

dr inż. Jakub Grela

Systemy sterowania w nowoczesnych instalacjach oświetlenia zewnętrznego – poprawa efektywności energetycznej i zmniejszenie zużycia energii

Część I

Instalacje oświetlenia zewnętrznego (ang. Street Lighting), w szczególności dróg i ulic, to bardzo istotny element infrastruktury współczesnych miast, obszarów wiejskich i szlaków komunikacyjnych. Rolą instalacji oświetleniowych jest zapewnienie komfortu tych przestrzeni w nocy i przy ograniczonym dostępie światła dziennego, przyczyniając się również do wzrostu poziomu bezpieczeństwa osób, pojazdów itp. Oprócz podstawowej funkcji zapewnienia widoczności, oświetlenie może pełnić także funkcję informacyjną, ostrzegawczą czy estetyczną. Według raportu przeprowadzonego przez amerykańską firmę Northeast Group na świecie jest zamontowanych aktualnie około 280 milionów lamp ulicznych. Szacowane jest, że do roku 2025 liczba ta wzrośnie do około 350 milionów. Ponadto aktualnie w przestrzeni nas otaczającej występuje wiele starych i nieekonomicznych instalacji, które w ciągu następnych lat zostaną zmodernizowane z wykorzystaniem nowoczesnych i energooszczędnych źródeł światła wraz z inteligentnymi systemami sterowania. Liczne badania i analizy jednoznacznie wykazały, że w miejscach dobrze oświetlonych znacząco spadła przestępczość oraz liczba wypadków na drodze. Ponadto poprzez odpowiednie i równomierne oświetlenie drogi zredukowane jest zjawisko olśnienia, dzięki czemu kierowca może wcześniej dostrzec osobę wchodzącą na jezdnię, a przez to odpowiednio zareagować na zaistniałą sytuację. Dzięki równomiernemu oświetleniu drogi zmniejsza się również zmęczenie kierowcy spowodowane ciągłą adaptacją wzroku do bieżących warunków oświetleniowych. Obecnie, duże miasta są przeświecone, przez źle dobrane oprawy oświetleniowe, wszechobecne bilbordy oraz inne formy reklam świetlnych. Czynniki te powodują duże zanieczyszczenie świat-

łem (ang. light pollution) i marnowanie energii elektrycznej. Należy podkreślić, że instalacje oświetleniowe są odpowiedzialne średnio za około 40% ogólnego zużycia energii elektrycznej w miastach i gminach – na co wskazują wyniki wielu badań i raportów. Wspomniane zużycie energii niemal bezpośrednio przekłada się na oddziaływanie instalacji tego typu na środowisko naturalne oraz kwestię zwiększonej emisji gazów cieplarnianych, w szczególności CO₂. Uwzględniając wymienione aspekty, a zwłaszcza wysoką energochłonność instalacji oświetleniowych, władze wielu miast i gmin, w różnych państwach, poszukują rozwiązań technicznych i ekonomicznych, które pozwoliłyby na redukcję wydatków związanych z obsługą i utrzymaniem instalacji oświetleniowych oraz ograniczenie emisji zanieczyszczeń, przy zachowaniu a najlepiej podniesieniu komfortu i bezpieczeństwa, wynikających z ich użytkowania. W ramach nowoczesnych rozwiązań technicznych możliwych do zastosowania w tym obszarze, należy wymienić technologie związane z wdrożeniami innowacyjnych źródeł światła (np. lampy z diodami LED, świetlówki energooszczędne, lampy indukcyjne), które cechują się mniejszym zużyciem energii elektrycznej, przy jednoczesnym zachowaniu dużego strumienia świetlnego. Druga grupa rozwiązań to systemy inteligentnego sterowania instalacjami oświetlenia, z zastosowaniem różnego typu sieci teleinformatycznych, automatyki i transmisji danych. Systemy te umożliwiają indywidualne bądź grupowe sterowanie załączaniem i wyłączaniem lamp oraz wprowadzenie prostych i zaawansowanych algorytmów sterowania. Możliwe jest ich wykorzystanie do zmniejszenia konsumpcji energii elektrycznej i monitorowania, zarządzania czy diagnozowania lamp.

