

Efektywność energetyczna sterowania oświetleniem wewnątrz

Mirosław Dechnik, Karina Grzywocz

Wstęp

Człowiek dysponuje pięcioma zmysłami, lecz ponad 80% informacji o otoczeniu zdobywa za pośrednictwem wzroku. Zmysł ten umożliwia odbieranie bodźców, wywołanych przez światło widzialne – wąski zakres widma promieniowania elektromagnetycznego ograniczony długością fal około 430–690 nm [1, 2].

Światło w życiu człowieka

Światło naturalne (dienne) wytwarzane przez Słońce towarzyszy człowiekowi od wieków, tworząc środowisko, w którym żyjemy. Jest niezwykle ważne dla ludzkiego zdrowia i samopoczucia. Oddziałuje na nastrój, emocje i pobudzenie umysłowe, podtrzymuje i reguluje rytmy dobowe, a także wpływa na stan fizjologiczny i psychiczny człowieka [3, 4]. Od nieco ponad 100 lat próbuje się uzupełniać jego niedobór lub brak, za pomocą sztucznego oświetlenia elektrycznego. Przez ten czas, wraz z rozwojem techniki świetlnej, opracowano metodykę wykorzystywania oświetlenia sztucznego w celu poprawy warunków widzenia podczas wykonywania zadań wzrokowych oraz kształtowania otoczenia świetlnego, dla uzyskania wysokiego komfortu pracy lub wypoczynku. Ponadto dysponujemy coraz większą wiedzą na temat wpływu światła na psychikę i regulację procesów biologicznych zachodzących w organizmie człowieka. Rolę światła w życiu człowieka można określić poprzez realizację [4, 5, 6]:


- funkcji oświetlania – światło umożliwia postrzeganie otoczenia poprzez rozróżnianie jego szczegółów, stopnia jasności i barw oraz rozpoznawanie ruchu, a także wpływa na psychikę człowieka;
- efektu biologicznego niewzrokowego – światło oddziałuje na procesy biologiczne zachodzące w ciele człowieka, takie jak: gospodarka hormonalna, metabolizm i krążenie krwi, synchronizuje zegar biologiczny, nadając funkcjonowaniu człowieka rytm okołodobowy.

Elektryczne oświetlenie wewnątrz

Obecnie ludzie spędzają większość czasu w budynkach. Stawiają one bezpośrednie otoczenie współczesnego człowieka, dlatego też jedną z podstawowych funkcjonalności, którą powinny realizować, jest wytworzenie komfortowych warunków wykonywania czynności wzrokowych. Odpowiedzialne za ich wykonywanie są instalacje oświetleniowe wchodzące w skład instalacji elektrycznej budynku. Za emisję światła odpowiadają oprawy oświetleniowe, składające się ze źródła światła wraz z układem

Streszczenie: Budynki zużywają 30–40% światowej produkcji energii, z czego znacząca część jest konsumowana na cele oświetleniowe. W artykule przedstawiono zaawansowane funkcje automatycznego sterowania oświetleniem, mające na celu maksymalizację jego efektywności energetycznej. Zaprezentowano także możliwe do uzyskania oszczędności energii, przy zastosowaniu różnych metod sterowania oświetleniem.

Słowa kluczowe: instalacja elektryczna, oświetlenie, sterowanie, efektywność energetyczna, inteligentny budynek, Smart Building

 **Abstract:** Buildings consume 30–40% of the world's energy production and a significant part is consumed by lighting. The article presents advanced automatic lighting control functions maximizing energy efficiency. The impact of different lighting control methods on energy savings was also presented.

Keywords: electrical installation, lighting, control, energy efficiency, intelligent building, Smart Building

zasilającym, układu optycznego kształtującego wiązkę światła oraz obudowy, fizycznie zespalającej elementy składowe oprawy. Emitują one promieniowanie świetlne z zakresu interpretowanego przez człowieka jako światło białe – o wyglądzie barwy od żółtobiałej (cieplej) do niebieskobiałej (zimnej). Wyjątkiem są specyficzne zastosowania np. w oświetleniu dekoracyjnym, gdzie wykorzystuje się światło kolorowe [4, 7].

