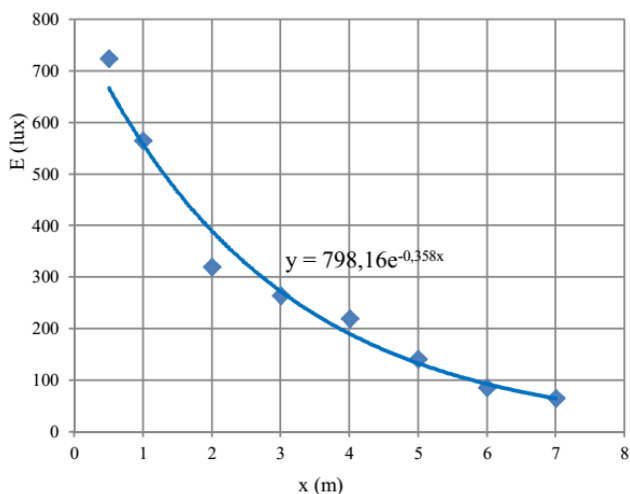


Rys. 1. Rzut I piętra skrzydła B w Zespole Szkół nr 1 w Swarzędzu

2. Pomiar natężenia światła dziennego i analiza

2.1. Rozkład natężenia światła wewnątrz pomieszczeń dydaktycznych

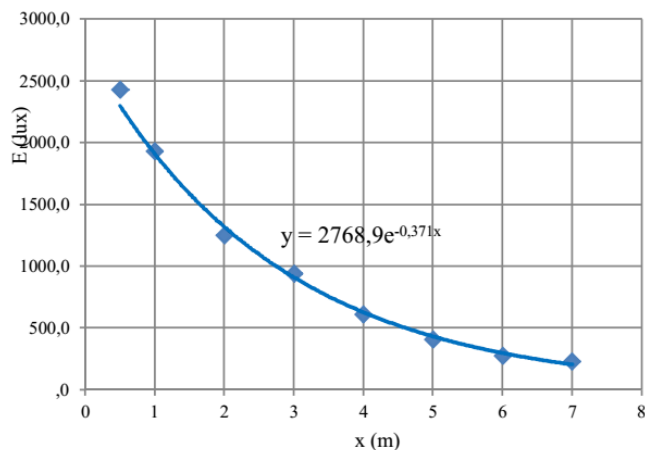
Badania natężenia oświetlenia zewnętrznego i jego wpływ na ilość światła wewnątrz pomieszczeń był przeprowadzony w dwóch salach w okresie kilku miesięcy, począwszy od stycznia 2016 r. i uwzględnia wszystkie pory roku oraz różne warunki pogodowe. W badanych pomieszczeniach wyznaczono 7 punktów pomiarowych położonych w równej odległości na całej głębokości pomieszczeń. Na podstawie wyników badań wyznaczono charakterystykę rozkładu natężenia światła w pomieszczeniach oraz jego aproksymację. Rozkłady natężenia oświetlenia dla różnych warunków pogodowych, otrzymane w dwóch salach położonych od strony N i S przedstawiono na rysunkach 2-4. Rozkłady te aproksymowano funkcją wykładniczą.



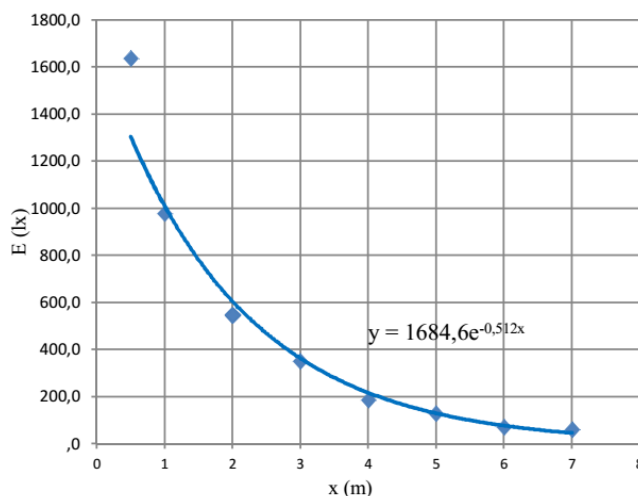
Rys. 2. Rozkład natężenia światła w pomieszczeniu od strony południowej dla dużego zachmurzenia

