

## Pomiary i wizualizacja natężenia światła dziennego w systemie KNX

**Streszczenie.** Przedstawiono wyniki pomiarów natężenia światła dziennego w Laboratorium Systemu KNX i Oceny Efektywności Energetycznej Instalacji Politechniki Poznańskiej. Analiza tych pomiarów pozwoliła określić czynniki wpływające na dostępność światła dziennego do pomieszczeń oraz problemy, które muszą być uwzględnione przy opracowaniu algorytmów sterowania oświetleniem. Przedstawiono sposób pomiarów, rejestrację i wizualizację wyników w systemie KNX.

**Abstract.** The results of daylight measurements in the Laboratory of KNX System and Installations Energy Efficiency Evolution at Poznan University of Technology are presented. Analysis of these results allow to determine the important factors affecting the availability of daylight to the rooms and to identify problems that should be taken into account in the implementation of lighting control strategy. The methods of measurement, recording and visualization are described. (*Daylight measurements and visualization in KNX system*).

**Słowa kluczowe:** światło dzienne w budynku, pomiary natężenia oświetlenia, system KNX, wizualizacja.

**Keywords:** daylight in building, illuminance level measurements, KNX system, visualization.

### Wstęp

Oświetleniu w budynkach stawia się obecnie dwa podstawowe wymagania, a mianowicie spełnienie warunków komfortu świetlnego oraz oszczędność energii. Spełnienie tych wymagań zależy w dużym stopniu od wykorzystania światła dziennego oraz sposobu sterowania oświetleniem. Oświetlenie wewnątrz budynku zależy od warunków klimatycznych kraju, położenia budynku i jego otoczenia (odbicia i zacienienia przez sąsiednie budynki), konstrukcji budynku, szczególnie wielkości okien i głębokości pomieszczeń, wyposażenia pomieszczeń.

Zagadnienia związane z wykorzystaniem światła słonecznego do oświetlenia wewnątrz a przez to do zmniejszenia zużycia energii są przedmiotem normy europejskiej PN-EN 15193 [1], którą należy uwzględniać przy projektowaniu budynku oraz instalacji oświetleniowej. Norma ta została między innymi wykorzystana do opracowania audytu instalacji oświetleniowej kilkukondygnacyjnych budynków użyteczności publicznej [2]. Autorzy zwracają przy tym uwagę na fakt, że na etapie projektowania uwzględnienie wielu czynników, które mogą wpływać na zużycie energii na oświetlenie jest bardzo trudne. W szczególności należy tu wymienić wykorzystanie światła dziennego oraz sterowanie oświetleniem.

Spełnienie wymagań dotyczących oświetlenia wewnątrz jest zagadnieniem bardzo złożonym i liczne prace, między innymi [3] wykazały, że jeśli w budynku nie ma sterowania oświetleniem to zużycie energii elektrycznej na oświetlenie zależy od obecności osób w budynku a nie zależy od światła dziennego. Z tych względów rozwija się badania mające na celu opracowanie algorytmów sterowania, pozwalających przy wykorzystaniu oświetlenia dziennego, na maksymalizację oszczędności energii i jednocześnie spełnienie warunków komfortu, które również są badane w szerokich aspektach oddziaływania światła słonecznego na organizm człowieka. Opracowanie takich algorytmów jest zagadnieniem trudnym ponieważ należy uwzględnić wiele indywidualnych dla danego obiektu parametrów, stąd badania mają również na celu określenie tych parametrów i ich wpływu na oszczędność energii. Należy podkreślić, że brak jest standaryzacji w tym zakresie, ponieważ wyniki badań dotyczą różnych stref klimatycznych, indywidualnego budynku i jego otoczenia lub różnego sposobu użytkowania.