Projektowanie oświetlenia jest twórczym procesem przebiegającym wieloetapowo. Projektant powinien uwzględnić kwestie elektryczne, ergonomiczne oraz architektoniczne. Pierwszym etapem pracy jest faza planowania, kiedy to określa się potrzeby i oczekiwania użytkowników, istniejące ograniczenia, a także wyznacza główne cele projektowe. Następnie, na tej podstawie, z uwzględnieniem obowiązujących przepisów i norm, formułowane są wymagania projektowe. W kolejnym, trzecim etapie, tworzona jest koncepcja oświetlenia. Bazując na zebranych informacjach, wiedzy i doświadczeniu projektant określa oczekiwany efekt oświetleniowy i przyjmuje ogólne wytyczne prowadzące do jego uzyskania. W tym celu określa rodzaj i klasę oświetlenia, typy opraw oświetleniowych i rodzaje

źródeł światła, sposób ich rozmieszczenia, a także możliwość sterowania oświetleniem i wykorzystanie światła dziennego. Następnym etapem jest realizacja wypracowanej koncepcji oświetlenia, polegająca na wielowariantowym rozpatrzeniu rozmieszczenia konkretnych typów opraw oświetleniowych. Czynności te wykonuje się obecnie praktycznie wyłącznie z wykorzystaniem metod komputerowego wspomaganie projektowania. Ostatnim, piątym etapem jest zestawienie wyników projektowania, będące jego swoistym podsumowaniem, w którym szczegółowo określa się optymalne rozwiązanie lub warianty rozwiązań wypracowane w trakcie całego procesu. Od projektowanego oświetlenia wymaga się spełnienia wielu kryteriów, które można sklasyfikować w kilku kategoriach [8, 9, 10]:

- oświetleniowe;
- psychologiczne;
- estetyczne;
- energetyczne;
- środowiskowe;
- ekonomiczne.

Wymagania oświetleniowe wynikają z konieczności uwzględnienia podstawowych potrzeb człowieka: komfortu widzenia, wydolności wzrokowej oraz bezpieczeństwa, dlatego też mają nadrzędny charakter. Spełnienie wymaganych kryteriów oświetleniowych prowadzi do wytworzenia we wnętrzu przyjaznego otoczenia świetlnego. Jest ono charakteryzowane przez takie parametry, jak [3, 8]:

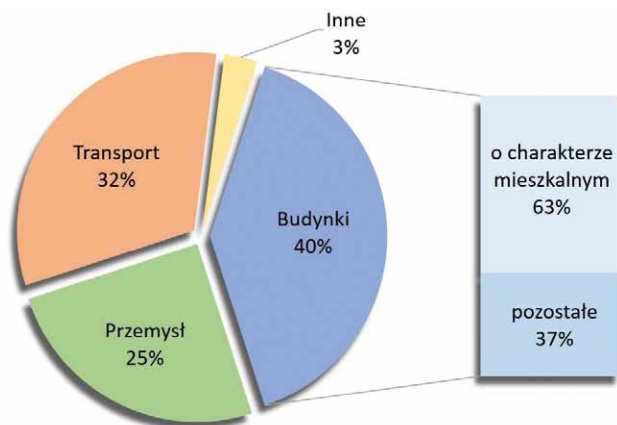
- natężenie oświetlenia;
- rozkład luminancji;
- kierunkowość oświetlenia;
- wygląd barwy światła i oddawanie barw;
- zmienność światła w zakresie poziomu i barwy;
- olśnienie;
- migotanie;
- wykorzystanie światła dziennego.

Prawidłowe oświetlenie ma wpływ na sprawność psychofizyczną i samopoczucie człowieka. Od natężenia oświetlenia i jego rozkładu w miejscu wykonywania zadania wzrokowego w dużym stopniu zależy szybkość, bezpieczeństwo i komfort dostrzegania oraz podejmowanych przez człowieka działań [3].

Oświetlenie wnętrz a efektywność energetyczna

Szacuje się, że obecnie na całym świecie 30–40% energii ogółem oraz aż 60% energii elektrycznej jest zużywanej w budynkach. W Stanach Zjednoczonych wartości te wynoszą odpowiednio 41% i aż 72%. W Unii Europejskiej udział budynków w ogólnym zużyciu energii wynosi 40%, z czego 63% energii jest konsumowanej w obiektach o charakterze mieszkalnym. Dla porównania transport pochłania 32%, a przemysł 25% (rys. 1). W budynkach użyteczności publicznej aż 77% zużywanej energii stanowi energia elektryczna [7].

