

Jan Strzałka<sup>1</sup>  
Krzysztof Wincencik<sup>2</sup>

## **Analiza celowości i możliwości stosowania urządzeń do ograniczania zużycia energii elektrycznej w sieci oświetlenia ulicznego**

*W ramach referatu przedstawiono wyniki programu pomiarowo-badawczego realizowanego w Krakowie w roku 2005. Omówiono charakterystykę sieci oświetleniowej miasta Krakowa po modernizacji z lat 1998-2000 oraz wyniki testów dla 4 typów urządzeń regulacyjnych. Oszczędności w poborze energii w trakcie trwania testów wahały się od 20% do 40% w zależności od przyjętego regulatora. W ramach podsumowania przedstawiono również ocenę wpływu zainstalowanych źródeł wyladowczych na sieć zasilającą. Wstępna analiza ekonomiczna wykazuje, że okres zwrotu nakładów inwestycyjnych na modernizację może wynieść od 1,8, do 3,4 lat.*

### **1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SIECI OŚWIETLENIOWEJ MIASTA KRAKOWA**

Kraków był jednym z pierwszych miast w Polsce na którego terenie przeprowadzono w latach 1998÷2000 kompleksową modernizację oświetlenia ulicznego. Stało się to możliwe dzięki przejściu na przełomie 1997/98 roku na własność Gminy Kraków urządzeń oświetleniowych, które do tego czasu były własnością ZE Kraków. W połowie lat dziewięćdziesiątych oceniano, że w wyniku daleko posuniętej degradacji ok. 90% elementów instalacji oświetleniowych nie spełniało wymagań stawianych oświetleniu zewnętrznemu. W połowie 1995r. zrodził się pomysł realizacji modernizacji oświetlenia polegający na spłacie nakładów z zysków na zmniejszenie zużycia energii i nakładów na bieżącą eksploatację i użytkowanie sieci oświetlenia. Było to możliwe do zrealizowania dzięki zastosowaniu nowoczesnych opraw z energooszczędnymi źródłami światła, poprawie systemu sterowania i naprawie najbardziej awaryjnych odcinków kabli zasilających. W ramach modernizacji:

- wymieniono 38.879 punktów świetlnych,
- wymieniono 606 szaf oświetleniowych,
- wymieniono 10.117 mb kabli YAKY,
- zamontowano 1650 muf kablowych,
- wymieniono 399 słupów stalowych lub żelbetonowych,
- wymieniono 190 słupów parkowych,
- wymieniono 134 przęsła między słupami,
- wykonano 2.348 uziomów szaf i słupów.

---

1 Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Elektroenergetyki 30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 30  
(012) 6172825 e-mail: janstrz@agh.edu.pl

2 DEHN Polska Sp. z o.o. ,Biuro Techniczne w Krakowie, 31-231 Kraków , ul. Bociana 22A  
(0120 6145182 e-mail: krakow@dehn.pl

Modernizacja objęła większość z ponad 2000 ulic miasta Krakowa, z wyłączeniem ulic zlokalizowanych w obrębie Starego Miasta i Kazimierza o specjalnych wymaganiach konserwatorskich oraz z wyłączeniem 22 ulic przeznaczonych do kapitalnego remontu. W tabeli 1 zestawiono podstawowe parametry źródeł światła występujących w oświetleniu ulicznym miasta Krakowa przed i po modernizacji.

Tab 1. Parametry źródeł światła przed i po modernizacji

Przed modernizacją			Po modernizacji		
Typ źródła światła	Strumień (lm)	Skuteczność świetlna (lm/W)	Typ źródła światła	Strumień (lm)	Skuteczność świetlna (lm/W)
Żarowe 200 W	3000	15	Sodowa 50 W	3300	60
Rtęciowa 125 W	5500	44	Sodowa 70 W	5800	82,9
Rtęciowa 250W	11500	46	Sodowa 150 W	13500	90
Rtęciowa 400 W	20000	50	Sodowa 250 W	25000	100
Rtęciowa 700 W	36000	51,4	Sodowa 400 W	47000	117,5
Rtęciowa 1000 W	52000	52	Sodowa 400 W	47000	117,5
Sodowa 250 W	14000	56	Sodowa 150 W	15000	100
Sodowa 400 W	27000	67,5	Sodowa 250 W	30000	120

Uzyskanie efektów ekonomicznych związanych z ograniczaniem zużycia energii związane było z wymianą źródeł światła na lampy sodowe o dużej skuteczności świetlnej i zwiększonej trwałości (od 12000 18000 godzin) oraz zastosowanie nowoczesnych opraw oświetleniowych.