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów natężenia światła dziennego na zewnątrz i wewnątrz budynku Laboratorium Systemu KNX i Oceny Efektywności

Energetycznej Instalacji (Laboratorium SKNXiOEEI) Politechniki Poznańskiej, w którym testowane są między innymi algorytmy sterowania oświetleniem z wykorzystaniem światła dziennego [4]. Analiza wyników pomiarów pozwoliła określić wpływ różnych czynników na dostępność światła dziennego do pomieszczeń oraz zidentyfikować problemy, które muszą być uwzględnione przy opracowaniu algorytmów sterowania oświetleniem. Pomiary były realizowane przez stację pogodową oraz czujnik natężenia oświetlenia do zastosowań zewnętrznych, natomiast wewnątrz pomieszczeń zastosowano czujniki obecności z pomiarem natężenia oświetlenia. Czujniki pracują w systemie KNX, a więc w szeroko stosowanym w praktyce układzie sterowania oświetleniem. Wyniki pomiarów przesyłane są do HomeServera i archiwizowane oraz wizualizowane on-line.

### Pomiary natężenia światła dziennego

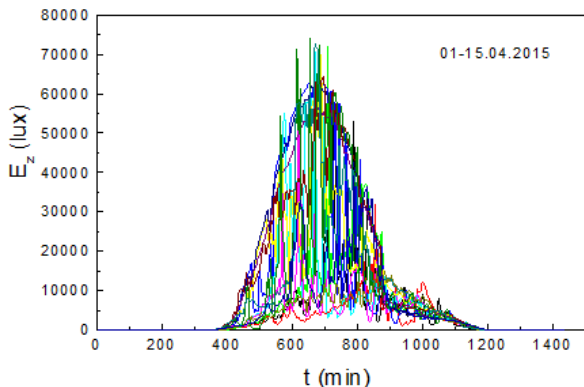
Natężenie światła dziennego mierzone jest na zewnątrz budynku przez stację pogodową zamontowaną na południowo-wschodniej elewacji budynku i czujnik natężenia oświetlenia umieszczony na elewacji północno-wschodniej. Wewnątrz pomieszczeń, natężenie światła mierzone jest przez sufitowe czujniki obecności z wbudowanym czujnikiem światła.

Zmierzone wartości przez wszystkie czujniki w postaci telegramów przesyłane są do HomeServera z wykorzystaniem magistrali KNX. HomeServer wizualizuje wyniki on-line, archiwizuje je i z zadaną częstotliwością (raz na dobę) wysyła dane w pliku .csv na podane konto e-mail. Wybrany format zapisu pozwala na dalszą obróbkę wyników w zewnętrznych programach.

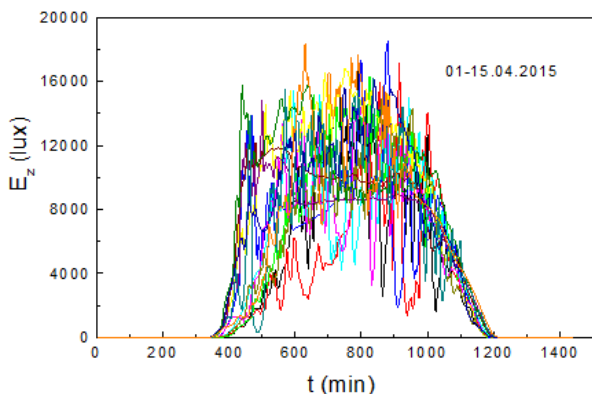
### Natężenie światła dziennego na zewnątrz budynku

Pomiary natężenia światła dziennego wykonywane przez stację pogodową lub czujniki natężenia oświetlenia umieszczone na elewacji budynku mogą służyć do sterowania oświetleniem w pełni otwartej. W zależności od wartości tego natężenia oświetlenie wewnątrz budynku może być załączane lub wyłączane albo rozjaśniane bądź ściemniane. Bardzo ważną funkcją jest również sterowanie roletami w funkcji natężenia światła dziennego, mające na celu ochronę budynku przed nadmiernym nasłonecznieniem i spełnienie warunków komfortu świetlnego oraz oszczędności energii chłodu. W celu zbadania możliwości realizacji tego rodzaju sterowania przeprowadzono analizę zmian natężenia oświetlenia