W ostatnich latach coraz większą wagę przywiązuje się do problematyki zużycia energii. Poszukuje się nowych źródeł energii, a także rozwiązań mających na celu efektywniejsze gospodarowanie dostępnymi jej zasobami. W 2012 r. opublikowano normę PN-EN 15232 „Energetyczne właściwości budynków – wpływ automatyzacji, sterowania i technicznego zarządzania budynkami”, w której określono instalacje technologiczne budynków



Rys. 1. Zużycie energii w Unii Europejskiej [7]

decydujące o jego efektywności energetycznej [11]:

- instalacja grzewcza;
- instalacja ciepłej wody użytkowej;
- instalacja chłodnicza;
- instalacja wentylacji i klimatyzacji;
- oświetlenie;
- łamacze światła (przesłony przeciwsłoneczne).

Ocenia się, że oświetlenie odpowiada za zużycie aż 23–30% energii ogółem w budynkach [12, 13, 14]. W budynkach biurowych wartości te sięgają nawet 25–35% [15]. Rozpatrując zużycie samej energii elektrycznej, okazuje się, że oświetlenie w typowym budynku pochłania jej od 20–40% [16] do 30–40% [17]. W budynkach biurowych 20–45% energii elektrycznej [15, 18, 19], a w szkołach bez wentylacji mechanicznej nawet 70% jest zużywanych na cele oświetleniowe [19]. Oświetlenie jest więc obszarem, o znaczącym wpływie na efektywność energetyczną całego budynku. Oszczędności energii nie mogą być jednak realizowane kosztem wzrokowych funkcji instalacji oświetleniowej, ponieważ oświetlenie ma przede wszystkim służyć człowiekowi. Powinny być natomiast wdrażane poprzez [3, 20]:

- doskonalenie sprawności instalacji oświetleniowej;
- wzrost świadomości użytkowników;
- pełne wykorzystanie światła naturalnego;
- dostosowywanie warunków oświetlenia do zachowania lub obecności użytkowników;
- wykorzystanie systemu sterowania światłem;
- doskonalenie charakterystyk utrzymania instalacji oświetleniowej.

Sposoby sterowania oświetleniem

Spotykane obecnie sposoby sterowania oświetleniem sztucznym, mające na celu zwiększenie jego efektywności energetycznej, można sklasyfikować [5, 11, 17, 21, 22, 23]:

- sterowanie od zajętości pomieszczenia (obecności użytkownika):
 - ręczne włączanie/ściemnianie/wyłączenie,
 - ręczne włączanie/ściemnianie/wyłączenie + dodatkowe automatyczne centralne wyłączenie ogólne wykorzystujące harmonogram czasowy,

- automatyczne wykrywanie – mogą być realizowane warianty: automatyczne włączanie/ściemnianie strefowe/wyłączenie, automatyczne włączanie/wyłączenie, ręczne włączanie/automatyczne ściemnianie strefowe/wyłączenie, ręczne włączanie/automatyczne wyłączenie;
- sterowanie od oświetlenia dziennego:
 - ręczne włączanie/ściemnianie/wyłączenie;
 - automatyczne włączanie/wyłączenie;
 - automatyczne rozjaśnianie/ściemnianie – dostosowywanie strumienia świetlnego oświetlenia sztucznego.

Po przyjsciu do pracy większość osób włącza oświetlenie elektryczne. Jednak w ciągu dnia, pomimo odpowiedniej ilości światła naturalnego, część osób nie wyłącza oświetlenia sztucznego, ponieważ zapomina, że jest włączone. Prowadzi to do marnotrawstwa energii i niepotrzebnego zużycia źródeł światła [22, 24]. W przypadku ręcznego zarządzania oświetleniem, zarówno w zależności od zajętości pomieszczenia lub od oświetlenia dziennego, możliwe do uzyskania oszczędności energetyczne zależne są tylko i wyłącznie od zachowań użytkownika. W przypadku sterowania automatycznego to układ cyfrowy przejmuje od użytkownika konieczność „pamiętania” o włączonym oświetleniu oraz realizuje za niego czynności włączania/wyłączania i kontroli jego natężenia.

