

# Street Lighting – nowoczesne oświetlenie przestrzeni publicznych. Automatyka budynkowa w infrastrukturze inteligentnych miast – Smart Cities

Andrzej Ożadowicz, Jakub Grela

## Wstęp

Oświetlenie przestrzeni publicznych, dróg, ulic, szlaków komunikacyjnych i otoczenia budynków, to istotny element infrastruktury współczesnych miast i miasteczek. Zadaniem instalacji oświetleniowych jest przede wszystkim zapewnienie komfortu oświetleniowego w nocy i przy ograniczonym dostępie światła dziennego oraz zwiększenie poziomu bezpieczeństwa osób, maszyn, pojazdów itp. Jednocześnie trzeba podkreślić, iż są one jednym z największych konsumentów energii elektrycznej w miastach i gminach, pochłaniającym średnio ok. 40% ogólnego budżetu przeznaczanego na wydatki energetyczne. Energochłonność systemów oświetleniowych przekłada się niemal bezpośrednio na ich oddziaływanie na środowisko naturalne oraz zwiększoną emisję gazów cieplarnianych, w szczególności CO<sub>2</sub> [1, 2].

Ze względu na wspomniane czynniki, a w szczególności wysoką energochłonność systemów oświetleniowych, władze miast i gmin wielu krajów poszukują rozwiązań technicznych i ekonomicznych, które pozwoliłyby na redukcję wydatków związanych z obsługą i utrzymaniem instalacji oświetleniowych dla przestrzeni publicznych oraz ograniczenie emisji zanieczyszczeń, przy jednoczesnym zachowaniu lub zwiększeniu komfortu i bezpieczeństwa ich użytkownika. Na rynku branżowym pojawiają się różne nowoczesne rozwiązania techniczne, dedykowane do wykorzystania w tym obszarze. W pierwszym rzędzie wymienić trzeba wdrożenia innowacyjnych źródeł światła (np. LED, świetłówki energooszczędne, lampy indukcyjne), charakteryzujących się niższą mocą, przy zachowaniu dużego strumienia świetlnego. Druga kategoria rozwiązań to systemy inteligentnego sterowania instalacjami oświetlenia, z wykorzystaniem różnego typu sieci automatyki, transmisji danych i teleinformatycznych, którym w szerszym zakresie poświęcono niniejszy artykuł [3].

Skupiono się na rozwiązaniach technicznych, bazujących na standardach wykorzystywanych w rozproszonych sieciach sterowania, w szczególności w organizacji systemów automatyki budynkowej i zarządzania budynkami – BMS. Umożliwiają one indywidualne bądź grupowe sterowanie załączaniem i wyłączeniem lamp oraz wprowadzenie prostych i zaawansowanych algorytmów sterowania. Dzięki temu mogą być wykorzystane do ograniczenia zużycia energii elektrycznej i monitorowania, zarządzania czy diagnozowania lamp [4]. Funkcjonalności te, w połączeniu ze zdalną obsługą i akwizycją danych, ułatwiają sterowanie lampami i prowadzenie ich efektywnego serwisowania

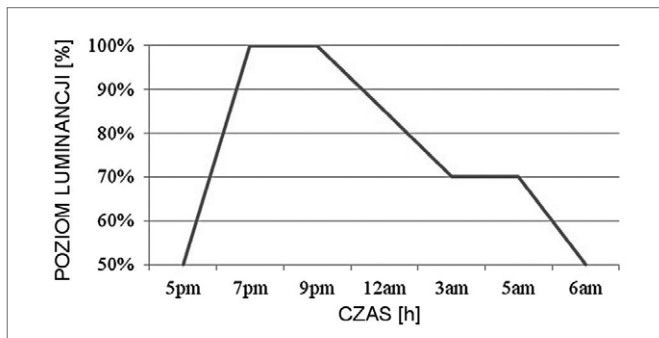
**Streszczenie:** W artykule przedstawiono możliwości zastosowania sieciowych systemów automatyki budynkowej jako elementu nowoczesnych platform sterowania infrastrukturą tzw. inteligentnych miast – Smart Cities. Wybrana aplikacja dotyczy sterowania oświetleniem przestrzeni publicznych – Street Lighting, z wykorzystaniem elementów otwartego, międzynarodowego standardu LonWorks®. Omówiono niewielką instalację pilotażową, z zaproponowanymi różnymi scenariuszami sterowania i monitoringu lamp oraz przeanalizowano efekty przeprowadzonych prac badawczych i doświadczalnych, ukierunkowanych na poprawę efektywności energetycznej badanej instalacji.