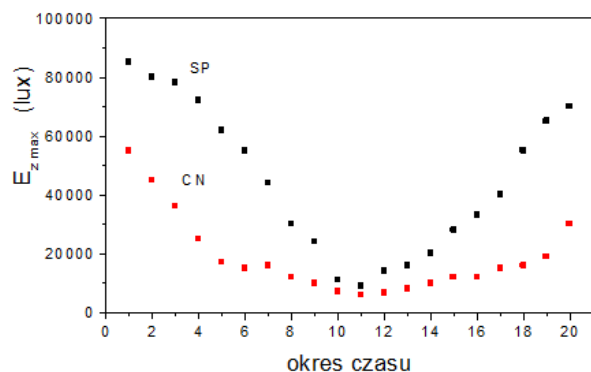
mierzonego przez stację pogodową. Wyniki pomiarów stacji rejestrowane były co 5 minut w okresie od 1 lipca 2014 roku do 30 kwietnia 2015 roku. Na rysunku 1 przedstawiono zmiany natężenia oświetlenia rejestrowane przez stację pogodową każdego dnia w okresie od 1 do 15 kwietnia 2015 roku, natomiast na rysunku 2 – rejestrowane przez czujnik natężenia oświetlenia, w tym samym okresie. Z rysunku wynika bardzo duża zmienność mierzonego natężenia światła. Największe natężenie mierzone przez stację pogodową wynosiło około 75000 lux, natomiast najmniejsze około 5000 lux, przy czym zmiany te były spowodowane chwilowym zachmurzeniem.



Rys.1. Natężenie światła dziennego rejestrowane przez stację pogodową każdego dnia w okresie od 1 do 15 kwietnia 2015 roku



Rys.2. Natężenie światła dziennego rejestrowane przez czujnik natężenia oświetlenia każdego dnia w okresie od 1 do 15 kwietnia 2015 roku



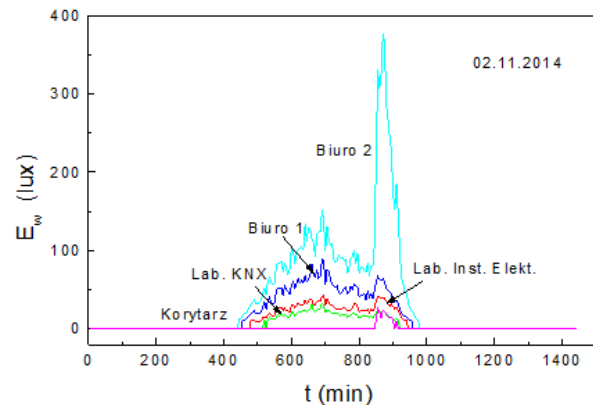
Rys.3. Maksymalne natężenie oświetlenia w 15-dniowych przedziałach czasu od 01.07.2014 do 30.04.2015 pomierzone przez stację pogodową SP i czujnik natężenia oświetlenia CN (1 oznacza okres 1-15.07.2014, 2- 16-31.07.2014, itd.)

Natężenie światła mierzone w tym samym okresie przez czujnik natężenia oświetlenia jest znacznie mniejsze i nie przekracza wartości 20000 lux. Różnice między pomiarami natężenia przez stację pogodową i czujnik natężenia

oświetlenia obrazuje rysunek 3, na którym przedstawiono maksymalne natężenia światła mierzone przez oba czujniki, w kolejnych 15 dniowych przedziałach czasu liczonych od 1 lipca 2014 roku do 30 kwietnia 2015 roku (na rys.3: 1 oznacza okres 1-15.07.2014, 2-16-31.07.2014, itd.). Z rysunku wynika, że różnice w pomiarach przekraczają w miesiącach wiosennych i jesiennych nawet 40000 lux i obrazują one wpływ położenia budynku względem słońca. Najmniejsze różnice występują w grudniu, kiedy nasłonecznienie jest niewielkie.