W sterowaniu oświetleniem, w zależności od zajętości pomieszczenia z automatycznym wykrywaniem, w celu detekcji użytkownika w danej strefie wykorzystywane są metody bazujące na różnych zjawiskach fizycznych. Wykrywanie może następować poprzez czujniki ruchu wykorzystujące podczerwień (PIR), sensory ultradźwiękowe, czujniki ciśnienia, dźwięków słyszalnych, mikrofalowe lub bariery świetlne. Ocena zajętości pomieszczenia może być także realizowana poprzez integrację z systemami bezpieczeństwa. Włączenie oświetlenia może następować automatycznie po wykryciu obecności lub ręcznie przez użytkownika. Metoda wykorzystująca ręczne włączenie oświetlenia charakteryzuje się wyższą energooszczędnością niż automatyczne jego uruchamianie, ponieważ w tym drugim przypadku obserwuje się nieprawidłowe, zbyt częste wyzwolenia, np. na skutek wykrycia ruchu na zewnątrz pomieszczenia. Automatyczne wyłączenie oświetlenia, na skutek braku obecności użytkownika przez określony czas, może następować na dwa sposoby: wyłączenie oświetlenia w nieużytkowanej strefie lub obniżenie natężenia oświetlenia w nieużytkowanych strefach, a następnie wyłączenie oświetlenia w całym pomieszczeniu po jego opuszczeniu przez wszystkich użytkowników. Drugi ze sposobów pochłania więcej energii niż wyłączenie oświetlenia bez wcześniejszego ściemniania, jednak prowadzi do zwiększenia komfortu świetlnego zwłaszcza w dużych otwartych pomieszczeniach [7, 17]. Zgodnie z normą [11] zalecany czas od wykrycia ostatniej obecności, w którym powinna nastąpić reakcja oświetlenia na brak użytkownika strefy lub pomieszczenia, wynosi maksymalnie 5 minut, natomiast stan zredukowanego naświetlania definiowany jest jako nie więcej niż 20% stanu normalnego. Należy zwrócić również uwagę, że czas odpowiedzi nie może być zbyt krótki, ze względu na możliwość nieuzasadnionych wyłączeń oświetlenia na skutek chwilowego bezruchu użytkownika.

Światło słoneczne jest bardzo ważne dla odpowiedniego samopoczucia i zdrowia człowieka. Naturalne światło dzienne charakteryzuje się doskonałym oddawaniem barw, korzystną dla człowieka zmiennością kierunku, poziomu oraz składu widmowego w ciągu dnia. Jego obecność zwiększa komfort oraz wydajność pracy. Dlatego też powinno być w możliwie wysokim stopniu wykorzystywane w budynkach, a oświetlenie elektryczne powinno adaptować się do jego zmienności i uzupełniać niedobory światłem sztucznym, w celu zapewnienia odpowiedniego rozkładu natężenia oświetlenia w obszarze zadania i jego otoczeniu. W przypadku sterowania oświetleniem w zależności od światła naturalnego kluczowe znaczenie dla możliwych oszczędności energii ma ilość potencjalnie dostępnego światła dziennego i głębokość penetracji pomieszczenia, zależna od położenia geograficznego budynku, zacinienia przez sąsiadujące obiekty, orientacji względem stron świata, zastosowania przesłon słonecznych, rozmiaru okien oraz przepuszczalności świetlnej szklenia [25]. Niezwykle istotna jest również barwa przeszkleń okiennych, które stanowią filtr światła słonecznego. Niewłaściwie dobrana np. ze względów estetycznych, może wręcz uniemożliwić korzystanie ze światła dziennego ze względu na jego zabarwienie, powodując konieczność korzystania ze światła sztucznego przez cały dzień.

Poza sterowaniem światłem sztucznym możliwe jest także sterowanie ilością penetrującego do pomieszczenia światła dziennego (ruchome lamele łączący światła). Jego celem jest stworzenie komfortowych warunków oświetlenia światłem dziennym poprzez unikanie oślepienia oraz zmniejszenie nagrzewania pomieszczenia przez słońce (ograniczenie zysków cieplnych). Stosowane obecnie sposoby pozycjonowania przesłon można podzielić na [11, 17]:

- ręczne;
- ręczne wspomagane napędem elektrycznym;
- automatyczne;
- automatyczne, zintegrowane ze sterowaniem oświetleniem oraz systemem HVAC.