## STREET LIGHTING – MODERN OUTDOOR LIGHTING INSTALLATIONS. THE BUILDING AUTOMATION SYSTEMS IN THE SMART CITIES INFRASTRUCTURE.

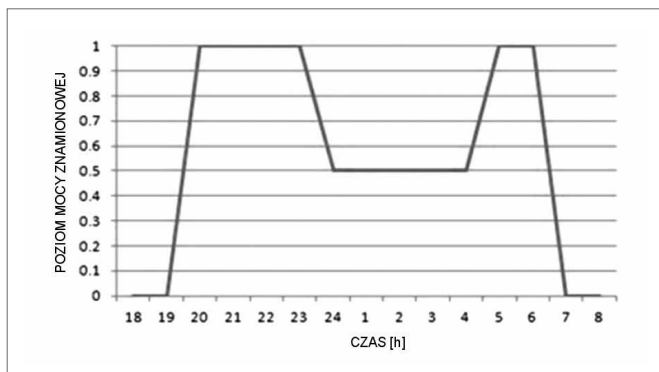
*Abstract In the paper some possibilities of the building automation systems implementation in the modern Smart Cities platforms are presented. Their application in the small pilotage Street Lighting installation have been selected and described. It is based on the open, international LonWorks® standard. Some different control and monitoring scenarios have been proposed, discussed and verified. The results of the experiments and research works, focused on the energy efficiency improvement, are presented.*

wania w trakcie eksploatacji. Dodatkowo oferują możliwość prewencyjnego działania grup serwisowych jeszcze przed uszkodzeniem lub awaryjnym wyłączeniem lamp, co również ma istotne znaczenie finansowe. Szacuje się bowiem, iż średnia żywotność lamp oświetleniowych to ok. 12 000 godzin (3,5 roku). Stąd istotną kwestią jest właściwa i szybka identyfikacja uszkodzonych lamp oraz ich wymiana [4, 5].

W wielu krajach świata, w tym też w Polsce, wdrażane są sterowane i zdalnie monitorowane instalacje oświetlenia przestrzeni publicznych, zarówno w formie w pełni kompleksowych i komercyjnych rozwiązań technicznych, jak również instalacji pilotażowych. Niektóre z tych instalacji obejmują nawet dziesiątki tysięcy punktów oświetleniowych. Przykładem są systemy



Rys. 1. Sugerowane obniżenie poziomu intensywności oświetlenia ciągu dla pieszych z uwzględnieniem trendu mniejszej liczby przechodniów w godzinach nocnych (na podstawie [10])



Rys. 2. Standardowy profil sterowania oświetleniem przestrzeni publicznej w centralnych Włoszech w porze wiosennej (na podstawie [9])

oświetleniowe działające w takich miastach, jak: Oslo (Norwegia, 65 000 lamp), Warna (Bułgaria, 1000 lamp), Amsterdam (Holandia, 2 300 lamp), Dublin (Irlandia, 5000 lamp) i inne [6, 7]. W kolejnych latach przewiduje się rozwój w kierunku integracji wielu systemów sterowania oraz zarządzania różnymi elementami infrastruktury miejskiej i publicznej w celu zbudowania jednolitych sieci wymiany danych i informacji, monitoringu i sterowania, w ramach tzw. systemów Smart Cities. Jednym z najważniejszych elementów tego typu zintegrowanych platform, będą właśnie systemy inteligentnego oświetlenia przestrzeni publicznych – Smart Lighting, ale również zdalnego i inteligentnego opomiarowania zużycia energii i mediów – Smart Metering, inteligentnych sieci elektroenergetycznych – Smart Grid oraz zarządzania budynkami wraz z obsługą odnawialnych źródeł energii – Intelligent Buildings i BMS (*Building Management Systems*). Dzięki integracji możliwe będzie sprawne zarządzanie mediami i energią zużywanymi w różnych odbiornikach, przede wszystkim w dużych systemach aglomeracji miejskich oraz zrównoważenie systemów energetycznych, wraz z implementacją idei zarządzania popytem (*Demand-Response*) i obsługą odbiorców-producentów energii (prosumenci) [5, 8, 9, 10, 11].