W efekcie modernizacji oświetlenia ulicznego M. Krakowa nastąpiło zmniejszenie mocy zainstalowanej urządzeń oświetleniowych objętych modernizacją z 9.040 kW do 4.431 kW, co dało zmniejszenie zużycia energii elektrycznej o około 48% .Oprócz wymienionych efektów oszczędnościowych modernizacja oświetlenia wpłynęła również na znaczną poprawę bezpieczeństwa ruchu i bezpieczeństwa ogólnego.[3]

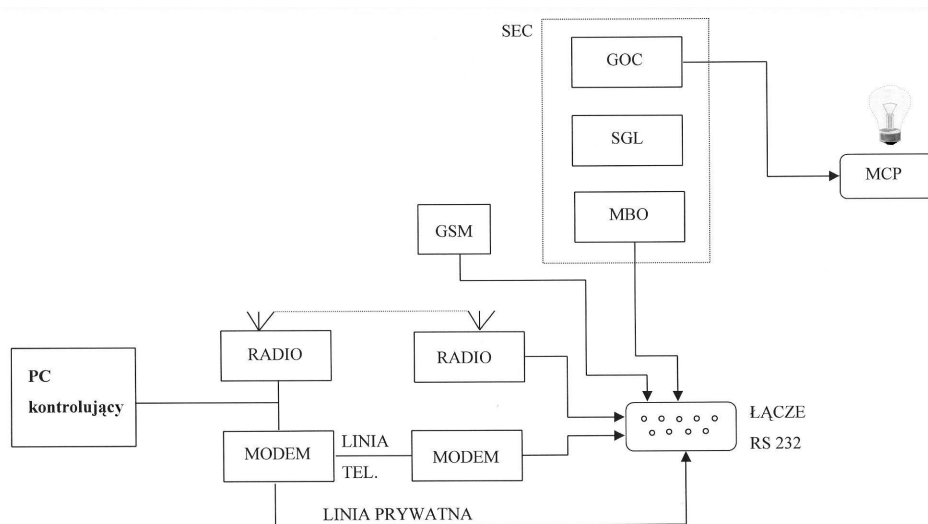
## 2. OPIS WYBRANYCH SYSTEMÓW DO OGRANICZENIA ZUŻYCIA ENERGII

### 2.1. Regulator typu SEC ST

SEC ST włoskiej firmy Raverberi Enetec Srl jest grupowym regulatorem poziomu oświetlenia stosowanym do oświetlenia takich obiektów jak: ulice, autostrady, tunele, lotniska, porty, parkingi, stadiony, dworce autobusowe i kolejowe. Pozwala na znaczne oszczędności energii elektrycznej bez negatywnych zjawisk związanych z regulacją i optymalizacją poziomu oświetlenia. W czasie pracy nie powoduje wzrostu zawartości wyższych harmonicznych w linii zasilającej. Pozwala na stabilizację do 1% wartości napięcia pod obciążeniem. W przypadku zaniku napięcia sieci wyłącza odbiorniki a po powrocie napięcia sieciowego samoczynnie podejmuje działanie powtarzające cykl

łagodnego włączenia i ustawia się w trybie zaprogramowanym dla danego przedziału czasowego.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy układu regulacji.



Rys.1. Schemat blokowy układu regulacji

Moduł sterowania falą nośną GOC umożliwia komunikację między modułami MCP zainstalowanymi na poszczególnych słupach a jednostką centralną SGL na tablicy głównej. Jednostka centralna kieruje funkcją regulacji, programowania i zdalnego sterowania. Moduł MBO sygnalizuje stan alarmu wywołany zanikiem napięcia sieci lub reakcją wyłącznika głównego oraz zdalnie steruje ośmioma wejściami dwoma wyjściami zał/wył. System można wyposażyć w czujniki obecności mgły, pomiaru natężenia oświetlenia oraz nadawczo - odbiorczy moduł kontrolny słupa MCP. W przypadku wystąpienia awarii układu regulatora włączane jest pełne napięcie na sieć zasilającą lamp oświetleniowych.

## 2.2. Regulator typu LEC

Regulator LEC (Light Energy Controller) produkcji Power Electronics Ltd, przeznaczony jest do regulacji strumienia świetlnego źródeł światła, a w jej wyniku do generowania oszczędności w zużyciu energii elektrycznej poprzez kontrolowaną redukcję napięcia zasilającego. Regulator działa na zasadzie transformatora, przy czym w wersji podstawowej (LEC-B) przeznaczony jest do zastosowań, przy których wystarcza jednostopniowa redukcja napięcia o 25 V, a więc do poziomu 205 V. Po załączeniu LEC podaje pełne napięcie sieciowe na wyjście w celu uzyskania pewności zapłonu wszystkich lamp, urządzenie przechodzi do trybu oszczędnościowego.