Ponieważ sterowanie kątem położenia lameli łączący światła ma silny wpływ na warunki termiczne w pomieszczeniu, najwyższy wpływ na efektywność energetyczną budynku można uzyskać poprzez zintegrowane sterowanie w celu ograniczenia przegrzewania pomieszczeń w lecie oraz dogrzewania pomieszczeń w zimie, przy jednoczesnym zachowaniu komfortu świetlnego w przypadku obecności użytkownika. Całkowite zamknięcie przesłon po zmierzchu umożliwia ograniczenie przenikania ciepła przez przeszklone powierzchnie przy jednoczesnym zwiększeniu prywatności [7, 11, 26, 27].

reklama

reklama

Skuteczność sterowania oświetleniem

Jak podają producenci [12], wykorzystanie metody automatycznego sterowania oświetleniem w zależności od obecności (w zakresie włączania/ściemniania/wyłączania) powinno prowadzić do oszczędności energii rzędu 15–75% w stosunku do sterowania ręcznego. W [5, 12] przytoczono publikacje, w których oszczędności energii wynikające z zastosowania sterowania od zajętości pomieszczenia określono na 3–50% w pomieszczeniach użytkowanych regularnie oraz 17–86% w pomieszczeniach użytkowanych nieregularnie. Z kolei podsumowując przywołane w [15] źródła, można określić uzyskane oszczędności na poziomie 3–84% w pomieszczeniach biurowych, 11–60% w pomieszczeniach edukacyjnych, 17–78% w pomieszczeniach użytkowanych sporadycznie i aż 73–86% w sanitariatach.

Przy automatycznym sterowaniu w zależności od dostępności światła naturalnego, w przytoczonych w [5] publikacjach badaczy z różnych regionów świata, osiągnięte oszczędności energii określono na 40–92% w przypadku badań symulacyjnych oraz 20–70% w środowiskach rzeczywistych. Z kolei w opisywanych w [15] opracowaniach w pomieszczeniach biurowych uzyskiwano oszczędności na poziomie 9–31% z wykorzystaniem sterowania strumieniem świetlnym. W pomieszczeniach edukacyjnych osiągnęto ok. 20–65% oszczędności energii, a w otwartych wnętrzach 11–17% z wykorzystaniem sterowania włącz/wyłącz i 46% z zmiennym strumieniem świetlnym. W źródłach opisywanych w [25] uzyskiwano oszczędności energii w zakresie 16–76%, a w [28] wskazano na możliwość uzyskania do 77% oszczędności energii elektrycznej na oświetlenie sztuczne. W [29] przywołano badania wskazujące, że w biurach sterowanie wykorzystujące światło dzienne może zapewnić 45–61% oszczędności, a dodatkowe sterowanie od obecności może jeszcze je zwiększyć.

Harmonogramy czasowe mogą znaleźć zastosowanie zwłaszcza w przypadku pomieszczeń użytkowanych regularnie, np. sal lekcyjnych lub pomieszczeń biurowych. Możliwe do osiągnięcia za ich pomocą oszczędności energii w pomieszczeniach biurowych szacuje się na 10–40% [15].

Zastosowanie kombinacji rozważanych metod sterowania oświetleniem w pomieszczeniach o charakterze biurowym, zgodnie z przytaczanymi w [5] źródłami, może przynieść od ok. 13–73% w przypadku sterowania w zależności od obecności i światła dziennego, 42–47% w przypadku tej samej metody poszerzonej o możliwość wprowadzania ręcznych korekt, 38–61% w przypadku zastosowania harmonogramu czasowego i sterowania w zależności od dostępności światła naturalnego oraz 44% w przypadku wykorzystywania tej samej metody poszerzonej o sterowanie uzależnione od zajętości pomieszczenia. W salach lekcyjnych uzyskiwano 55–62% oszczędności energii, korzystając z metody sterowania w zależności od obecności i światła dziennego oraz 35–42% przy wykorzystaniu tej samej metody poszerzonej o zastosowanie harmonogramów czasowych.