### Smart Lighting – element Smart Cities

Aktualnie prowadzone testy instalacji Street Lighting ukierunkowane są głównie na ich porównanie z dotychczas stosowanymi rozwiązaniami technicznymi. Przykładem mogą być projekty instalacji i badania systemów oświetlenia w ra-

mach grantu europejskiego E-Street, gdzie w wielu miastach różnych krajów europejskich (w tym w Polsce), zainstalowano nowoczesne instalacje oświetlenia przestrzeni publicznych [7]. Inny obszar badań i prac inżynierskich to poszukiwanie i opracowanie algorytmów sterowania oświetleniem, dopasowanych do przestrzeni publicznych o różnej specyfice (drogi, place, alejki i chodniki dla pieszych, powierzchnie w otoczeniu zakładów przemysłowych, magazynów, hal produkcyjnych itp.). Wyróżnia się tu dwie metody podejścia: algorytmy statyczne i dynamiczne. Pierwsze z nich bazują na zadaniu w systemie oświetleniowym pewnych stałych parametrów, takich jak typ i moc źródeł światła oraz okresy czasowe ich załączenia i wyłączenia, zgodnie ze zmianami długości dnia i/lub czujnikiem zmierzchowym. Algorytmy dynamiczne oferują natomiast znacznie większe możliwości sterowania i dopasowania oświetlenia, jednak wymagają większej liczby elementów infrastrukturalnych. W najprostszych rozwiązaniach dopuszcza się możliwość zmiany natężenia oświetlenia w określonych okresach czasowych (np. w różnych godzinach nocnych). Dzięki temu powstają zróżnicowane profile czasowe działania oświetlenia i możliwe jest uzyskanie dodatkowych oszczędności energii elektrycznej oraz zwiększenie żywotności źródeł światła. Przykładowe profile sterowania pokazano na rysunkach 1 i 2 [5, 12, 13].

W instalacjach bardziej zaawansowanych funkcjonalnie możliwa jest ponadto integracja różnego typu czujników i urządzeń innych podsystemów infrastruktury instalowanej w przestrzeniach publicznych, takich jak: stacje pogodowe, czujniki ruchu/obecności, czujniki intensywności światła, elementy sieci bezprzewodowych i komórkowych itp. Pozyskanie z nich informacji i integracja już na poziomie obiektowym, pozwalają na opracowanie rozbudowanych algorytmów sterowania pojedynczymi lampami i grupami lamp [4, 7, 14]. Jedną z propozycji jest oświetlenie adaptacyjne. Po dobraniu odpowiednich parametrów pracy pozwala ono na ciągłe dopasowywanie parametrów pracy lamp do warunków otoczenia, zmieniających się na skutek zmian intensywności światła dziennego, zmiennego nasilenia ruchu ulicznego, zmian warunków meteorologicznych oraz możliwych sytuacji nadzwyczajnych (wypadek itp.) [5, 7].

### Instalacja Street Lighting na AGH

Testowa instalacja inteligentnego oświetlenia przestrzeni publicznej zrealizowana została w ostatnich latach na jednym z parkingów Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie przez zespół naukowo-badawczy Laboratoriów Oceny Efektywności Energetycznej i Automatyki Budynków AutBudNet. Stanowi ona integralną część systemu sterowania i monitoringu urządzeń w pomieszczeniach laboratoryjnych, o czym będzie jeszcze mowa w dalszej części tekstu [15]. Oprócz standardowej funkcjonalności, związanej z oświetleniem konkretnej przestrzeni, jest ona również obiektem prac badawczych w zakresie sterowania i monitoringu lamp. Schemat poglądowy zbudowanego systemu sterowania i zdalnej obsługi lamp pokazano na rysunku 3.