Pomiary natężenia oświetlenia jako jedyne w technice świetlnej nie wymagają stosowania wzorców. Dokonano ich luksomierzem Sonel LP-1 na płaszczyźnie roboczej. Badania natężenia światła zewnętrznego i jego wpływ na ilość światła wewnątrz pomieszczeń o różnym położeniu względem kierunków światła pozwoliły na dokonanie analizy rozkładu natężenia światła dla odmiennych położen pomieszczeń. Pomiary były prowadzone z częstotliwością co kilka dni, z zachowaniem zbliżonej godziny pomiarów. Szczególną uwagę zwrócono na to, aby pomiary, których wyniki przedstawiono na rysunkach 2-4 były wykonywane przy stabilnych warunkach naświetlenia zewnętrznego. W zmiennych warunkach pogodowych tj. zachmurzenie, nieuniknione są zmiany natężenia światła i stąd pojawiające się anomalie w wynikach pomiarowych. Na rysunku 2 są widoczne punkty, które odbiegają od linii aproksymacji.

Badania dotyczące zmienności natężenia światła stanowią odmienne zagadnienie i opisane zostały w rozdziale 2.2. Należy podkreślić, że podczas wykonywania pomiarów dołożono wszelkich starań, aby ich wyniki rzetelnie odzwierciedlały rzeczywiste parametry natężenia światła. W pobliżu miejsc dokonywania pomiarów usuwano wszelkie przedmioty, elementy (np. książki, skanery, itp.) mogące wpłynąć poprzez odbicie promieni świetlnych na wartości wielkości mierzonej.



Rys. 3. Rozkład natężenia światła w pomieszczeniu od strony południowej dla słonecznej, bezchmurnej pogody



Rys. 4. Rozkład natężenia światła w pomieszczeniu od strony północnej dla małego zachmurzenia

Badania wykonywano o tej samej porze dnia, co umożliwiło prześledzenie zmian ilości światła dochodzącego do pomieszczeń dla różnych położen słońca. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono pomiary natężenia oświetlenia w sali od strony południowej w różnych warunkach pogodowych. Rysunek 2 przedstawia rozkład natężenia światła w pomieszczeniu dla zachmurzenia dużego, co nie oznacza dużej zmienności natężenia światła. Natomiast rysunek 3 obrazuje wyniki pomiarów dokonane podczas słonecznej, bezchmurnej pogody. Z rysunków 2 i 3 wynika, że zmienność rozkładu natężenia światła w pomieszczeniu dla różnych warunków pogodowych jest praktycznie jednakowa. Wykładnik potęgi funkcji aproksymującej na rysunku 2 wynosi $-0,358$ a na rysunku 3 ma wartość $-0,37$. Rysunek 4 przedstawia charakterystykę natężenia światła w pomieszczeniu od strony północnej.

Porównując rozkłady natężenia światła pomierzonego w pomieszczeniu od strony południowej i od strony północnej, stwierdzono, że największe zmiany natężenia światła wewnątrz zachodzą w bezpośredniej bliskości okien (rysunki 2-4). Niewielkie oddalenie od okna powoduje znaczny spadek natężenia światła dochodzący nawet do 45% na odległości jednego punktu pomiarowego, czyli 1 m.

Oddalając się od okna natężenie oświetlenia szybko maleje, osiągając na odległości około 50% głębokości pomieszczenia wartość, która jest w przybliżeniu stała i nie ulega dalszej zmianie. Reasumując, oddalając się od okna następuje stabilizacja natężenia oświetlenia i zmiany jego wartości nie są już tak duże. W dalszej odległości od okna zmiany te wynoszą około 30% na odległości 1 m, a przy samym końcu jest to już tylko wartość 15%.

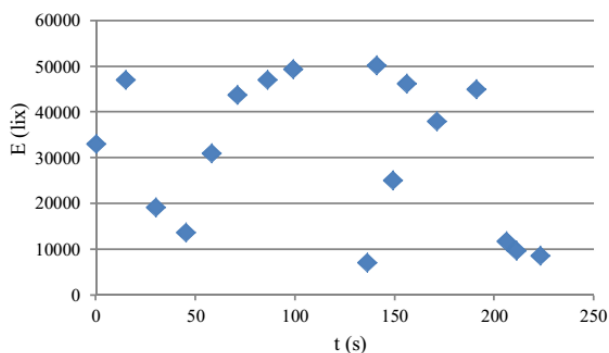
W opisywanej placówce oświatowej, w której wykonywano badania, wszystkie sale posiadają dwa rzędy oświetlenia liniowego (rys. 1). W takiej sytuacji implementacja sterowania oświetleniem z uwzględnieniem wielkości natężenia światła nie zapewni optymalnych warunków oświetlenia miejsca pracy. W rozdziale 3 niniejszego artykułu przedstawiony został algorytm sterowania oświetleniem oparty na systemie KNX, który uwzględnia sterowanie dwoma obwodami oświetlenia w każdym pomieszczeniu. Z przebiegu charakterystyki na rysunku 3 możemy wywnioskować, że warunki odpowiedniego natężenia światła wymagane normą [1] oraz przepisami [5], zostają spełnione tylko dla 1 m głębokości pomieszczenia. Do drugiego metra nie dociera już wystarczająco duża ilość światła potrzebna do prawidłowej pracy. Natomiast z rozkładu natężenia światła przedstawionego na rysunku 4 można wnioskować, że wymagane natężenie światła jest zapewnione dla odległości do 4m od okna. W obecnej chwili mamy możliwość sterowania dwoma rzędami opraw świetlnych. Oznacza to, że w sytuacji jak na rysunku 4 możemy załączyć jeden obwód oświetleniowy, który znajduje się dalej od okien. Pierwszy obwód znajdujący się przy oknach nie musi być w tej sytuacji załączony, gdyż ilość docierającego światła jest wystarczająca do zapewnienia optymalnych warunków pracy. Załączenie tylko drugiego rzędu opraw oświetleniowych może okazać się niewystarczające do oświetlenia środkowej części pomieszczenia. W celu zapewnienia właściwych warunków oświetlenia i sterowania nim, należałoby zastosować trzeci rząd lamp, które powinny być umieszczone na środku pomieszczenia, pomiędzy rzędem pierwszym a drugim. Trzy rzędy opraw zapewnią wówczas równomierne i wymagane natężenie oświetlenia w salach, w sytuacjach, w których sterownie załączy jedynie drugi obwód oświetlenia. Należy na ten aspekt zwrócić uwagę przy okazji planowania i projektowania oświetlenia w nowopowstającej części szkoły.

2.2. Zmienność natężenia w czasie

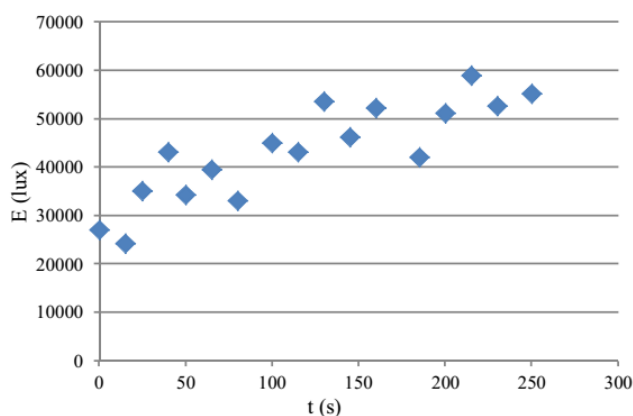
Natężenie oświetlenia zmienia się w zależności od warunków pogodowych a w szczególności od chwilowego zachmurzenia. Jest to zjawisko nieprzewidywalne zarówno co do chwili, w której występuje ani co do czasu jego trwania. Także okresowość jego występowania jest niemożliwa do przewidzenia. Jak wspomniano wyżej, budynek szkoły, w której przeprowadzone zostały badania nie jest otoczony żadnymi przeszkodami architektury zewnętrznej i krajobrazu, więc jedynie warunki pogodowe mają istotny wpływ na zmienność natężenia światła. Zjawisko zmienności natężenia światła jest bardzo ważne przy uwzględnianiu doboru algorytmów sterowania oświetleniem. Problem jest bardzo złożony, bo jak pokazują przeprowadzone badania ilość światła docierającego do pomieszczeń w niekorzystnych warunkach pogodowych potrafi się zmieniać na przestrzeni kilku, kilkunastu sekund od wartości 51000 lux do wartości 7100 lux. Tak duża zmiana w tak krótkim czasie powoduje, że wpływ zmienności natężenia światła ma istotny wpływ na sterowanie oświetleniem.