Kontrolowane obniżenie napięcia powoduje znaczne oszczędności w zużyciu energii w stosunku do zasilania napięciem nominalnym 230V. Zazwyczaj oszczędności kształtują się na poziomie 25%-30%. Ponadto, urządzenia LEC zainstalowane w systemach oświetleniowych pozwalają na znaczne wydłużenie życia lamp wyładowczych.

### **2.3 Charakterystyka reduktora – stabilizatora typu ILUEST**

Szafa sterownicza z systemem sterowania i reduktorem mocy ILUEST stwarza możliwości:

- redukcji do 40% zużycia energii elektrycznej w godzinach zmniejszonego natężenia ruchu,
- kontroli pracy systemu oświetlenia ulic,
- jednolitego czasu pracy urządzeń oświetleniowych,
- rejestracji zdarzeń zachodzących w systemie oświetleniowym,
- w prosty sposób powiadamiania zarządzającego oświetleniem o zdarzeniach niepożądanych i o niepożądanych ingerencjach w system osób postronnych,
- w prosty sposób wykonania koniecznych zmian lub korekt w pracy systemu oświetlenia.

Unikalną cechą systemu jest oprogramowanie, które można zmieniać podczas pracy urządzenia. Daje ono możliwość łatwego dodawania nowych funkcji w trakcie pracy systemu. Istnieje możliwość modułowej rozbudowy szafy według indywidualnego projektu właściciela.

System wbudowywany jest lokalnie w poszczególnych szafach a więc awaria systemu nie zakłóci pracy oświetlenia.

Sterujące szafy oświetleniowe służą do zasilania i sterowania obwodami oświetleniowymi ulic, placów, terenów rekreacyjnych i przemysłowych a także do iluminacji obiektów architektonicznych i zabytkowych.

### **3. Omówienie wyników pomiarów**

Istotne znacznie z punktu widzenia inwestora (miasta lub gminy) stanowi dość znaczny koszt analizowanych regulatorów, a więc oszacowanie czasookresu zwrotu inwestycji dzięki oszczędnościom wynikającym z zastosowania regulatora. Jak było do przewidzenia przeprowadzone testy trzech różnych urządzeń ograniczających pobór energii przez urządzenia oświetleniowe (lampy sodowe) wykazały występowanie obniżenia poboru mocy napięcia zasilającego.

W odniesieniu do dwóch regulatorów były to testy przeprowadzone na wybranych odcinkach sieci oświetleniowej w Krakowie (lipiec – wrzesień 2005) , natomiast w trzecim przypadku są to testy przeprowadzone w Warszawie (sierpień 2004). Nieliniowe odbiorniki energii elektrycznej, jakimi są wyładowcze źródła światła, charakteryzują się szybkimi zmianami poboru energii, które wymuszają przepływ niesinusoidalnego, odkształconego prądu, a więc generują do sieci zasilającej wyższe harmoniczne prądu. [1] Dla zorientowania się w poziomie wyższych harmonicznych oraz asymetrii obciążenia poszczególnych faz przeprowadzono pomiary w wybranych,

wytypowanych ciągach oświetlenia ulicznego M. Krakowa, charakteryzujących się występowaniem jednorodnym i zróżnicowanym rodzajem źródeł światła i opraw oświetleniowych [2]. Zakres badań obejmował kontrolę symetrii obciążenia poszczególnych faz w kablach zasilających oraz pomiary i rejestrację najważniejszych parametrów tj. prądu obciążenia, napięcia, mocy, współczynnika mocy  $\cos\phi$  i zawartości wyższych harmonicznych prądu i napięcia w sieci zasilającej.

Wyniki pomiarów zawartości wyższych harmonicznych napięcia we wszystkich badanych ciągach oświetlenia ulicznego tj. współczynnika  $THD_u$  wykazały, że za wyjątkiem jednego przypadku w badanych ciągach oświetlenia ulicznego całkowita zawartość wyższych harmonicznych  $THD_u$  mieści się w granicach normy tj. 8%. we wszystkich badanych ciągach oświetlenia ulicznego zawartość poszczególnych wyższych harmonicznych prądu została znacznie przekroczona w stosunku do wymagań normy PN-EN 61000-3-2, i zawierała się w granicach ok.20 – 50 %.

Wartości skuteczne prądów fazowych pod wpływem występowania wyższych harmonicznych powiększane są w poszczególnych przypadkach od ok. 7,5% do ok. 20% względem harmonicznej podstawowej.

Na bazie wyników pomiarowych zastosowanych urządzeń regulacyjnych dokonano wstępnej analizy ekonomicznej (analiza ofert i parametrów regulatorów mocy wykazała) i dla najbardziej opłacalnej oferty uzyskano następujące wyniki po przyjęciu następujących założeń:

Koszt 1 kWh – 0,3 PLN

Poziom redukcji napięcia w ciągu doby:

- do godz. 20.00 oraz po godz. 5.00 – 10%,
- od godz. 20.00 do godz. 22.00 – 20%,
- od godz. 22.00 do godz. 5.00 – 40%.