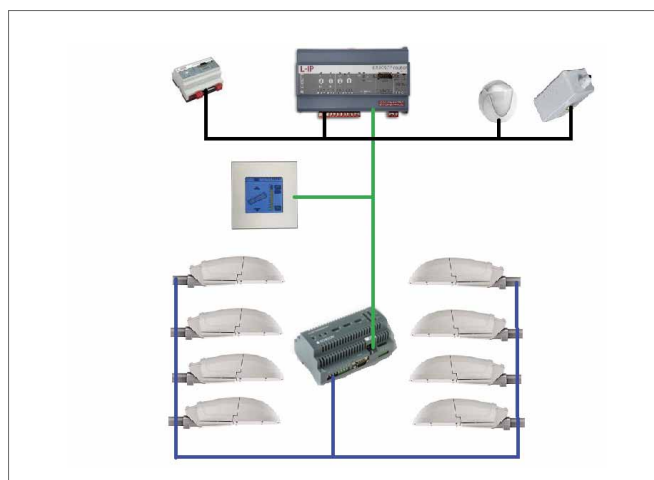
W instalacji wykorzystano dedykowane do zastosowań oświetleniowych sterowniki, umieszczone w każdej z lamp, które komunikują się na poziomie obiektowym przez sieć bazującą na międzynarodowym standardzie automatyki budynkowej LonWorks ISO/IEC PN-EN 14908. W skład systemu oświe-

tleniowego wchodzi osiem nowoczesnych opraw oświetlenia drogowego, nadających się do montażu bocznego lub na szczycie słupa. W oprawach zainstalowano wysokoprężne żarówki sodowe o mocy 70 W. W każdej z opraw zamontowano wspomniany moduł sterownika, wraz z elektronicznie regulowanym balastem i filtrem. Dzięki temu oprawy wyposażone w wymienione urządzenia, wykorzystując zalety i możliwości, jakie oferuje technologia LonWorks, zyskują następujące funkcjonalności: zdalne monitorowanie i sterowanie wartości obciążenia lampy (załącz/wyłącz oraz ustawienie poziomu intensywności strumienia światła), informowanie o ilości godzin pracy, o zużyciu energii elektrycznej, temperaturze balastu, wartości napięcia zasilającego i napięcia na stykach samego źródła światła, ustawienie progów alarmów np. dla zbyt niskiej lub wysokiej wartości napięcia zasilającego i oczywiście poinformowanie użytkownika/serwisu o ich przekroczeniu. Komunikacja z wewnętrznym systemem nadrzędnym jest dwukierunkowa, a dane przesyłane są do i z układu elektronicznego balastu za pośrednictwem istniejącej sieci zasilania poszczególnych odbiorów/lamp – komunikacja Power Line PLC – dzięki czemu ograniczono koszty instalacji związane z dodatkową infrastrukturą [5].

Wspomniana komunikacja poziomu obiektowego instalacji z systemem nadrzędnym realizowana jest za pośrednictwem kanału IP. Funkcję interfejsu dla standardu LonWorks pomiędzy medium transmisji Power Line a siecią protokołu IP spełnia moduł serwera internetowego i.LON.

Kolejny z elementów systemu – router L-IP – odbiera i nadaje pakiety danych z/do routera i.LON za pośrednictwem sieci IP. Ponadto umożliwia połączenie instalacji lamp z częścią systemu automatyki budynkowej, zrealizowaną z wykorzystaniem medium transmisji para skręcona (TP). Dzięki temu system sterowania lamp może być zintegrowany z urządzeniami klasycznej automatyki budynkowej lub systemem BMS w obiekcie budowlanym, obsługującymi np. oświetlenie wnętrza budynku, ogrzewanie, klimatyzację itp. W przypadku prezentowanej instalacji w ten sposób włączono jeden z czujników poziomu światła dziennego. System jest wyposażony w czujnik natężenia oświetlenia oraz czujnik temperatury – sensory na bieżąco dostarczają wszystkim urządzeniom pracującym w technologii LonWorks informacji na temat aktualnego poziomu natężenia oświetlenia zewnętrznego lub wartości temperatury zewnętrznej. W ten sposób zintegrowano instalację sterowania oświetleniem zewnętrznym z systemem sterowania infrastrukturą pomieszczeń laboratoriów AutBudNet [5, 15].

