

KORELACJA ŚWIATŁA DZIENNEGO Z EFEKTYWNOŚCIĄ ENERGETYCZNĄ OBIEKTU

S. Sowa

Instytut Elektroenergetyki, Wydział Elektryczny, Politechnika Poznańska, Poznań, Polska

STRESZCZENIE

Wykorzystanie światła dziennego może przyczynić się do zwiększenia efektywności energetycznej w instalacjach oświetleniowych. Zużycie energii na oświetlenie w obiektach to ok. 20% całkowitych kosztów energii elektrycznej. Wprowadzenie odpowiednich algorytmów sterowania oświetleniem może wpłynąć w znacznym stopniu na ograniczenie w zużyciu energii elektrycznej w instalacjach oświetleniowych. Poprawa efektywności energetycznej obiektów jest obecnie zagadnieniem bardzo aktualnym, mającym swoje odzwierciedlenie w dyrektywach, ustawach oraz normach. W artykule opisano problematykę efektywności energetycznej w kontekście ograniczenia zużycia energii elektrycznej w instalacjach oświetleniowych. Przedstawiono także wyniki badań, których zastosowanie, w kontekście sterowania oświetleniem, pozwoli na uzyskanie oszczędności w zużyciu energii elektrycznej poprzez wykorzystanie odpowiednich systemów sterowania.

WPROWADZENIE

Promieniowanie słoneczne, które dociera do górnej części atmosfery Ziemi ma stałą wartość wynoszącą ok. 1366 W/m^2 i jest nazywana stałą słoneczną. Ta wielkość natężenia zmienia się w zależności od odległości Ziemi od Słońca, a zmiany wahają się w granicach 3-4%. W dalszej drodze promieniowanie jest częściowo pochłaniane przez atmosferę oraz rozpraszane. Do powierzchni Ziemi, w zależności od położenia i warunków atmosferycznych, dociera od kilkudziesięciu do 1100 W/m^2 . Z całego pasma elektromagnetycznego docierającego do obiektu dla wykorzystania w oświetleniu pomieszczeń istotna jest część pasma w zakresie promieniowania widzialnego, czyli fali o długości 400-800 nm. Promieniowanie słoneczne docierające do budynku odgrywa szczególną rolę w bilansie energetycznym nowych energooszczędnych budynków. Światło dzienne docierające do pomieszczeń zapewnia ich odpowiednie doświetlenie,

Z przeprowadzonych obserwacji wynika jednak, że użytkownicy pomieszczeń nie przywiązują uwagi do zapewnienia wystarczających warunków komfortu oświetleniowego wynikającego z doprowadzenia światła dziennego. W zamian za to, często wykorzystywane jest sztuczne oświetlenie, nawet gdy nie występuje taka potrzeba. Jest to główna przyczyna braku oszczędności

w zużyciu energii elektrycznej przez oświetlenie. Rosnące wymagania dotyczące poprawy efektywności energetycznej obiektów zmuszają projektantów nowych obiektów oraz właścicieli istniejących do wprowadzania rozwiązań, które będą dążyły do ograniczenia zużycia energii. Ograniczenia te jednak nie mogą wpływać na pogorszenie warunków i komfortu użytkownika pomieszczeń. Zapewnienie odpowiedniego natężenia oświetlenia w pomieszczeniu można powierzyć systemom automatycznego sterowania oświetleniem. W dalszej części artykułu opisano sposoby sterowania oświetleniem z uwzględnieniem wariantu wykorzystującego dostępność światła dziennego. Najkorzystniejsze efekty można uzyskać w obiektach użyteczności publicznej a wynika to ze stosunkowo łatwej implementacji systemu sterowania oraz powtarzalności układu punktów oświetleniowych w pomieszczeniach. Wprowadzenie oszczędności w zużyciu energii elektrycznej na oświetlenie może zostać zrealizowane poprzez zastosowanie systemu sterowania. Zapewnienie maksymalnej wydajności układów sterujących oświetleniem, a zarazem osiągnięcie, największych oszczędności w zużyciu energii elektrycznej, jest możliwe dzięki wykorzystaniu danych o rozkładzie natężenia światła w pomieszczeniu. Zagadnienie to zostało zaprezentowane w niniejszym artykule. Szczególną uwagę zwrócono na wykorzystanie światła dziennego.