Dodatkowo w połączeniu ze zdalną obsługą i akwizycją danych, ułatwiają one sterowanie lampami i prowadzenie ich efektywnego serwisowania w trakcie eksploatacji. Oferują też możliwość prewencyjnego działania grup serwisowych, jeszcze przed uszkodzeniem lub awaryjnym wyłączeniem lamp, co również ma istotne znaczenie finansowe. Wśród kolejnej kategorii związanej z rozwiązaniami ekonomicznymi ukierunkowanymi na poprawę efektywności energetycznej instalacji oświetlenia zewnętrznego, należy wspomnieć o istnieniu celowych programów inwestycyjnych, przykładowo takich jak program SOWA. Dofinansowanie udzielone w ramach tego programu jest przeznaczone na kompleksową modernizację istniejącej instalacji oświetlenia zewnętrznego i/lub montaż nowych punktów świetlnych w ramach modernizowanych istniejących ciągów oświetleniowych, jeżeli jest to niezbędne do spełnienia obowiązujących przepisów (m.in. normy PN EN 13201). Modernizacja może dotyczyć w szczególności:

- demontażu starych wyeksploatowanych opraw oświetleniowych,
- wymiany wyeksploatowanych słupów kablowych,
- wymiany wysięgników,
- wymiany przewodów elektrycznych w słupach i wysięgnikach wraz z wymianą zabezpieczeń,
- wymiany zapłonników,
- montażu nowych opraw oświetleniowych,
- modernizacji/przebudowy istniejących punktów zapalania i sterowania oświetleniem,
- montażu sterowalnych układów redukcji mocy oraz stabilizacji napięcia zasilającego,
- montażu inteligentnego sterowania oświetleniem.

Należy podkreślić, że w przypadku modernizacji instalacji oświetlenia zewnętrznego niezbędne jest przeprowadzenie audytu oświetleniowego. W ramach konkursu SOWA audyt jest jednym z wymogów formalnych. Wyniki audytu oświetleniowego powinny dostarczyć wielu istotnych danych takich jak:

- informacje o istniejącym stanie technicznym, topologii i lokalizacji infrastruktury instalacji oświetlenia zewnętrznego i jej elementów,
- określenie zapotrzebowania na moc umowną (zamówioną) w porównaniu do rzeczywiście zainstalowanej,
- informacje o kosztach eksploatacji instalacji oświetlenia zewnętrznego,
- informacja o stopniu spełnienia wymagań stawianych instalacją oświetlenia zewnętrznego, w kontekście obowiązujących przepisów w tym zakresie,
- możliwość i sposób realizacji systemu sterowania (poszczególnymi lampami i/lub obwodami instalacji oświetleniowej),
- prognoza i sposób kontroli zużycia energii elektrycznej przez instalację oświetlenia zewnętrznego,
- informacje na temat obecnego stanu wiedzy o nowoczesnej technice oświetleniowej i rozwiązaniach inteligentnego sterowania,
- warianty realizacji modernizacji instalacji oświetlenia zew-

nętrznego – w zależności od stanu instalacji elektrycznej, jej lokalizacji i sposobu użytkowania (klasy oświetleniowe)