W systemie sterowania wykorzystano też serwer automatyki L-INX (firmy Loytec). Oferuje on szeroką gamę funkcji, które można łączyć w dowolnej kolejności, a obsługa standardowych protokołów komunikacyjnych (LonWorks, OPC, M-Bus, ModBus) decyduje o jego uniwersalności stosowania w różnych aplikacjach i systemach zarządzania budynkiem. Spośród wielu funkcjonalności oferowanych przez serwer L-INX, w systemie Street Lighting AGH wykorzystano przede wszystkim te umożliwiające opracowanie elementów wizualizacji stanu pracy testowej instalacji oświetlenia przestrzeni parkingowej. Wizualizacja bazuje na graficznych stronach WWW i dlatego też jej uruchomienie nie wymaga zakupu żadnych, zwykle drogich, licencji i jest możliwe za pomocą standardowej przeglądarki internetowej, z dowolnego miejsca z dostępem do sieci Internet,



Rys. 3. Schemat testowej instalacji systemu Street Lighting AGH

Źródło: opracowanie własne



Rys. 4. Zrzut ekranu przedstawiający stronę główną wizualizacji systemu Street Lighting AGH

Źródło: opracowanie własne

oczywiście po uprzedniej autoryzacji. Zrzut ekranu ze stroną główną opracowanej wizualizacji przedstawia rysunek 4.

W ramach wizualizacji istnieje również możliwość zarządzania i monitorowania pracy każdej lampy oddzielnie. Monitorowanie stanu pracy dostarcza informacji o załączeniu i wyłączeniu lampy (ON, OFF), poziomie intensywności oświetlenia (LOW – 40%, MEDIUM – 60%, HIGH – 80%), napięciu na stykach źródła światła zamontowanego w oprawie, całkowitej zużytej energii elektrycznej, ilości godzin pracy, temperaturze balastu oraz tzw. statusie lampy (alarmy) [5]. Planszę z widokiem monitoringu lampy pokazano na rysunku 5.

Wizualizacja posiada też funkcje raportowania o błędach lub zagrożeniach, które mogą się pojawić podczas pracy systemu. Na rysunku 5 widać stan, gdy napięcie na źródle światła, podczas ustawienia maksymalnej wartości obciążenia, wynosi 139 V AC. Jest to wartość zbyt duża, zwykle wskazująca bliski koniec czasu eksploatacji lampy sodowej. System informuje użytkownika o tym fakcie nie tylko poprzez zmianę koloru odpowiedniej ikony (na rysunku 5 – czerwone kółko), ale również wysyłając do obsługi wiadomość e-mail, z informacją o konieczności podjęcia odpowiednich działań. Funkcja ta eliminuje konieczność wykonywania dodatkowych okresowych oględzin instalacji oświetleniowej [5].

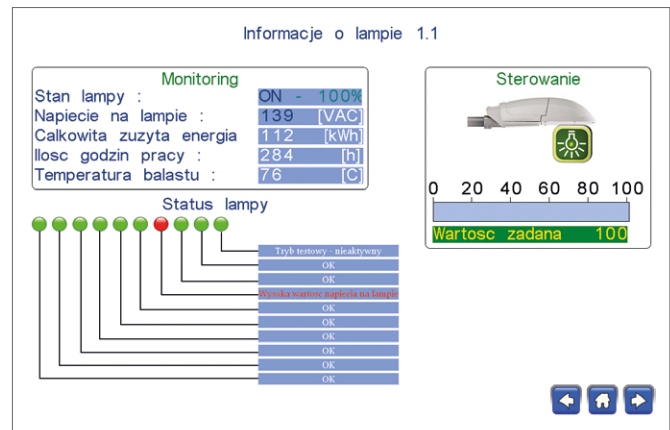
## Sterowanie oświetleniem – poprawa efektywności energetycznej

W roku 2011 w laboratoriach AutBudNet AGH przeprowadzono badania możliwości wpływu integracji zautomatyzowanych urządzeń infrastruktury budynkowej na efektywność energetyczną infrastruktury pomieszczeń laboratoriów, wyposażonych w system automatyki standardu LonWorks. Obiektami integracji były rolety okienne, sztuczne oświetlenie pomieszczeń i agregaty klimatyzacyjne. W dwóch okresach pomiarowych zarejestrowano dane dotyczące zużycia energii elektrycznej w pomieszczeniach laboratoriów, z uwzględnieniem wpływu rolet okiennych i oświetlenia na funkcjonowanie agregatów klimatyzacyjnych, zapewniających komfort termiczny. Na ich podstawie przeprowadzono ilościową ocenę wpływu systemów automatyki na poprawę efektywności energetycznej infrastruktury pomieszczeń laboratoryjnych. Wyniki okazały się pozytywne [5, 15].