Rysunek 5 przedstawia wyniki pomiarów natężenia światła w pomieszczeniu od strony południowej podczas średniego zachmurzenia. Widoczna duża zmienność natężenia światła wynika z chwilowego zachmurzenia, podczas którego w ciągu 15 sekund wartość może się zmienić nawet z 45100 do 11800 lux. Kolejne pomiary zmienności natężenia światła, wykonano dla małego zachmurzenia. Wyniki przedstawia rysunek 6. W tym przypadku wartości natężenia nie zmieniają się już tak

gwałtownie. Amplituda nie przekracza 12000 lux, czyli jest mniejsza o 275% niż w przypadku dużego zachmurzenia.



Rys. 5. Zmienność natężenia światła w pomieszczeniu od strony południowej dla dużej zmienności zachmurzenia



Rys. 6. Zmienność natężenia światła w pomieszczeniu od strony północnej dla małej zmienności zachmurzenia

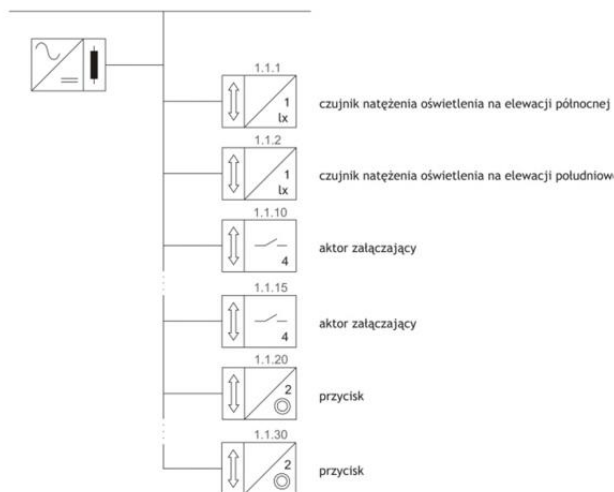
3. Algorytm sterowania

Przedstawiona w rozdziale 2 analiza rozkładu natężenia oświetlenia powinna być uwzględniona w algorytmach sterowania oświetleniem. Jednym ze systemów pozwalających na sterowanie oświetleniem jest system KNX. System ten poprzez urządzenia systemowe, aktry i sensory może realizować m.in. sterowanie oświetleniem poprzez załączanie lub wyłączenie w odpowiedniej chwili właściwych obwodów. Na rysunku 7 przedstawiono schemat funkcyjny systemu KNX, sterowania oświetleniem pierwszego piętra skrzydła B szkoły. Na schemacie podano adresy fizyczne poszczególnych urządzeń magistralnych. Adresy te pozwalają na określenie miejsca urządzenia w systemie KNX. Pierwsza cyfra oznacza nr obszaru, w którym jest zainstalowane urządzenie. Druga cyfra dotyczy nr linii, w której jest zainstalowany element, natomiast trzecia cyfra reprezentuje nr urządzenia w danej linii [5].

Informacja dotycząca załączania lub wyłączenia odpowiednich obwodów będzie realizowana na podstawie informacji z czujników natężenia oświetlenia, które będą umieszczone na elewacji północnej i południowej budynku szkoły.

Dla każdej sali dydaktycznej przewidziano 2 kanały sterujące w aktorze. Dla rozkładu natężenia światła przedstawionego na rysunku 2, stosując system sterowania KNX, aktor załączy całe oświetlenie w pomieszczeniu, gdyż tylko w odległości do 1 m od okna w pomieszczeniu jest wystarczająca ilość światła. Natomiast gdy natężenie oświetlenia w sali będzie takie jak na rysunku 3, to wówczas sterowanie załączy jedynie obwód drugi, ponieważ do ok. 50% głębokości pomieszczenia ilość docierającego światła jest wystarczająca. Dla zapewnienia większej efektywności sterowania oświetleniem, można zastosować aktry ściemniające. Wówczas sterowanie oświetleniem sztucznym będzie jeszcze wydajniejsze

i zapewni znacznie wyższy komfort pracy oraz przyniesie dodatkowe korzyści związane z mniejszym zużyciem energii elektrycznej. Rozwiązanie to można z powodzeniem zastosować w nowej części szkoły, gdyż uruchomienie tego typu sterowania w istniejącej części wiązałoby się nie tylko z kosztami urządzeń magistralnych KNX, ale także z wymianą opraw oświetleniowych, które umożliwiłyby realizację funkcji ściemniania.