#### Natężenie światła dziennego wewnątrz budynku

Jak już wspomniano, natężenie światła dziennego wewnątrz budynku zależy od wielu czynników, między innymi położenia budynku, wielkości okien, wielkości pomieszczeń i ich wyposażenia. Na rysunku 4 przedstawiono pomierzone natężenie oświetlenia wewnątrz pomieszczeń Laboratorium SKNXiOEEI w dniu 23 listopada 2014 roku. Natężenie światła dziennego mierzone przez stację pogodową i czujnik natężenia oświetlenia zewnętrznego było praktycznie jednakowe i nie przekraczało 7000 lux. Przy jednakowym natężeniu światła mierzonego przez oba czujniki zewnętrzne nie ujawnia się wpływ położenia budynku na dostęp światła dziennego do pomieszczeń. Największe natężenie oświetlenia, wyższe od 300 lux wystąpiło w biurze 2, jednak czas trwania takiego natężenia jest krótki i nie przekracza kilkadziesiąt minut. W pozostałych pomieszczeniach natężenie oświetlenia jest mniejsze od 100 lux.



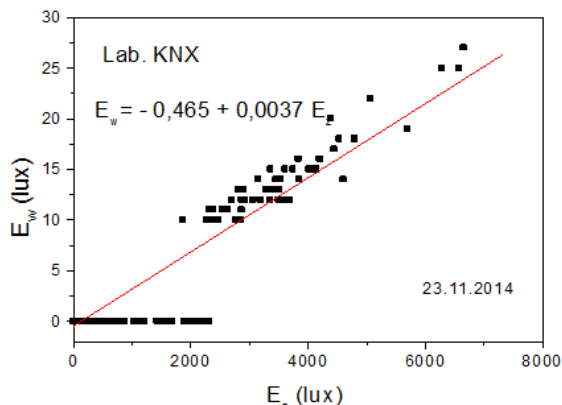
Rys. 4. Natężenie światła dziennego wewnątrz pomieszczeń Laboratorium SKNXiOEEI

Na rysunku 5 przedstawiono zależność natężenia oświetlenia wewnątrz Laboratorium KNX od natężenia światła zewnętrznego mierzonego przez stację pogodową, z którego wynika, że zależność ta jest praktycznie liniowa. Liniową zależność otrzymano również dla Laboratorium Instalacji Elektrycznych oraz biura 1. Pomieszczenia te mają dostęp do światła dziennego przez okna usytuowane na jednej elewacji budynku. Laboratorium KNX posiada okna z dwóch stron pomieszczenia, jednak dostęp światła dziennego jest bardzo ograniczony przez stanowiska laboratoryjne umieszczone w świetle tych okien.

Zależność natężenia światła wewnątrz biura 2 oraz w korytarzu od natężenia światła zewnętrznego jest silnie nieliniowa. Biuro 2 ma dostęp do światła dziennego z dwóch stron pomieszczenia, ponadto, ze względu na niewielką powierzchnię pomieszczenia, czujnik natężenia światła jest usytuowany blisko okien. Korytarz jest głębokim pomieszczeniem z dostępem światła przez jedno okno a czujnik umieszczony jest w odległości 11,2 m od tego okna.

Inną zależność natężenia światła wewnętrznego od natężenia światła zewnętrznego mierzonego przez stację pogodową otrzymano dla dni, w których czujniki

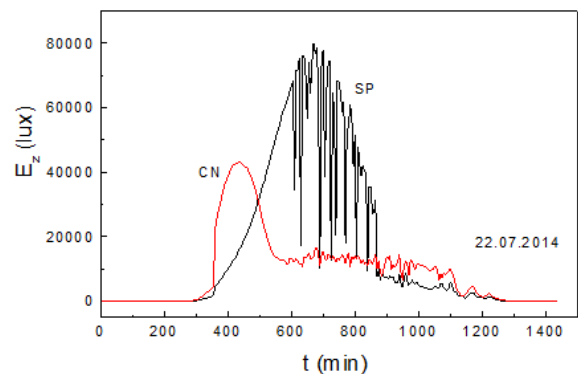
umieszczone na różnych elewacjach budynku rejestrują różne wartości. Przy dużym nasłonecznieniu ujawnia się wpływ położenia budynku na dostęp światła dziennego do różnych pomieszczeń. Dla jednej wartości natężenia światła zewnętrznego występują wówczas dwie różne wartości natężenia oświetlenia wewnętrznego, co wynika z charakteru zmian natężenia światła zewnętrznego.