Dlatego też w kolejnym etapie, po instalacji systemu sterowania zewnętrznymi lampami sodowymi, rozpoczęto badania i pomiar zużycia energii elektrycznej, przy założeniu zróżnicowanych scenariuszy sterowania zespołami lamp. Wymagało to, jak już wspomniano wcześniej, instalacji w każdej lampie dedykowanego sterownika, wraz z układem energoelektronicznym balastu, sterującego napięciem i prądem podawanym bezpośrednio na lampę w oprawie.

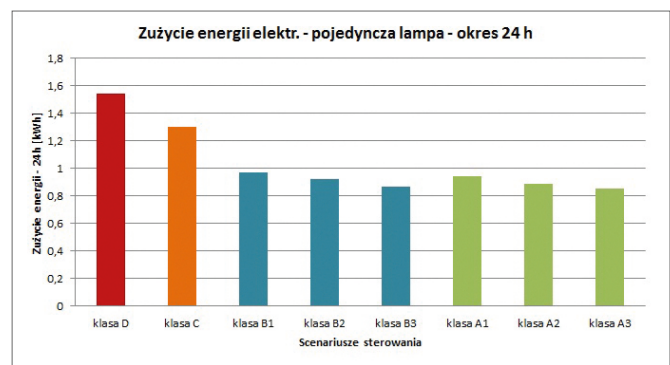
Ze względu na fakt wykorzystania w sterowaniu lampami standardu automatyki budynkowej, dobór scenariuszy oparto na zaproponowanych w normie PN-EN 15232: „Energetyczne właściwości budynków – Wpływ automatyzacji, sterowania i technicznego zarządzania budynkami” wytycznych dla różnych klas sprawności systemów automatyzacji i sterowania budynkiem (BACS). Według zapisów normy klasa A odpowiada systemom BACS o bardzo wysokiej sprawności energetycznej (wykorzystanie zaawansowanych funkcjonalności urządzeń automatyki i wysokiego stopnia ich wzajemnej integracji na poziomie obiektowym), a klasa D systemom BACS bez żadnego wpływu na sprawność energetyczną budynków (bez funkcji automatyki i integracji). W efekcie otrzymano następujące scenariusze [5]:

- Klasa D – baza odniesienia pomiarów – klasyczna lampa 70 W z wewnętrznym układem balastu elektromagnetycznego BSN 70L427-ITS. Należy podkreślić, że lampa oferowana przez producenta nie posiadała możliwości regulacji strumienia świetlnego, a tym samym redukcji zużycia energii elektrycznej w czasie pracy, dlatego podczas wykonywania pomiarów zadano maksymalne obciążenie lampy dla układu Smart Ballast.
- Klasa C – klasyczna lampa 70 W z układem elektronicznym powodującym obniżenie zużycia energii elektrycznej, przy zachowaniu parametrów świetlnych lamp standardowych, bez zaawansowanych funkcji związanych z zadawaniem poziomu intensywności oświetlenia oraz technicznego zarządzania taką pojedynczą lampą i całą instalacją.
- Klasa B – która odpowiada klasie C dodatkowo z zastosowaniem zaawansowanych elementów i funkcjonalności sterowania oraz wybranych funkcji technicznego zarządzania instalacją (okresowe zmiany poziomu oświetlenia w różnych okresach nocy, zależnie od intensywności wykorzystania



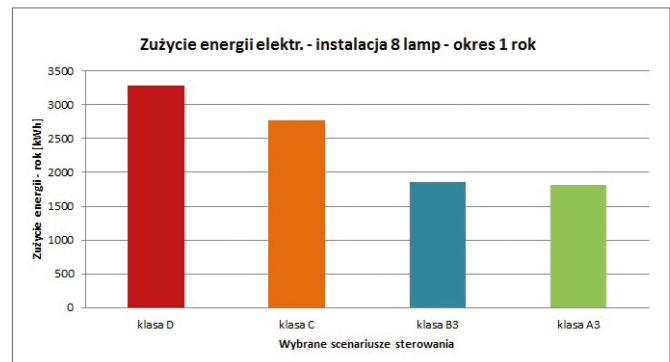
Rys. 5. Zrzut ekranu wizualizacji stanu pracy pojedynczej lampy