Rys. 7. Topologia instalacji KNX

4. Podsumowanie i wnioski

Zagadnienia dotyczące natężenia światła dziennego, jego rozkładu w pomieszczeniach i zmienności są bardzo złożone. W przypadku badań związanych z rozkładem natężenia światła otrzymane wyniki mogą posłużyć do projektowania punktów oświetleniowych zapewniających właściwe oświetlenie pomieszczeń, miejsc pracy. Wiedza uzyskana z pomiarów pozwala nie tylko na odpowiedni dobór algorytmów sterowania oświetleniem w salach dydaktycznych, ale umożliwia określenie czasu w jakim ilość światła zewnętrznego jest wystarczająca do zapewnienia właściwych warunków pracy. Dalsze obliczenia wykazujące ograniczenie konieczności używania oświetlenia sztucznego są w stanie w racjonalny sposób wykazać konkretne oszczędności w zużyciu energii.

Bardziej skomplikowana jest sytuacja, gdy pod uwagę weźmiemy zmienność natężenia oświetlenia. Duże zmiany wartości natężenia światła, ich nieprzewidywalność i czas trwania, sprawiają, że opracowanie algorytmów sterowania oświetleniem

nie jest takie proste. Opracowanie algorytmów sterowania oświetleniem w warunkach dużej zmienności natężenia oświetlenia staje się dużym wyzwaniem. Zastosowanie układów zachowujących czas zwłoki dla danego stanu oświetlenia nie przynosi pożądanych efektów. W rezultacie może się okazać, że częstotliwość załączania i wyłączania oświetlenia czy grup oświetleniowych, będzie wiązała się dla użytkownika z dużym dyskomfortem.

Złożoność problematyki związanej z natężeniem oświetlenia, jego rozkładem w pomieszczeniach i zmiennością będzie przedmiotem dalszych badań, analiz i symulacji przeprowadzonych w Laboratorium Systemu KNX i Oceny Efektywności Energetycznej Instalacji, Politechniki Poznańskiej, w celu opracowania algorytmów sterowania oświetleniem w sposób zapewniający właściwe oświetlenie pomieszczeń. Wyniki badań posłużą do opracowania algorytmów, które będzie można wykorzystywać w różnego rodzaju pomieszczeniach, zależnie od ich specyfiki i funkcji.

Literatura

- [1] PN-EN 12464-1 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Miejsca pracy we wnętrzach.
- [2] PN-EN 15193:2010P Charakterystyka energetyczna budynków – Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia.
- [3] Hashemi A.: Daylighting and solar shading performances of an innovative automated reflective louver system. Energy and Buildings 82/2014, 607–620.
- [4] Kodeks pracy art. 207 § 2 ustawy z dnia 26 czerwca 1974 r. (tekst jedn.: Dz. U. z 1998 r. Nr 21, poz. 94 z późn. zm.).
- [5] Kamińska A., Muszyński L.: Kodeks pracy art. 207 § 2 ustawy z dnia 26 czerwca 1974 r. (tekst jedn.: Dz. U. z 1998 r. Nr 21, poz. 94 z późn. zm.).

Mgr inż. Sławomir Sowa
e-mail: slawomir@sowa.poznan.pl



Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej na kierunku Elektrotechnika. W swojej pracy zawodowej łączy doświadczenie i wiedzę z zakresu informatyki i elektrotechniki. W 2008 roku ukończył studia podyplomowe na Uniwersytecie Jagiellońskim na wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej. Od 2015 r. prowadzi badania naukowe związane z realizacją przewodu doktorskiego i opracowaniem rozprawy doktorskiej na Wydziale Elektrycznym, w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej. Egzaminator ECDL Core i Advanced. Audytor wewnętrzny ISO. Wykładowca przedmiotów z zakresu Urządzeń i Systemów Energetyki Odnawialnej.

otrzymano/received: 15.06.2016

przyjęto do druku/accepted: 14.08.2017