- Koszt regulatora w przeliczeniu na jedną lampę zależy od mocy lamp i mocy regulatora i:
  - rośnie ze wzrostem mocy lamp od (93,4 PLN – 54,2 PLN) przy lampach o mocy 70 W (547,7 PLN – 289,79 PLN) dla lamp o mocy 400 W;
  - podane powyżej ceny jednostkowe wyższe dotyczą regulatorów o mocy 9,7 kVA a ceny niższe regulatorów o mocy 82,8 kVA.
- Roczne oszczędności z zastosowania regulatorów przy założonym cyklu pracy wynoszą 30,55% i nie zależą od mocy regulatora i mocy lamp.
- Czas zwrotu inwestycji związanych z instalowaniem regulatorów zależy głównie od mocy regulatora i zawarty jest w przedziale od ok. 1,8 lat dla regulatorów o największej mocy (82,8 kVA) do ok. 3,2 lat regulatorów o najmniejszej mocy (9,7 kVA).
- Podane wyniki obliczeń czasu zwrotu inwestycji wyznaczone zostały przy założeniu, że z danego regulatora zasilana jest maksymalna liczba lamp danej mocy. W przypadku, gdy ilość lamp będzie mniejsza, czas zwrotu ulegnie oczywiście wydłużeniu.

#### **4. Wnioski o celowości i zasadności zastosowania urządzeń do ograniczania energii w oświetleniu ulicznym miasta Krakowa**

Zrealizowany kilka lat temu program modernizacji oświetlenia ulicznego w Krakowie, który przyniósł wymierne korzyści, ekonomiczne oraz korzyści niewymierne wynikające z poprawy stanu bezpieczeństwa i estetyki miasta, skoncentrowany został głównie na zastosowaniu nowoczesnych opraw i źródeł światła.

Kolejnym, bardzo istotnym elementem decydującym o nowoczesności instalacji oświetleniowych powinno być wprowadzenie nowoczesnego systemu monitorowania i sterowania oświetleniem, zauważywszy, że aktualny system zegarów astronomicznych, choć w miarę nowoczesny, nie jest systemem optymalnym.

Systemy monitorowania i sterowania pracy sieci oświetleniowej umożliwiają zmianę parametrów pracy oraz ciągły nadzór i sygnalizację ewentualnych nieprawidłowości w sieci oświetleniowej. Monitorowanie sieci oświetleniowej i sterownie tą siecią w czasie rzeczywistym byłoby możliwe po zamontowaniu w szafach oświetleniowych sterowników mikroprocesorowych i wprowadzeniu łączności radiowej pomiędzy tymi szafami a centralą nadzorującą pracę miejskiej sieci oświetleniowej.

Można stwierdzić, że wprowadzenie urządzeń do ograniczenia poboru energii przez sieć oświetleniową M. Krakowa może przynieść wymierne korzyści ekonomiczne. Okres zwrotu nakładów inwestycyjnych na zakup i montaż regulatorów w zależności od ich mocy i wielości obciążeń wynosi co najmniej od 1,8 do 3,4 lat. Wskazane jest, aby wprowadzaniu instalacji pilotażowych regulatorów strumienia świetlnego lamp towarzyszyły pomiary potwierdzające występowanie energooszczędności oraz wykazujące wpływ wprowadzenia tych urządzeń na jakość energii elektrycznej, głównie pod kątem zawartości wyższych harmonicznych.

#### **5. Literatura**

- [1] Cadler E.: *Układy oświetleniowe jako odbiorniki nieliniowe i ich wpływ na jakość energii elektrycznej*. Biul. PTPiREE, nr 06,2003r., str. 23÷29.
- [2] Daszczyzak M., Gancarz A., Strzałka J., Wojsznis T.: *Monitorowanie jakości energii elektrycznej w sieciach i instalacjach elektrycznych*. Opracowanie niepublikowane Katedry Elektroenergetyki AGH, Kraków 2005r.
- [3] Dziadyk J.: *Zakres i efekty modernizacji oświetlenia ulicznego Miasta Krakowa*. Biul. Techn. O/Kr SEP, nr 10, luty 2000r., str. 3÷9.

#### **The analysis of the purposefulness and possibility of installing power saving devices in a street lighting network**

The dissertation describes the results of a measure and research programme conducted in Cracow in 2005. The authors discuss the characteristic of the lighting network of the city of Cracow after its modernisation in the years 1998-2000 as well as the test results for four types of regulation devices. The saving in power consumption during the test oscillated between 20% and 40% depending on the type of a regulator. In the summary there is an evaluation of the influence of the installed discharge sources on the power supply network. A preliminary economical analysis shows that the period of return on investment in modernisation may vary from 1,8 to 3,4 years.