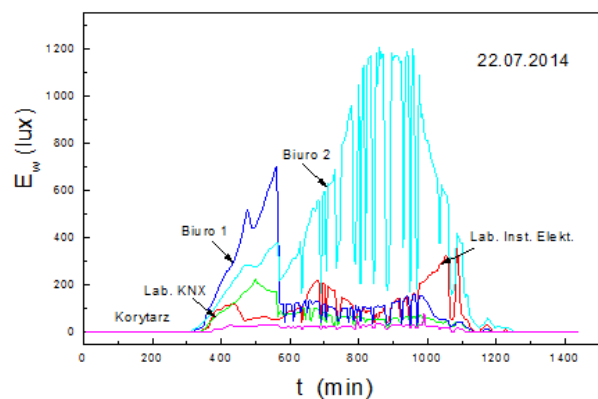
Rys.5. Zależność natężenia światła dziennego wewnątrz pomieszczeń od natężenia światła zewnętrznego

Najtrudniejsze warunki do sterowania oświetleniem występują w słoneczne dni z dużym chwilowym zachmurzeniem. Przykładowe zmiany natężenia światła dziennego w taki dzień zarejestrowane przez czujniki zewnętrzne przedstawiono na rys. 6. Maksymalne natężenie światła mierzone przez stację pogodową SP wynosi około 80000 lux, natomiast mierzone przez czujnik natężenia oświetlenia jest około dwa razy mniejsze i wynosi około 40000 lux. Wysokie natężenie światła mierzone przez czujnik natężenia oświetlenia CN występuje przez około 120 min, następnie maleje do wartości około 10000 lux i takie natężenie występuje przez 560 min. Pomiar wykonywane przez stację pogodową charakteryzują się dużą zmiennością wynikającą z chwilowego zachmurzenia. Jak wynika z rysunku 6 chwilowe zachmurzenie powoduje spadek natężenia światła nawet o 60000 lux. Duża zmienność natężenia światła zewnętrznego powoduje, że również natężenie wewnątrz pomieszczenia charakteryzuje się dużą zmiennością (rys.7). Zmiany natężenia oświetlenia w biurze 2 odpowiadają zmianom światła dziennego, przy czym zmieniają się one od wartości około 1200 lux do wartości poniżej 500 lux wymaganej dla pomieszczenia biurowego. Zastosowanie w tym przypadku sterowania oświetleniem w pętli otwartej spowoduje chwilowe zapalenie i rozjaśnienie oświetlenia sztucznego do różnych poziomów co odczuwane jest jako świetlny dyskomfort. W pozostałych pomieszczeniach Laboratorium SKNXiOEEI po przekroczeniu zadanej wartości natężenia światła dziennego, mierzonego przez stację pogodową nastąpiło opuszczenie żaluzji w celu ochrony pomieszczeń przed nadmiernym nasłonecznieniem i oszczędności energii zużywanej na klimatyzację. Z rysunku 7 wynika, że takie sterowanie w pętli otwartej spowodowało obniżenie natężenia światła dziennego w pomieszczeniach do bardzo różnych wartości. W biurze 1 przez czas około 100 min, natężenie światła dziennego przekroczyło wartość 500 lux, a więc wymaganą dla pomieszczeń biurowych i laboratoriów, następnie po opuszczeniu żaluzji obniżyło się poniżej wartości 500 lux. W laboratoriach natężenie światła było mniejsze od 500 lux a ponieważ czujnik obecności nie wykrywa obecności osób w tych laboratoriach oraz biurze 1 dlatego żaluzje pozostają opuszczone. Wejście do pomieszczenia spowoduje zadziałanie czujnika obecności i podniesienie żaluzji a w przypadku wykrycia zbyt małej

wartości natężenia światła mierzonego przez czujnik oświetlenia – rozjaśnienie oświetlenia sztucznego. Możliwe jest również sterowanie ręczne zarówno oświetleniem jak i żaluzjami.