Podsumowując, skuteczność automatycznych metod sterowania w porównaniu do klasycznej instalacji oświetleniowej sterowanej manualnie szacuje się na 3–86% oszczędności energii w przypadku uzależnienia oświetlenia od obecności, 11–70%

w przypadku sterowania natężeniem oświetlenia w zależności od ilości światła naturalnego, 10–40% w przypadku harmonogramów czasowych, a w przypadku metod łączonych od 13 do 73%. Wartości te ukazują skalę możliwości systemów automatycznego sterowania oświetleniem w zakresie ograniczenia zużycia energii elektrycznej, natomiast przywołane dane dotyczące skuteczności poszczególnych metod sterowania nie mogą być bezpośrednio porównywane, ponieważ zostały uzyskane w obiektach o różnej specyfice przy zróżnicowanej metodycie badań. Należy podkreślić, że oszczędności te wynikają tylko i wyłącznie z działania automatycznego sterowania i są niezależne od innych metod poprawy efektywności energetycznej instalacji oświetleniowej. W zależności od stosowanej metody sterowania wymagane jest natomiast użycie źródeł światła umożliwiających częste włączanie i wyłączanie oraz/lub regulację strumienia świetlnego w szerokim zakresie.

Podsumowanie


Instalacje oświetleniowe tworzone są przede wszystkim dla ludzi, dlatego też priorytetowym ich zadaniem jest zapewnienie optymalnych warunków wykonywania czynności wzrokowych, a dopiero w dalszej kolejności wysoka efektywność energetyczna.

Pełne wykorzystanie światła naturalnego, dzięki uzupełnianiu jego niedoborów światłem sztucznym wytwarzanym przez źródła elektryczne, a także poprzez integrację z łamaczami światła o ruchomych lamelach, umożliwia wytworzenie komfortowych i ergonomicznych warunków pracy wzrokowej, a także stymulowanie ludzi i pozytywny wpływ na procesy biologiczne, przy jednoczesnej minimalizacji zapotrzebowania na energię. Po opuszczeniu miejsca wykonywania czynności wzrokowych przez ludzi niewykorzystywane oświetlenie powinno być ściemniane lub wyłączane, co będzie prowadziło do dalszych oszczędności energii. Zastosowanie systemu sterowania oświetleniem podnosi nakłady inwestycyjne w fazie budowy, przez co jest niechętnie stosowane przez inwestorów. Systemy te, ze względu na skuteczność oraz znaczący udział oświetlenia w bilansie energetycznym budynku, mogą jednak zapewnić wzrost jego efektywności energetycznej, obniżając tym samym koszty eksploatacyjne. Poza niewątpliwymi korzyściami ekonomicznymi dla zarządcy nieruchomości, zmniejszenie zapotrzebowania na energię na cele oświetleniowe, z uwagi na skalę oddziaływania budynków na światowe zużycie energii, będzie miało także pozytywny wpływ na środowisko naturalne.

Literatura

- [1] ADASZYŃSKA E., KUNCEWICZ M.: *Osoby z dysfunkcją wzroku a cyfrowa przestrzeń informacyjna*. „Biuletyn EBIB” 1/2012.
- [2] HALLIDAY D., RESNICK R., WALKER J.: *Podstawy fizyki. Tom 4*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
- [3] PN-EN 12464-1:2012 *Światło i oświetlenie – Oświetlenie miejsc pracy – Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach*.
- [4] ES-SYSTEM Katalog główny 2016.
- [5] CHEW I., KARUNATILAKA D., PIN TAN C., KALAVALLY V.: *Smart lighting: The way forward? Reviewing the past to shape the future*. „Energy and Buildings” vol. 149, 2017.