Źródło: opracowanie własne



Rys. 6. Wykres kolumnowy dobowego zużycia energii pojedynczej lampy w instalacji badawczej, dla różnych scenariuszy sterowania, w odniesieniu do zużycia bazowego – klasa D

Źródło: opracowanie własne



Rys. 7. Wykres kolumnowy rocznego zużycia energii w całej instalacji badawczej, dla różnych scenariuszy sterowania lamp, w odniesieniu do zużycia bazowego – klasa D

Źródło: opracowanie własne

oświetlanej przestrzeni, nawet z dopuszczeniem całkowitego wyłączenia lamp). Przebadano trzy różne scenariusze, z różnymi harmonogramami czasowymi.

- Klasa A – która odpowiada klasie B z dodatkowymi elementami automatycznej adaptacji do zmian warunków zewnętrznych (poziom światła dziennego). Tu również przebadano trzy różne scenariusze, jak w przypadku klasy B (te same okresy załączenia lamp i ustalonych poziomów oświetlenia), przy uwzględnieniu sygnałów z czujników parametrów światła dziennego.

Wyniki przeprowadzonych pomiarów pokazano w formie wykresu na rysunku 6.

W oparciu o przeprowadzone pomiary zużycia energii dokonano również analizy rocznego zużycia energii przez całą instalację oświetlenia parkingu, składającą się – jak już wspomniano wcześniej – z 8 lamp. Do porównania wybrano scenariusze charakteryzujące się najniższym dobowym zużyciem energii elektrycznej dla pojedynczej lampy. Wyniki, wraz z oszacowaniem ilościowym, pokazano na rysunku 7.


### Podsumowanie

Analizując wykresy z graficzną interpretacją danych zużycia energii dla różnych scenariuszy sterowania lamp, można zauważyć, iż samo wprowadzenie odpowiednio dobranych harmonogramów czasowych, wraz z regulacją intensywności strumienia świetlnego generowanego przez lampy zgodnie z założeniami systemu automatyzacji i sterowania przewidzianymi dla klasy B, powoduje, że instalacja oświetlenia przestrzeni publicznej cechuje się znacznie mniejszym zużyciem energii elektrycznej w porównaniu do instalacji wykonanej w oparciu o standardowe lampy, nieposiadające funkcji regulacji poziomu intensywności oświetlenia. Ograniczenie zużycia energii elektrycznej wyniosło średnio około 41%. W momencie wprowadzenia dodatkowych funkcjonalności, elementów integracji z urządzeniami automatyki budynkowej (w tym przypadku – czujnik intensywności światła dziennego) i ich uwzględnienia w scenariuszach sterowania systemem oświetleniowym zgodnie z wytycznymi klasy A sprawności systemów BACS, możliwe jest osiągnięcie jeszcze większego poziomu oszczędności zużycia energii elektrycznej – rzędu 45%.

Trzeba jednak zaznaczyć, iż systemy sterowania i monitoringu pozwalające na tworzenie tego typu scenariuszy (klasa B i klasa A), wymagają użycia większej liczby elementów i urządzeń systemowych (czujniki, sterowniki, zadajniki) i ich zintegrowania w ramach systemu sieciowego zapewniającego ciągłość i poprawność dwukierunkowej komunikacji. Dotyczy to zarówno poziomu obiektowego – między czujnikami i elementami wykonawczymi, jak i przesyłu danych pomiędzy poziomem obiektowym a elementami systemu nadrzędnego (sterowniki, routery, serwery automatyki). Stąd też zaprezentowana w artykule propozycja wykorzystania w takich instalacjach systemów automatyki budynkowej, wykorzystywanych coraz częściej w obsłudze budynków użyteczności publicznej, centrów biznesowych, parków technologicznych, stadionów, obiektów przemysłowych. Integracja infrastruktury budynkowej i obsługi przestrzeni otaczających budynki, przestrzeni publicznych, dróg, placów itp. tworzy nową jakość ich użytkowania i zarządzania, wraz z możliwością poprawy efektywności energetycznej w trakcie ich eksploatacji, przy jednoczesnym ograniczeniu części kosztów związanych z instalowaniem osobnych systemów sterowania. Takie podejście wpisuje się również doskonale w rozwijaną obecnie koncepcję projektów inteligentnych miast – Smart City – oraz ideę monitoringu zużycia energii i mediów Smart Metering, co wskazuje na szeroki potencjał możliwych zastosowań prezentowanych rozwiązań technicznych i systemowych.