Rys. 6. Natężenie światła dziennego na zewnątrz budynku pomierzone przez stację pogodową SP oraz czujnik natężenia oświetlenia CN



Rys. 7. Natężenie światła dziennego wewnątrz pomieszczeń

### Wizualizacja pomiarów natężenia oświetlenia

W badanej instalacji, do rejestracji, archiwizacji i wizualizacji wyników pomiarów zastosowano HomeServer firmy GIRA, który podłączono do magistrali KNX przez port USB. Dzięki temu HomeServer może monitorować oraz sterować wszystkimi funkcjami instalacji, do której jest podłączony. HomeServer komunikuje się ponadto z oprogramowaniem SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) poprzez router KNX/IP w celu pobierania informacji z liczników ciepła standardu M-Bus podłączonych do sterownika ControlMaestro firmy SABUR.

W przypadku HomeServera tworzenie wizualizacji systemu można rozpocząć dopiero po zakończeniu prac związanych z uruchomieniem instalacji KNX w oprogramowaniu ETS (Engineering Tool Software). Narzędzia wizualizacyjne, aby mogły komunikować się z systemem muszą posiadać definicje zmiennych (punktów procesu), na których mają operować oraz stanów, które mają odczytywać. W przypadku systemu KNX są to grupy adresowe. Plik z grupami adresowymi wyeksportowany z oprogramowania projektowego ETS należy zaimportować do oprogramowania Expert, służącego do przygotowania wizualizacji oraz realizacji innych zadań sterowania i obróbki danych. Po zaimportowaniu grup adresowych można przypisać je do poleceń elementów wizualizacji. Sposób tworzenia grup adresowych przedstawiono w pracy [5].

Tworzenie aplikacji wizualizacyjnych dla systemu KNX wymagało uwzględnienia bardzo ważnego zagadnienia, a mianowicie sposobu działania i parametryzacji sprzętów. Każde sprzęgło posiada tabelę filtrów zawierającą informacje, które telegramy mają zostać przepuszczone. Tabela filtrów jest tworzona automatycznie, gdy w jednej

grupie adresowej łączymy obiekty komunikacyjne urządzeń z różnych linii. Oprogramowanie wizualizacyjne nie jest jednak „widziane” przez program ETS – nie posiada obiektów komunikacyjnych. Może to spowodować, że z poziomu wizualizacji podłączonej do jednej linii nie będzie możliweysterowanie urządzeń znajdujących się w innej linii, ponieważ sprzęt będzie blokował transmisję telegramu. W mniejszych instalacjach, gdzie obciążenie magistrali nie jest duże, można wyłączyć filtrowanie. W większych systemach nie jest to zalecane, gdyż wpływa niekorzystnie na obciążenie magistrali – telegramy przesyłane są wtedy do wszystkich linii w topologii KNX. Aby rozwiązać ten problem zastosowano procedurę opisaną w pracy [6], polegającą na ręcznym wpisaniu do tablic filtrów sprzętów wszystkich grup adresowych wykorzystanych w wizualizacji, przy czym należy zauważyć, że jest to proces czasochłonny, szczególnie w dużych instalacjach. Innym sposobem jest dołączenie do linii z oprogramowaniem wizualizacyjnym elementu magistralnego o nazwie Dummy, posiadającego obiekty komunikacyjne wszystkich typów, które należy połączyć z grupami adresowymi użytymi w wizualizacji.

Dostęp do wizualizacji jest możliwy z poziomu dowolnej przeglądarki, również przez Internet. Na rysunku 8 przedstawiono ekran z projektu wizualizacji opracowanej dla Laboratorium SKNXiOEEI przy wykorzystaniu HomeServera z parametrami natężenia oświetlenia na zewnątrz budynku oraz we wszystkich pomieszczeniach Laboratorium.