Inteligentne sterowanie oświetleniem zewnętrznym

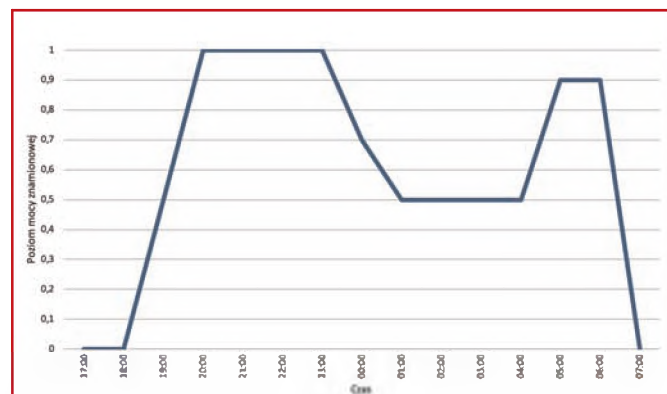
Wprowadzenie oświetlenia elektrycznego umożliwiło powstanie pierwszych systemów centralnego sterowania grupowego, pozwalających na ręczne załączanie i wyłączanie lamp za pomocą jednego przełącznika. Pierwsze systemy automatycznego sterowania pracą lamp oparte były o proste systemy zegarowe, pozwalające na ustawienie godziny załączenia oraz wyłączenia oświetlenia. Sterowniki te musiały być kilka razy do roku przeprogramowywane, aby uwzględnić zmiany długości dnia w ciągu roku. Kolejnym krokiem było wprowadzenie zegarów cyfrowych, pozwalających na automatyczną zmianę czasu załączenia ze względu na porę roku. Przełomowym momentem okazało się wprowadzenie do systemu oświetlenia zewnętrznego fotokomórek. Dzięki ich zastosowaniu możliwe stało się załączanie i wyłączanie oświetlenia w przypadku wykrycia poziomu natężenia oświetlenia poniżej zaprogramowanej wartości granicznej. Sterowniki te mogły stosunkowo dokładnie i bezobsługowo wyznaczyć odpowiedni moment załączenia i wyłączenia instalacji oraz reagować na niekorzystne warunki atmosferyczne. Jednakże poprawna praca instalacji sterowanej za pomocą fotokomórki w znaczący sposób zależy od umiejscowienia czujnika oraz od stanu zabrudzenia jego obudowy. Obecnie ten typ sterowania jest często stosowany w systemach oświetlenia zewnętrznego. Spotykane są zarówno instalacje wykorzystujące pojedynczą fotokomórkę sterującą grupą lamp, jak i osobne czujniki w każdej poszczególniej oprawie. Kolejną często stosowaną metodą sterowania oświetleniem zewnętrznym jest zastosowanie zegarów astronomicznych. Zegary te, na podstawie aktualnej daty, godziny oraz lokalizacji obliczają czasowe punkty załączenia i wyłączenia instalacji. Zastosowanie zegara astronomicznego do kontroli stanu załączenia lamp pozwala na stosunkowo dokładne określenie momentu załączenia instalacji, lecz nie jest czułe na niekorzystne warunki atmosferyczne oraz bieżące zapotrzebowanie na oświetlenie. Kolejnym typem sterowania są tzw. inteligentne instalacje oświetleniowe. Jednym z największych problemów hamujących ich rozwój był sposób komunikacji między poszczególnymi lampami. Prowadzenie osobnych przewodów do sterowania lampami generowało znaczące koszty, sprawiając, że takie inwestycje stawały się nieopłacalne. Wczesne systemy komunikacji radiowej również nie sprawdzały się w systemach sterowania oświetleniem zewnętrznym ze względu na znaczne koszty oraz skomplikowane układy transmisyjno-sterujące. Z tych powodów, optymalnym pod względem finansowym, rozwiązaniem było proste sterowanie zbiorowe grupami lamp. Przez wiele lat systemy oświetlenia ulicznego były modernizowane i udoskonalane, lecz dopiero wprowadzenie na szerszą skalę komunikacji po sieci zasilającej spowodowało znaczący rozwój systemów inteligentnego sterowania ulicznego. Punktem zwrotnym okazało się m.in. wprowadzenie przez amerykańską firmę Echelon mikropro-