### Literatura

- [1] CHO S., DHINGRA V.: *Street Lighting Control based on LonWorks Power Line Communication*. Power Line Commun. Its Appl. 2008. ISPLC 2008. IEEE Int. Symp., pp. 396–398, 2008.
- [2] LI-JUN Q., ZI-ZHENG S., FENG J.: *Intelligent streetlight energy-saving system based on LonWorks power line communication technology*. In 2011 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), 2011, pp. 663–667.
- [3] Komisja Europejska: *Oświetlenie miast. Szersze wykorzystanie nowoczesnego oświetlenia w miastach europejskich*. 2013.
- [4] Echelon Corp: *Monitored Outdoor Lighting A profitable and strategic opportunity for cities and streetlight maintenance companies*. Echelon Whitepapers, 2007.
- [5] CLEMENTS-CROOME D., DŁUGOSZ M., SKRUCH P., PAWLIK M., SOLIŃSKI I., TUROŃ K., JURASZ J., KRZYWDA M., MIKULIK J., MATUSIK M., AUGUSTYN G., CELEWICZ P., GRELA J., OŻADOWICZ A.: *Inteligentne budynki: nowe możliwości działania; art.: Instalacja oświetlenia przestrzeni publicznych Street Lighting w technologii LonWorks – przykład aplikacji systemów automatyki budynkowej ukierunkowanej na poprawę efektywności energetycznej*. 2014, s. 215–236.
- [6] Echelon Corp: *Echelon Control Network Solutions Save Energy with Smart Street Lighting in China*. Echelon News, 2011.
- [7] E-Street Project Grant Team: *Intelligent Road and Street Lighting in Europe (E-Street)*. 2008.
- [8] NOGA M., OŻADOWICZ A., GRELA J.: *Modern, certified building automation laboratories AutBudNet – put 'learning by doing' idea into practice*. „Przegląd Elektrotechniczny” 11/2012, pp. 137–141.
- [9] NOGA M., OŻADOWICZ A., GRELA J., HAYDUK G.: *Active Consumers in Smart Grid Systems-Applications of the Building Automation Technologies*. „Przegląd Elektrotechniczny” 6/2013, s. 227–233.
- [10] OŻADOWICZ A.: *Zarządzać energią z głową: OpenADR – dwukierunkowa komunikacja dostawcy energii – odbiorcy*. „Energetyka Ciepła i Zawodowa”, s. 109–112.
- [11] OŻADOWICZ A.: *Systemy automatyki budynkowej jako element inteligentnych sieci elektroenergetycznych – Smart Metering i aktywny odbiorca*. „Napędy i Sterowanie” 12/2013, s. 32–35.
- [12] PIZZUTI S., ANNUNZIATO M., MORETTI F.: *Smart street lighting management*. „Energy Effic.” vol. 6, no. 3, Feb. 2013, pp. 607–616.
- [13] MOHAMED S.: *Smart Street Lighting Control and Monitoring System for Electrical Power Saving Using VANET*. Int'l J. Commun. Netw. Syst. Sci., vol. 2013, no. August 2012, pp. 351–360.
- [14] MÜLLNER R., RIENER A.: *An energy efficient pedestrian aware Smart Street Lighting system*. Int. J. Pervasive Comput. Commun., vol. 7, no. 2, 2011, pp. 147–161.
- [15] OŻADOWICZ A.: *Automatyka budynkowa w realizacji systemów smart grid – energooszczędność i integracja na poziomie odbiorcy energii*. „Wiadomości Elektrotechniczne” 11/2013, s. 40–44.

 dr inż. Andrzej Ożadowicz, mgr inż. Jakub Grela – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza; Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej; Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii

artykuł recenzowany