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA

Ogólnoswiatowa tendencja do ograniczenia zużycia energii końcowej w obiektach jest głównie odnoszona i kojarzona z poprawą efektywności energetycznej. Ustawa z dnia 20 maja 2016 roku, definiuje efektywność energetyczną jako stosunek uzyskanej wielkości efektu użytkowego danego obiektu, urządzenia technicznego lub instalacji, w typowych warunkach ich użytkowania lub eksploatacji, do ilości zużycia energii przez ten obiekt, urządzenie techniczne lub instalację, albo w wyniku wykonanej usługi niezbędnej do uzyskania tego efektu. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE nakłada obowiązek na kraje członkowskie, wprowadzenia działań, dążących do zmniejszenia zużycia energii finalnej. Poprawę efektywności energetycznej obiektów można realizować na różne sposoby. Ograniczenie zużycia ciepła jest realizowane najczęściej poprzez termomodernizację. Oszczędności w zużyciu energii elektrycznej szuka się poprzez

stosowanie energooszczędnych źródeł oświetlenia oraz stosowanie urządzeń elektrycznych charakteryzujących się niskim zużyciem energii elektrycznej. W kolejnej części artykułu przedstawiono sposoby zmniejszenia zużycia energii w instalacjach oświetleniowych, które prowadzą do znacznej poprawy efektywności energetycznej w tych instalacjach.

BADANIA ROZKŁADU NATĘŻENIA ŚWIATŁA

Układ pomiarowy

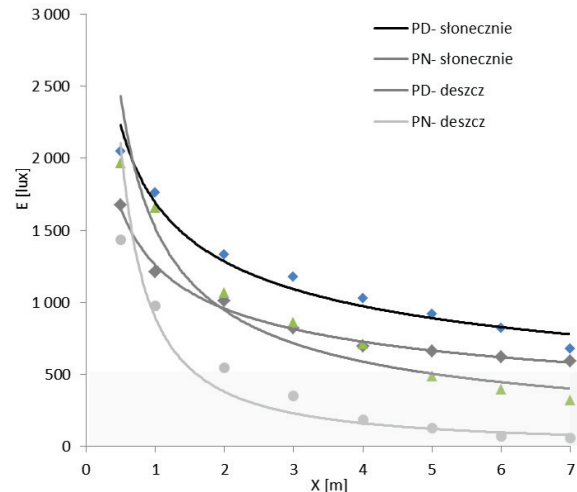
Światło dzienne docierające do pomieszczenia jest osłabiane przez różne przeszkody w postaci sąsiednich zabudowań, architektury krajobrazu, np. drzew, krzewów itp. Dostępność światła dziennego w pomieszczeniach jest w znaczący sposób uzależniona od szerokości geograficznej, położenia obiektu względem stron świata, a także ze względu na rodzaj i konstrukcję otworu okiennego. Parametry na podstawie których określić można dostępność światła dla pomieszczenia, opisuje w sposób szczegółowy norma PN 15193. Norma określa współczynniki, na podstawie których klasyfikuje się pomieszczenia jako z dużą, średnią bądź małą dostępnością światła.

Do opracowania efektywnego systemu sterowania istotne są dane dotyczące rozkładu natężenia światła w pomieszczeniu. Do wykonania takich pomiarów została użyta matryca fotorezystorowa. W skład matrycy wchodzi 16 czujników oraz jednostka centralna przetwarzająca i rejestrująca dane. Czujniki są umieszczone na wysokości referencyjnej 0,7 m od powierzchni podłoża. Pomiar natężenia światła jest dokonywany jednocześnie w 16 punktach. Taka metoda pomiarów eliminuje błędy pojawiające się w przypadku mierzenia ręcznym luksomierzem. W ręcznym sposobie pomiarów nawet niewielkie zmiany położenia czujnika mierzącego wartość natężenia światła, powodują znaczne zmiany w wynikach pomiaru. Ponadto czas pomiędzy pomiarem w pierwszym punkcie, a szesnastym jest na tyle duży, że warunki zewnętrzne, np. w pochmurny dzień, mogą ulec zmianie i wyniki będą opatrzone błędami. Wartości natężenia światła zostają przesłane do jednostki centralnej, która jest połączona z komputerem, gdzie zapisywane są mierzone wielkości.

Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów dostarczają informacje o rozkładzie natężenia światła w pomieszczeniu i pozwalają określić wymagane natężenie dla całej głębokości pomieszczenia. Rysunek 1 przedstawia rozkład natężenia światła w badanym pomieszczeniu. Badania zostały wykonane w pomieszczeniach położonych od strony południowej (PD) i północnej (PN), zarówno w słoneczny, jak i deszczowy dzień. Zaznaczona na wykresie wartość 500 lux wskazuje wymagane natężenie oświetlenia, jakie powinno zostać zapewnione dla tego typu pomieszczeń (budynek edukacyjny, sala wykładowa). Z przebiegu krzywych wynika, że w pochmurny, deszczowy dzień, w sali położonej od PD, wymagane natężenie światła jest zapewnione w odległości do 5 m od okna. W sali

położonej od strony PN w ten sam deszczowy dzień, w całej głębokości pomieszczenia nie ma wymaganego natężenia światła. W pogodny, słoneczny dzień, sala od strony PD, jak i PN ma wystarczające natężenia światła dziennego w całej głębokości pomieszczenia. Analizując przebieg krzywych rozkładu natężenia oświetlenia i odnosząc się do wartości natężenia światła na zewnątrz obiektu, można określić konkretne zależności.



Rys. 1. Rozkład natężenia światła w pomieszczeniach usytuowanych od strony PN i PD

Zależności te pozwalają ustalić jak przebiega rozkład natężenia światła w pomieszczeniu dla odpowiednich wartości natężenia światła zewnętrznego. Przeprowadzone badania wykazały, że dla natężenia światła zewnętrznego wynoszącego poniżej 7000 lux, w całej głębokości pomieszczenia nie ma wymaganego natężenia oświetlenia. Natomiast, gdy na zewnątrz wartość natężenia światła wynosi 12000 lux i więcej, to w całym pomieszczeniu jest wymagana wartość natężenia oświetlenia. Zastosowanie układu sterowania opartego jedynie na pomiarze zewnętrznych wartości natężenia światła, może okazać się niewystarczające. Sterowanie, które opierałoby się tylko na wartościach natężenia mierzonych na zewnątrz nie uwzględniałoby występujących ewentualnych przeszkód na drodze światła docierającego do pomieszczenia, takich jak np. zabrudzone szyby. Podjęto więc decyzję o wykorzystaniu wewnętrznych czujników natężenia oświetlenia, które będą mierzyć rzeczywistą wartość natężenia docierającego do pomieszczenia. Opracowywane są obecnie algorytmy, które mają wyeliminować zmiany w wartościach mierzonych pochodzących od sztucznych źródeł oświetlenia. W następnej części artykułu zaproponowano układ sterowania oświetleniem, który wykorzystuje pomiary natężenia oświetlenia z czujników zewnętrznych i wewnętrznych.

UKŁAD STEROWANIA OŚWIETLENIEM

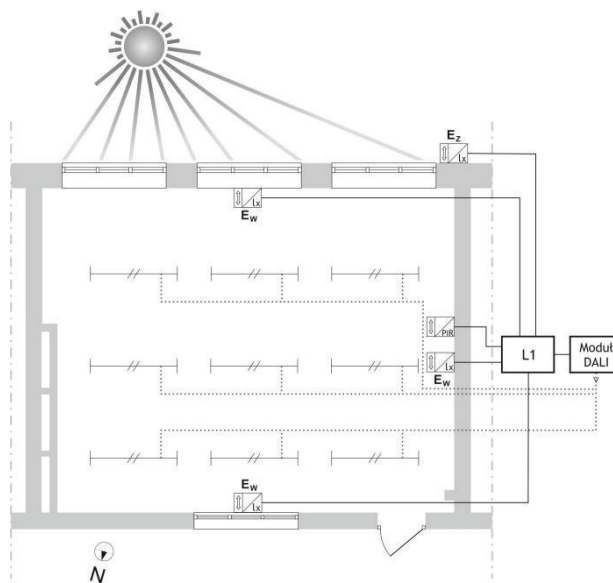
Implementacja wyników pomiaru

Uzyskane wyniki pomiarów natężenia oświetlenia mogą posłużyć, jako dane wejściowe do układu sterującego w sposób niezależny poszczególnymi grupami lamp lub pojedynczymi oprawami oświetleniowymi w pomieszczeniu. Najprostszy byłby układ załączający oświetlenie przy niedostatecznej wartości natężenia światła wewnątrz pomieszczenia. Sterowanie typu on/off będzie wprowadzało oszczędności w zużyciu energii w sytuacji, gdy wewnątrz pomieszczenia jest wystarczające natężenie światła. Powstaje pytanie, w którym miejscu pomieszczenia należy dokonać pomiaru, aby przyjąć to za reprezentatywny punkt dla całego pomieszczenia? Ponadto należy zauważyć, że sterowanie typu on/off dla wszystkich zainstalowanych lamp będzie nieefektywne i nie zapewni równomiernego oświetlenia pomieszczenia. Lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie sterowania grupami lamp, np. poszczególnymi rzędami. Wówczas opierając się na wynikach pomiarów rozkładu natężenia światła w pomieszczeniu można określić przy jakich wartościach natężenia światła, które rzędy powinny być załączone, a które mogą zostać wyłączone.

System sterowania oświetleniem

Wszystkie pomieszczenia w zależności od pełnionej funkcji i swojego przeznaczenia muszą mieć zapewnione, wymagane normami i przepisami, odpowiednie natężenie oświetlenia. Zaproponowany system sterowania oświetleniem, w oparciu o badania rozkładu natężenia światła w pomieszczeniach, pozwala na znaczne obniżenie zużycia energii poprzez wykorzystanie światła dziennego. Z przeprowadzonych analiz i obserwacji wynika, iż duża część energii jest zużywana na oświetlenie w sytuacji, gdy światło dzienne zapewnia wystarczające natężenie oświetlenia w pomieszczeniu. Przedstawiony na rysunku 2 system sterowania oświetleniem pozwala na podstawie informacji z czujników zewnętrznych i wewnętrznych, sterować mocą poszczególnych źródeł oświetlenia sztucznego, w sposób zapewniający wymagane, równomierne natężenie oświetlenia w całym pomieszczeniu. System sterowania wyposażony jest w czujniki obecności PIR, które pozwolą na wyłączenie oświetlenia podczas nieobecności użytkownika. Czujniki będą miały nastawione czasy zwłoki, które będą określone dla konkretnych pomieszczeń. Dzięki temu zostanie wyeliminowany efekt częstego załączania i wyłączania, który wystąpiłby podczas chwilowej, krótkotrwałej nieobecności.

Zewnętrzny czujnik natężenia światła E_z będzie w pierwszej kolejności przekazywał do systemu informację dotyczącą wielkości natężenia światła. Blok sterujący L1, który posiada zaimplementowane informacje z pomiarów natężenia oświetlenia, wysła informację do jednostki wykonawczej DALI o odpowiednim załączeniu konkretnych źródeł oświetlenia. Zanim to jednak nastąpi weryfikowana jest jeszcze wartość mierzona przez wewnętrzne czujniki natężenia oświetlenia E_w .



Rys. 2. Poglądowy system sterowania oświetleniem wykorzystujący światło dzienne

POPRAWA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ OBIEKTU

Uzyskane oszczędności

Na podstawie symulacji i obliczeń oszacowano, że zastosowanie układu sterowania przedstawionego na rysunku 2, pozwoli na zmniejszenie zużycia energii elektrycznej w instalacjach oświetleniowych o 47%. Obliczenie przeprowadzono na podstawie wyników badań rozkładu natężenia światła w pomieszczeniu i obliczono czas, w którym oświetlenie może zostać całkowicie wyłączone lub mogą być włączone tylko wybrane rzędy lamp. Mając całoroczne informacje o natężeniu światła dziennego na zewnątrz obiektu (np. na podstawie danych ze stacji meteorologicznej), można dokonać szacunkowych obliczeń zużycia energii elektrycznej na oświetlenie z wykorzystaniem systemu sterowania obwodami oświetleniowymi.

Aspekty ekonomiczne

Implementację systemu sterowania oświetleniem, który wykorzystuje światło dzienne, umożliwia wiele rodzajów sterowania. Można poszukiwać oszczędności w automatyce budynkowej i oprzeć sterowanie oświetleniem na najtańszych elementach, które niekoniecznie będą gwarantować poprawne i niezawodne działanie. W obiekcie badawczym, w którym przeprowadzone zostały badania rozkładu natężenia światła dziennego, zainstalowany jest system w oparciu o standard KNX. To ogólnosiwiatowy standard, który umożliwia zarządzanie, kontrolę zainstalowanych urządzeń magistralnych, wykonawczych i sterujących. Bardzo istotnym jest fakt, iż KNX może integrować instalacje elektryczne, teletechniczne, alarmowe, monitoringowe, zabezpieczające i inne. Takie rozwiązanie zapewnia stosunkowo bezproblemową implementację w

dowolnym obiekcie. Urządzenia działające w standardzie KNX nie należą do najtańszych, jednak szeroki wybór urządzeń, dowolność rozwijania funkcjonalności automatyki budynkowej oraz możliwość zdalnej kontroli wszystkich instalacji budynkowych, sprawiają, iż jest to korzystny wybór. Biorąc pod uwagę, że zastosowanie powyższego układu sterowania oświetleniem z wykorzystaniem światła dziennego, pozwala na ograniczenie zużycia energii elektrycznej o 47%, to zakup urządzeń automatyki realizujący przedstawione na rysunku 2 sterowanie, zwróci się w okresie ok. 2,5 roku. Należy przy tym wspomnieć, że instalacja oświetleniowa zyska dodatkowe funkcjonalności. Zwiększy się także komfort użytkowania pomieszczeń.

PODSUMOWANIE

Działania prowadzące do zwiększenia efektywności energetycznej obiektów są wprowadzane do coraz większej liczby budynków. Nowe obiekty projektuje się z uwzględnieniem współczynników energetycznych zapewniających jak najmniejsze zużycie energii finalnej. Przedstawiony w artykule sposób wykorzystania światła dziennego do zmniejszenia zużycia energii elektrycznej jest jednym z wielu sposobów poprawy efektywności energetycznej obiektów. W oparciu o przeprowadzone badania można dokonać oszacowania oszczędności, które można osiągnąć w każdym obiekcie wyposażonym w odpowiednie układy sterowania oświetleniem. Szczególną uwagę zwrócono na sterowanie oświetleniem, które uwzględnia światło dzienne docierające do obiektu. Znaczące oszczędności można uzyskać głównie w obiektach użyteczności publicznej, w których zainstalowanych jest wiele punktów oświetleniowych. Występują w nich podobne pomieszczenia, a czas i sposób ich użytkowania jest w znaczący sposób do siebie zbliżony.

Obecnie trwają prace badawcze, które mają określić odpowiednie położenie czujników wewnętrznych natężenia oświetlenia. Zakłada się, że na podstawie informacji z 3 - 4 czujników, system sterowania umożliwi sterowanie wszystkimi oprawami świetlnymi w sposób zapewniający jednakowe natężenie oświetlenia na całej powierzchni pomieszczenia.

W dobie rosnących cen energii, co za tym idzie kosztów utrzymania obiektów, zasadne jest wprowadzanie systemów i układów ograniczających zużycie energii. W ostatnich latach możemy obserwować rosnące zainteresowanie budynkami energooszczędnymi i pasywnymi. Coraz większą popularność w budownictwie zdobywa standard NZEBs (Nearly zero-energy buildings). Upowszechnienie tego standardu wymusi zapewne coraz szersze stosowanie OZE, którego jednym z elementów jest zastosowanie promieniowania słonecznego. Wykorzystanie światła

dziennego do zapewnienia właściwego oświetlenia pomieszczeń, nie tylko przyniesie wymierne zyski w postaci niższych kosztów za energię, ale przyczyni się także do poprawy komfortu użytkowania obiektów i polepszenia warunków pracy i życia.

LITERATURA CYTOWANA

Chwieduk D., 2011, *Energetyka słoneczna budynku* Arkady, Warszawa 2011

Chwieduk D., 2015, *Solar energy in buildings. Budownictwo energooszczędne w Polsce : stan i perspektywy*, Bydgoszcz, pp. 177-185

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego I Rady Europy 2012/27/UE z dn. 12.10.2012 r.

Kurkowski M., Popławski T., Cieślak P., 2017, *Efektywność energetyczna instalacji oświetleniowej z układami sterowania*. Przegląd Elektrotechniczny, No 1, pp. 165-168

PN-EN 12464-1:2012, *Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy, Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach*, PKN, Warszawa

PN-EN 15193:2017, *Charakterystyka energetyczna budynków- Wymagania energetyczne dotyczące oświetlenia*, PKN, Warszawa

Sowa S., 2018, *A The use of the solar radiation to lower consumption of the electric power for lighting in buildings* . Electrical Engineering, Vol.96, Poznan University of Technology, Academic Journals, pp. 78-81

Sowa S., Gielniak J., 2018, *Algorytmy sterowania oświetleniem w budynku szkoły z wykorzystaniem system KNX*. Electrical Engineering, Vol.96, Poznan University of Technology, Academic Journals, pp. 78-81

UEE 2016- Ustawa o efektywności energetycznej, art. 2, pkt. 3, Dziennik Ustaw RP z dn. 20.05.2016r., Warszawa.

Yun G.Y., Kong H.J., Kim H., Kim J.T., 2012, *Effets of occupancy and lighting use patterns on lighting energy consumption*. Energy and Buildings, No 46, pp. 152-158