Rys. 8. Widok Laboratorium SKNXiOEEI z wynikami pomiarów natężenia światła dziennego na zewnątrz budynku oraz w pomieszczeniach

Oprócz możliwości wizualizowania on-line wyników pomiarowych oraz sterowania elementami instalacji HomeServer wykorzystano do zapisywania wartości telegramów KNX w pamięci urządzenia oraz cyklicznego ich wysyłania na adresy e-mail w zadanych odstępach czasu. Moduł funkcji logicznych pozwala również na implementację złożonych algorytmów sterowania oraz wywoływania sekwencji zdarzeń np. podczas uzbrajania i rozbrajania Systemu Sygnalizacji Włamania i Napadu. Podczas uzbrajania tego systemu wysłane zostają telegramy do wszystkich aktorów sterujących oświetleniem, które powodują jego wyłączenie a telegramy wysłane do aktorów grzewczych i serwonapędów powodują obniżenie temperatury w strefach grzewczych. Kontrolowane i sygnalizowane są również stany otwarcia okna dzięki kontaktronom wysyłającym informacje na magistralę przez wejścia binarne.

HomeServer ma również moduł generowania wykresów, dzięki któremu na jednym grafie zaprezentować można np. dobowy przebieg natężenia oświetlenia zewnętrznego i wewnętrznego. Rejestrowanie wartości co minutę pozwala na wygenerowanie dokładnego przebiegu zmierzonych wartości i wnioskowanie o wzajemnych zależnościach.

Serwer iETS wbudowany w urządzenie pozwala na zdalne programowanie elementów magistralnych KNX.

## Wnioski

Wyniki pomiarów natężenia światła dziennego przez stację pogodową oraz zewnętrzny czujnik natężenia światła wykazują, że w słoneczne dni zależą one od położenia budynku względem słońca i mogą się różnić o dziesiątki tysięcy luxów. W pomieszczeniach, dla tych samych warunków zewnętrznych natężenie światła mierzone przez czujniki natężenia oświetlenia jest bardzo różne, dlatego sterowanie w pętli otwartej jest ograniczone do jednakowych pomieszczeń i równomiernego oświetlenia elewacji budynku. W polskich warunkach klimatycznych natężenie światła dziennego wykazuje bardzo dużą, większą od 50000 lux, zmienność wynikającą z chwilowego zachmurzenia. Algorytmy sterowania oświetleniem muszą wyeliminować wpływ tej zmienności na działanie oświetlenia sztucznego przy sterowaniu w pętli zamkniętej. Dostęp do światła dziennego zależy od wielu czynników, które mogą się zmieniać w czasie eksploatacji budynku, dlatego algorytmy sterowania oświetleniem powinny być dobrane do indywidualnych warunków projektowanego obiektu. W doborze algorytmów oraz kontroli warunków oświetleniowych przydatna jest wizualizacja zrealizowana przy wykorzystaniu HomeServera.

<sup>1)</sup>Praca finansowana w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka nr POIG.02.02.00-00-018/08 p.t. Sieć certyfikowanych laboratoriów oceny efektywności energetycznej i automatyki budynków oraz 04/41/DSPB/4239.

**Autorzy:** prof. dr hab. inż. Aniela Kamińska, Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: Aniela.Kaminska@put.poznan.pl; mgr inż. Leszek Muszyński doktorant na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej

## LITERATURA

- [1] PN-EN 15193:2010 Charakterystyka energetyczna budynków – wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia
- [2] L. Borowik, M. Kurkowski, Audyt energetyczny a zużycie energii elektrycznej w instalacjach oświetlenia wnętrz, Przegląd Elektrotechniczny, R.90, 1, 2014, 285-287
- [3] J. A. Love, Manual switching patterns observed in private offices, Lighting Research and Technology 30, 1998, 45-50
- [4] A. Kamińska, R. Radajewski, Instalacja do badania algorytmów sterowania oświetleniem, Przegląd Elektrotechniczny, 10, 2010, 286-288
- [5] A. Kamińska, L. Muszyński, Z. Boruta, R. Radajewski, Nowoczesne techniki w projektowaniu energooszczędnych instalacji budynkowych w systemie KNX, POIG.02.02.00-00-018/08-00, 2011
- [6] Materiały szkoleniowe: KNX Advanced Course: Visualization Systems E1212a, 2012, 16-18