- [6] WOLSKA A.: *Intelligent lighting systems and users' visual fatigue*. „Przegląd Elektrotechniczny” 5/2007.
- [7] DECHNIK M., MOSKWA S.: *Smart House – inteligentny budynek – idea przyszłości*. „Przegląd Elektrotechniczny” 9/2017.
- [8] PRACKI P.: *Projektowanie oświetlenia wnętrz*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2011.
- [9] CIERZNIŃSKI W., KUDŁA J., PAPLICKI P., WARDACH M.: *Wybrane aspekty efektywnego projektowania instalacji oświetleniowych w obiektach użyteczności publicznej*. „Przegląd Elektrotechniczny” 12a/2012.
- [10] GORDON G.: *Interior Lighting for Designers, 5th Edition*. John Wiley & Sons, 2015.
- [11] PN-EN 15232:2012 *Energetyczne właściwości budynków – Wpływ automatyzacji, sterowania i technicznego zarządzania budynkami*.
- [12] GUO X., TILLER D.K., HENZE G.P., WATERS C.E.: *The performance of occupancy-based lighting control systems: A review*. „Lighting Research & Technology” 42/2010.
- [13] YUN G., CHUN YOON K., SOO KIM K.: *The influence of shading control strategies on the visual comfort and energy demand of office buildings*. „Energy and Buildings” vol. 84, 2014.
- [14] BANİYA R., MAKSIMAINEN M., SIERLA S., PANG C., YANG C.W., VYATKIN V.: *Smart indoor lighting control: Power, illuminance, and colour quality*. IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2014.
- [15] HAQ M.A., HASSAN M.Y., ABDULLAH H., RAHMAN H.A., ABDULLAH M.P., HUSSIN F., SAID D.M.: *A review on lighting control technologies in commercial buildings, their performance and affecting factors*. „Renewable and Sustainable Energy Reviews” vol. 33, 2014.
- [16] LIU J., ZHANG W., CHU X., LIU Y.: *Fuzzy logic controller for energy savings in a smart LED lighting system considering lighting comfort and daylight*. „Energy and Buildings” vol. 127, 2016.
- [17] GRELA J.: *Analiza wpływu systemów automatyzacji na efektywność energetyczną instalacji i obiektów budowlanych*. Rozprawa doktorska, promotor: Marian Noga, promotor pomocniczy Andrzej Ozadowicz; AGH, Kraków 2017.
- [18] DE BAKKER C., ARIES M., KORT H., ROSEMANN A.: *Occupancy-based lighting control in open-plan office spaces: A state-of-the-art review*. „Building and Environment” vol. 112, 2017.
- [19] DELVAEYE R., RYCKAERT W., STROOBANT L., HANSELAER P., KLEIN R., BREESCH H.: *Analysis of energy savings of three daylight control systems in a school building by means of monitoring*. „Energy and Buildings” vol. 127, 2016.
- [20] WANTUCH A., JANOWSKI M.: *Elektryczne źródła światła – wpływ na zdrowie człowieka*. „Przegląd Elektrotechniczny” 3/2016.
- [21] ROSSI M., PANDHARIPANDE A., CAICEDO D., SCHENATO L., CENEDESE A.: *Personal lighting control with occupancy and daylight adaptation*. „Energy and Buildings” vol. 105, 2015.
- [22] GALASIU A.D., VEITCH J.A.: *Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review*. „Energy and Buildings” vol. 38, iss. 7, 2006.
- [23] KAMIŃSKA A., RADAJEWSKI R.: *Instalacja do badania algorytmów sterowania oświetleniem*. „Przegląd Elektrotechniczny” 10/2010.
- [24] CHENGA Z., ZHAO Q., WANG F., JIANG Y., XIAO L., DING J.: *Satisfaction based Q-learning for integrated lighting and blind control*. „Energy and Buildings” vol. 127, 2016.
- [25] ROISIN B., BODART M., DENEYER A., D'HERDT P.: *Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption*. „Energy and Buildings” vol. 40, iss. 4, 2008.
- [26] ZARĘBSKI T.: *Możliwości zastosowania inteligentnych instalacji elektrycznych w nowoczesnym budownictwie*. „Wiadomości Elektrotechniczne” 8/2012.
- [27] KAMIŃSKA A., RADAJEWSKI R.: *Obiekt i układy do badania wpływu sterowania instalacją grzewczą na zużycie energii*. „Przegląd Elektrotechniczny” 11a/2010.
- [28] Wang Y., Dasgupta P.: *Designing an Adaptive Lighting Control System for Smart Buildings and Homes*. IEEE 12th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2015.
- [29] XU L., PAN Y., YAO Y., CAI D., HUANG Z., LINDE N.: *Lighting energy efficiency in offices under different control strategies*. „Energy and Buildings” vol. 138, 2017.

 mgr inż. Mirosław Dechnik – Politechnika Krakowska, Małopolskie Laboratorium Budownictwa Energooszczędnego

mgr inż. Karina Grzywocz – Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej