

Współbieżne oświetlenie dróg w praktyce

Streszczenie. W artykule została przedstawiona analiza funkcjonowania systemu oświetlenia współbieżnego zrealizowanego na ulicy Bożeny w Poznaniu. Ocenie zostało poddane rzeczywiste zużycie energii elektrycznej przez system w czasie rocznego okresu jego eksploatacji. Oszacowany został okres eksploatacji sprzętu wynikający z trwałości diod elektroluminescencyjnych. System został także oceniony przez mieszkańców w badaniach ankietowych.

Abstract. The article presents an analysis of the working concurrent lighting system realized on Bożeny Street in Poznań. The real electrical energy consumption by the system during its annual work was assessed. The equipment lifetime has been estimated as a result of the lifetime of the light emitting diodes. The system was also rated by residents in the survey. (**Concurrent Lighting System In Practice**).

Słowa kluczowe: oświetlenie drogowe, sterowanie oświetlenia, diody elektroluminescencyjne.

Keywords: road lighting, lighting control, light emitting diodes.

Wstęp

Poszukiwanie rozwiązań pozwalających na ograniczenie zużycia energii elektrycznej jest obecnie istotą postępu technologicznego we wszystkich dziedzinach działalności człowieka. Działania te są podyktowane zarówno rosnącymi cenami surowców energetycznych, wpływającymi na koszty produkcji energii elektrycznej, jak i troską o środowisko naturalne. Wspierany jest rozwój nowych technologii niosących poprawę efektywności energetycznej. Rozwiązania, które do niedawna wydawały się nieopłacalne lub nierealne do zrealizowania obecnie są wykorzystywane i wprowadzane w życie. Także dawne pomysły, które nie znajdowały dotychczas zastosowania, łączone są z nowoczesnymi technologiami i dają całkiem niespodziewane efekty. W ten właśnie sposób technologia diod elektroluminescencyjnych tchnęła nowe życie w prawie zapomniany pomysł stworzenia współbieżnego oświetlenia dróg.

Pod koniec lat osiemdziesiątych XX wieku powstał w Japonii system monitorowania ruchu samochodowego, którego logiczną konsekwencją było opracowanie systemu automatycznego sterowania oświetleniem [1]. W tamtych czasach idea nie mogła znaleźć praktycznego zastosowania, ponieważ nie istniało odpowiednie źródło światła. Żarówki, co prawda posiadały odpowiednią szybkość reakcji na wymuszenie, jednak ich niska skuteczność świetlna w porównaniu do właśnie w tamtym czasie wprowadzanych na rynek wysokoprężnych lamp sodowych nie dawała im żadnych szans. Lampy wyładowcze natomiast charakteryzują się zbyt długim czasem zapłonu. Dopiero pojawienie się LEDów wypełniło tę lukę i otworzyło drogę do realizacji idei sprzed ponad 30 lat.

Szczegółowe zasady sterowania oprawami w oświetleniu współbieżnym zostały przedstawione we wcześniejszej publikacji [2]. System oświetlenia współbieżnego z drobnymi modyfikacjami został wdrożony przez firmę Micromex i obecnie jest oferowany pod nazwą LEDMICON [3]. Do jego budowy użyto sterowników OLC-230DALI / MD [4] umieszczonych we wszystkich oprawach LED i sterownika LIS-UNI, PLC LonWorks [5] z wbudowanym zegarem astronomicznym regulującym czas wieczornego załączania systemu oświetleniowego i wyłączania go rano, nadzorującego funkcjonowanie systemu, umieszczonego w szafie sterowniczej. Na każdym ze słupów oświetleniowych został umieszczony także czujnik ruchu zbierający informacje o aktualnym położeniu każdego z użytkowników.

Praktyczne zastosowanie systemu

System został zainstalowany na ulicy Bożeny w Poznaniu. Długość drogi objętej systemem wynosi 1300

metrów. Na odcinku testowym zostało zainstalowanych 56 opraw o mocy 73 W każda. Całkowita moc oświetlenia wyniosła 4088 W. Ulica ta doskonale spełnia wymagania, jakie muszą być postawione przed ciągiem komunikacyjnym, by system oświetlenia mógł na nim działać poprawnie. Jest to prosta droga o długości ponad jednego kilometra o znaczeniu lokalnym. Ruch na niej może być określony jako mały lub bardzo mały. Niewielka liczba domów znajduje się jedynie po jednej stronie ulicy w niewielkim oddaleniu od niej.

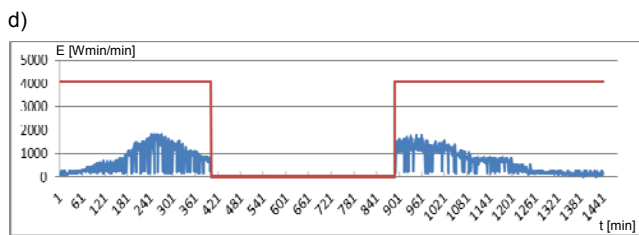
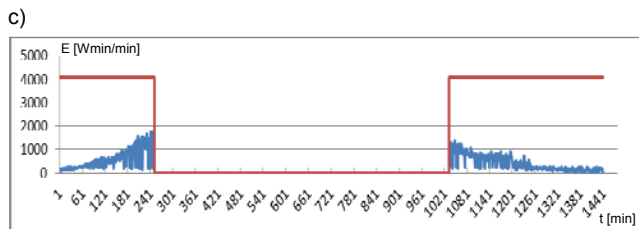
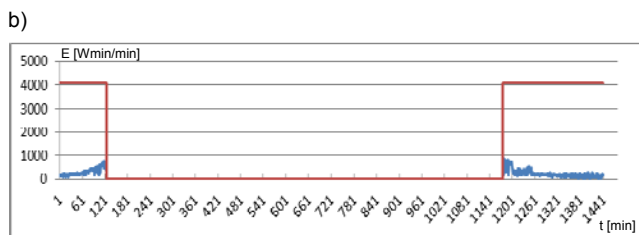
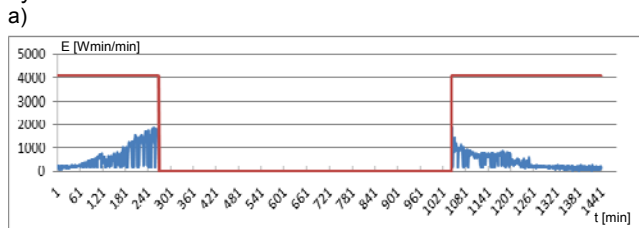
W ciągu roku kalendarzowego (od 1 stycznia do 31 grudnia) monitorowane były ilość i jakość zużywanej przez system energii elektrycznej. Dane obejmujące pobór energii, średnie napięcie skuteczne, natężenie prądu i współczynnik mocy każdej fazy linii zasilającej były całkowane w interwałach jednonumitowych i przechowywane w pamięci zainstalowanego przez Zakład Energetyczny licznika energii. Dane te zostały wykorzystane do oceny oszczędności energii elektrycznej wykorzystanej przez system oświetlenia współbieżnego przez porównanie z urządzeniem oświetleniowym pracującym ze stałą mocą równą mocy nominalnej systemu i oświetleniem z 50% redukcją mocy w stałych godzinach późnonocnych, w których ruch na ulicy prawie całkowicie zamiera. Okres potencjalnej redukcji mocy w systemie porównawczym został przyjęty na podstawie rzeczywistych danych mówiących o zmniejszeniu ruchu w środku nocy, odczytanych z działania badanego systemu. Na analizowanej ulicy nie były oceniane parametry oświetleniowe, a porównanie efektów energetycznych dotyczy identycznego nominalnego stanu oświetlenia.

Minutowe zużycie energii w każdej z trzech faz zostało zsumowane w minutowe zapotrzebowanie systemu na energię elektryczną.

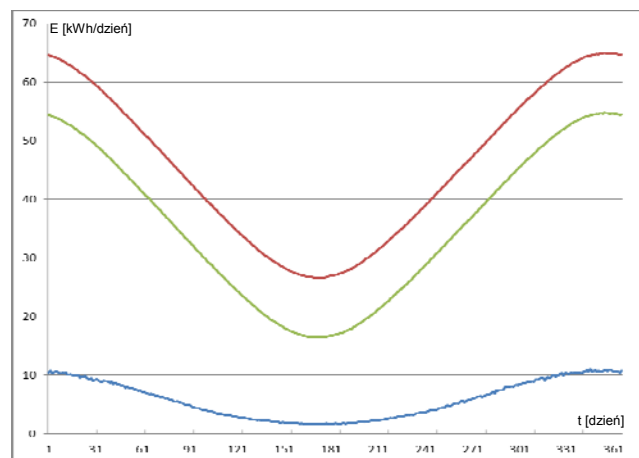
Pokazanie zmienności przebiegów zużycia energii w każdym z 365 dni w roku jest praktycznie niemożliwe. Dlatego też, jako przykład, wybrane i przedstawione zostały cztery charakterystyczne dni w roku: 20 marca (Rys. 1a), 21 czerwca (Rys.1b), 23 września (Rys 1c) i 22 grudnia (Rys 1d). Przebiegi są podobne w charakterze, mieszczą się pod tą samą obwiednią niezależnie od pory roku. Największe różnice wynikają głównie ze zmian w czasie pracy systemu - zależne od dziennych pór wschodów i zachodów słońca. Na podstawie tych przebiegów można wyznaczyć czas, w którym następuje spadek ruchu, który trwa 4,5 godziny, od 22:00 do 2:30.

Jednonumitowe wartości zużycia energii zostały zsumowane dla każdego dnia dając dzienne zużycie energii. Na wspólnym wykresie (rys. 2) są pokazane przebiegi zmienności dziennego zużycia energii układu

pracującego cały czas ze stałą mocą zgodnie z tabelami wschodów i zachodów słońca (czerwona linia), z uwzględnieniem 4,5 godzinnej redukcji mocy o 50% (zielona linia) i działające zgodnie z zasadami oświetlenia współbieżnego (niebieska linia). Pierwsze dwa przebiegi zostały określone teoretycznie na podstawie czasu załączania i wyłączenia oświetlenia odczytanych z jednoczynowych przebiegów zużycia energii przez badany system.



Rys. 1. Dzielne przebiegi zużycia energii elektrycznej: a) 20. marca, b) 21. czerwca, c) 23. września, d) 22. grudnia.



Rys. 2. Dzielne zużycie energii przez rok: ze stałą mocą – linia czerwona, z 50% redukcją mocy w porze późnonocnej – linia zielona, system współbieżny – linia niebieska.

Roczne zużycie energii elektrycznej przez urządzenie oświetleniowe zostało obliczone poprzez zsumowanie przez cały rok dziennego zużycia energii w poszczególnych trybach pracy. Instalacja pracująca ze stałą mocą nominalną zużywałaby 16 714 kWh rocznie. Wprowadzenie opisanych powyżej ograniczeń mocy w środku nocy, zmniejszyłoby zużycie energii do 12 974 kWh rocznie, co stanowi redukcję o 22,4%. Urządzenie oświetleniowe pracujące w trybie sterowania współbieżnego konsumuje w ciągu roku tylko 2 134 kWh. Redukcja zużycia energii w stosunku do pracy przy stałej mocy wynosi 87,2%, a w porównaniu do pracy z obniżeniem mocy w środku nocy wynosi 83,6%.

Czas eksploatacji sprzętu oświetleniowego

System konserwacji LED-owego urządzenia oświetleniowego znacząco różni się od systemu konserwacji urządzenia konwencjonalnego. Nie ma w nim założenia wymiany źródeł światła po czasie eksploatacji równym określonej części ich trwałości. Wymiana całego urządzenia oświetleniowego pracującego stale z mocą znamionową powinna zostać założona po czasie równym trwałości diod. Praca systemu oświetleniowego z obniżoną mocą znacząco ten czas wydłuża. Można założyć, że czas ten nie będzie krótszy niż:

$$(1) \quad t_{\min} = T \frac{P_n}{P_{sr}}$$

gdzie: t_{\min} – minimalny czas eksploatacji, T – deklarowana trwałość LED, P_n – moc znamionowa urządzenia oświetleniowego, P_{sr} – średnia moc urządzenia oświetleniowego w czasie eksploatacji. Wydłużenie tego czasu zależy od rzeczywistych warunków termicznych, w jakich pracują diody elektroluminescencyjne w oprawie oświetleniowej.

Przyjmując, że w oprawach zostały zastosowane diody o trwałości 50 000 godzin urządzenie oświetleniowe pracujące ze stałą mocą powinno zostać wymienione po 12 latach i 3 miesiącach eksploatacji. Zastosowanie śródnocnego ściemnienia opraw wydłuża okres eksploatacji do 15 lat i 9 miesięcy. Urządzenie pracujące we współbieżnym systemie sterowania może teoretycznie być eksploatowane przez 95 lat i 9 miesięcy.

W związku z tym, że obliczony na podstawie wzoru (1) okres eksploatacji urządzenia oświetleniowego pracującego w systemie sterowania współbieżnego wykracza poza wszelkie granice szacowania trwałości poszczególnych jego elementów, wprowadzenie opisanego systemu sterowania powoduje konieczność przeprowadzania znacznie bardziej starannej okresowej oceny stanu oświetlenia poprzez regularne jego pomiary fotometryczne [6] i na ich podstawie określenia momentu konieczności wymiany sprzętu na nowy.

Ankietowa ocena działania systemu

Wśród mieszkańców ulicy objętej badaniami została rozdana ankietę dotyczącą oceny odbioru działania systemu. Pozostawiono w skrynkach pocztowych lub oddano do rąk własnych mieszkańców w sumie 75 ankiet. Z trzema osobami udało się przeprowadzić krótką rozmowę. Do każdej ankiety dołączona została koperta z adresem zwrotnym i znaczkiem pocztowym oraz podany adres mailowy, na który ocenę można było przekazać elektronicznie. Drogą pocztową dotarło 21 prawidłowo udzielonych odpowiedzi, drogą elektroniczną żadna. Otrzymane odpowiedzi stanowią 28% całkowitej liczby pozostawionych ankiet. W dwóch przypadkach respondenci umieścili własne uwagi na temat przeprowadzonej modernizacji instalacji oświetleniowej.

Ankieta składała się z 11 zamkniętych pytań z proponowanymi odpowiedziami. z możliwością zaznaczenia jednej z nich. Zestawienie pytań i możliwych do wyboru odpowiedzi oraz liczby odpowiedzi zaznaczonych w ankietach zawiera tabela 1. Mieszkańcy zauważyli wymianę oświetlenia i pozytywnie odebrali zmianę barwy światła z żółtego, sodowego na białe, LED-owe. Sposób sterowania został przez większość osób oceniony raczej pozytywnie, jednak respondenci woleliby, aby oświetlenie w nocy nie

było w ogóle zredukowane lub tylko nieznacznie ściemniane. W ocenianym okresie na badanej ulicy nie zostały odnotowane żadne sytuacje niebezpieczne. W uwagach jeden z ankietowanych napisał, że system nie zawsze prawidłowo reaguje na osoby piesze. Druga osoba zwróciła uwagę, że gałęzie drzew rosnących w pobliżu drogi zakłócają pracę systemu i ograniczają prawidłowe oświetlenie jezdni.

Tabela 1. Wyniki ankiety wśród mieszkańców ulicy Bożeny w Poznaniu

Nr pytania	Treść pytania/odpowiedź	Liczba odpowiedzi
1	Czy zauważyliście Państwo zmianę sposobu oświetlania ulicy	
	tak	20
	nie	1
2	Czy barwa światła nowych opraw oświetleniowych, jest:	
	zdecydowanie przyjemna	8
	akceptowalna	10
	bez znaczenia	1
	nieprzyjemna	1
3	Czy długość odcinka oświetlonego przed pojazdem jest:	
	zdecydowanie za długa	0
	niewystarczająca	1
	wystarczająca	16
	za krótka	1
4	Czy długość odcinka oświetlonego za pojazdem jest:	
	zdecydowanie za długa	0
	niewystarczająca	2
	wystarczająca	12
	za krótka	0
5	Czy poziom oświetlenia wokół pojazdu jest	
	zdecydowanie za wysoki	1
	niewystarczający	0
	wystarczający	16
	za niski	1
6	Czy poziom oświetlenia ulicy poza odcinkiem oświetlonym wokół użytkownika jest	
	zdecydowanie za wysoki	1
	niewystarczający	0
	wystarczający	16
	za niski	2
7	Czy poziom oświetlenia poza ulicą (pobocza, podjazdy do bram, podwórka itp) jest	
	zdecydowanie za wysoki	1
	niewystarczający	0
	wystarczający	15
	za niski	3
8	Czy system sterowania oświetleniem wywołuje poczucie , że na ulicy jest	
	zdecydowanie bezpiecznie	4
	wystarczająco bezpiecznie	4
	względnie bezpiecznie	9
	lekkie zagrożenie	1
9	Czy wewnątrz domu odczuwa się zaświecanie opraw na ulicy jako:	
	zdecydowanie bez znaczenia	4
	bez większego znaczenia	6
	obojętne	4
	zauważalne	6
10	Czy Państwa zdaniem oświetlenie ulicy, gdy nie ma na niej żadnej osoby powinno być:	
	utrzymane na stałym, wysokim poziomie	5
	niewystarczająco przyciemnione	14
	znacząco przyciemnione	1
	wyłączone	1
11	Czy w ostatnim czasie (1 rok) odnotowaliście Państwo, w porze kiedy załącza się światło na ulicy, jakies incydenty (wypadki, kradzieże itp.)	
	tak	0
	nie	21

Wnioski

Koncepcja systemu współbieżnego oświetlenia dróg wpisuje się we współczesne nurty oświetleniowe, umożliwiając redukcję zużycia energii elektrycznej i ograniczenie szkodliwego oddziaływania systemu oświetleniowego na środowisko naturalne, przy zapewnieniu realizacji wysokich wymagań oświetleniowych na drogach.

Analiza wyników funkcjonującego ponad rok systemu zaimplementowanego na ulicy Bożeny w Poznaniu wykazuje praktyczne walory tego rozwiązania i jego wysoki potencjał. W przypadku analizowanej ulicy, redukcja poziomu zużycia energii elektrycznej systemu oświetleniowego, w porównaniu do systemu oświetleniowego, który wykorzystywałby pełną moc zainstalowaną w okresie nocnym w ciągu roku, wynosi 87%.

Przeprowadzone badania wyraźnie pokazują, że system oświetlenia współbieżnego może dać istotne ograniczenie zużycia energii elektrycznej na drogach o niskim i bardzo niskim natężeniu ruchu w porze nocnej. Podczas planowania miejsca instalacji systemu oświetlenia współbieżnego powinny być bardzo dokładnie zbadane warunki jego działania w danym miejscu. Wielkość spodziewanych oszczędności będzie zależać nie tylko od natężenia ruchu w nocy, ale również od głębokości ściemnienia, czyli różnicy podstawowego poziomu oświetlenia i poziomu, który ma być realizowany, gdy ruch na ulicy całkowicie zanika. Przepisy nowej Normy [7] stanowią, że oświetlenie nie powinno być całkowicie wyłączone. Obniżenie poziomu oświetlenia z klasy Me 3 do najniższego możliwego poziomu opisanego klasą Me 6, w przypadku całkowitego zaniku ruchu w ciągu całej nocy może dać do 70% oszczędności, natomiast obniżenie z klasy Me 5 do klasy Me 6 może dać nie więcej niż 40% oszczędności. W tym ostatnim przypadku, rentowność inwestycji w system oświetlenia współbieżnego może być wątpliwa.

Zastosowanie instalacji oświetlenia współbieżnego należy rozpatrywać nie tylko pod kątem ekonomicznym, ale także w aspekcie społecznym. Z wyników ankiet i rozmów przeprowadzonych z mieszkańcami wynika, że zmiany oświetlenia drogi wywołane pojawianiem się kolejnych

pojazdów i pieszych są odczuwalne wewnątrz domów, jednak nie są uciążliwe. Wydaje się, że długości oświetlonych odcinków drogi przed i za pojazdem zostały dobrane w sposób prawidłowy.

W przypadku sterowania współbieżnego czas eksploatacji opraw będzie zauważalnie dłuższy niż przy eksploatacji ze stałą mocą, jednak nie da się przewidzieć jak bardzo. Przy bardzo wydłużonym okresie eksploatacji należy zwrócić szczególną uwagę na zanieczyszczenie opraw i trwałość innych, poza LED-ami, komponentów, w szczególności układów optycznych wykonywanych z przezroczystych tworzyw sztucznych, które z czasem ulegają degradacji.

Ze względu na korzyści ekonomiczne, system oświetlenia współbieżnego zyskuje dużą akceptację samorządów. W gminach i miastach, gdzie system był testowany, powstają kolejne inwestycje. Od wykonawców instalacji docierają informacje, że do grupy stosujących system dołączają kolejne jednostki samorządu terytorialnego, wdrażające go na coraz większą skalę.

Autorzy: dr hab. inż. Sławomir Zalewski, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: slawomir.zalewski@jen.pw.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Yamada K., Honda T., Yamakawa K. Road - Vehicle Lighting Integration -- A Study of the Phase I ROVELI System The 3rd International Conference on Vehicle Navigation & Information Systems, IEEE, Oslo, 1992
- [2] Zalewski S., Pracki P.: "The concept of LED road lighting concurrent with vehicles", *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (7a/2012), ISSN 0033-2097.
- [3] <http://www.micromex.com.pl/nowoczesny-system-sterowania-oswietleniem-ulicznym-ledmicon-produkty.html>
- [4] <http://www.micromex.com.pl/uklad-do-sterowania-lampami-wyladowczymi-olc-230-dali-produkty.html>
- [5] <http://www.micromex.com.pl/sterownik-oswietlenia-ulicznego-lis-uni-produkty.html>
- [6] Czyżewski D.: "Monitoring of the lighting conditions of a street illuminated with road lights equipped with LEDs", *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (10/2010), ISSN 0033- 2097.
- [7] PN-EN 13201-2:2016: „Oświetlenie dróg – część 2: Wymagania eksploatacyjne, PKN 2016