cesorów z układami nadawczo-odbiorczymi z serii PL31xx. Moduły te stanowiły węzły sieciowe umożliwiające pobieranie oraz wysyłanie danych przez sieć zasilającą. Instalując w każdej oprawie takie dedykowane moduły, pojawiła się możliwość monitorowania i sterowania każdą lampą z osobna. Umożliwiło to powstawanie zaawansowanych systemów sterowania oświetleniem zewnętrznym. Do rozwoju systemów sterowania przyczyniły się również układy stabilizujące - zapłonowe stosowane w przypadku lamp wyładowczych. Początkowo składały się one z osobnego układu statecznika w postaci dławika indukcyjnego oraz z zapłonika. Aktualnie, zamiast układów magnetycznych, stosowane są układy elektroniczne pozwalające na dokładniejsze i bardziej efektywne sterowanie pracą lamp. Oprócz stabilizacji wyładowania, pozwalają one na płynny zapłon lampy bez wykorzystania dodatkowego układu zapłonika, wydłużenie żywotności lampy oraz na zmniejszenie zużycia energii elektrycznej. Elektroniczne stateczniki pozwalają również na wyeliminowanie efektu migotania (stroboskopowego) źródła światła oraz efektów akustycznych powstających w wyniku drgania blach rdzenia. Z kolei, w przypadku nowoczesnych lamp LED, stosowane są do sterowania układy elektroniczne zwane driverami – odpowiadające za poprawną pracę diod. Instalacje sterowania oświetleniem mogą być dodatkowo rozszerzane o różnego typu czujniki pozwalające na dostosowywanie poziomu oświetlenia do aktualnego zapotrzebowania oraz panujących warunków atmosferycznych. Przykładowo możliwa jest 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 oraz zastosowanie kamer monitoringu miejskiego lub pętli indukcyjnych do określania intensywności ruchu. Umożliwia to zmniejszenie kosztów utrzymania instalacji przy zachowaniu wymaganego poziomu oświetlenia oraz komfortu użytkownika. Obecnie na rynku działa wielu producentów systemów inteligentnego sterowania oświetleniem zewnętrznym. Wielu z nich posiada autorskie rozwiązania pozwalające na efektywne i oszczędne sterowanie pracą instalacji oświetleniowej.

System sterowania oświetleniem może zostać nazwany „inteligentnym” jeżeli pozwala na dwukierunkową komunikację między sterownikiem segmentowym a sterownikiem lampy oraz umożliwia sterowanie pracą lampy z dostosowaniem poziomu intensywności strumienia świetlnego do aktualnego zapotrzebowania. Ponadto inteligentne systemy oświetlenia powinny w sposób ciągły dostosowywać poziom intensywności strumienia świetlnego lamp do aktualnych potrzeb. W zależności od typu obsługiwanego obiektu stosowane mogą być różnego rodzaju czujniki takie jak czujnik zmierzchowy, natężenia oświetlenia, ruchu, pętli indukcyjne czy też kamery monitoringu. W zależności od zastosowanych czujników oraz wykorzystywanego algorytmu sterowania możliwe jest osiągnięcie rozbudowanego systemu zarządzania oświetleniem. W ramach realizacji algorytmów sterowania w inteligentnych instalacjach oświetlenia zewnętrznego wyróżnia się dwie metody podejścia: statyczna i dynamiczna. Pierwsza z nich bazuje 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. Metoda dynamiczna umożliwia realizację oświetlenia adaptacyjnego. Po dobraniu odpowiednich parametrów działania instalacji oświetlenia zewnętrznego pozwala ono na ciągłe dopasowywanie parametrów pracy lamp do zmieniających się warunków otoczenia, na skutek zmian intensywności światła dziennego, zmiennego nasilenia ruchu ulicznego, zmian warunków meteorologicznych oraz możliwych sytuacji nadzwyczajnych (wypadek itp.).



Rys. 1. Sugerowane obniżenie poziomu intensywności oświetlenia ciągu dla pieszych, z uwzględnieniem trendu mniejszej liczby przechodniów w godzinach nocnych.



Rys. 2. Standardowy profil sterowania oświetleniem przestrzeni publicznej w porze wiosennej.

Współczesne inteligentne instalacje oświetlenia zewnętrznego charakteryzują się hierarchiczną strukturą - co najmniej trójpoziomą. Do najniższego poziomu zwanego obiektywnym zaliczane są oprawy wyposażone w moduły elektroniczne określane sterownikami oświetlenia zewnętrznego (ang. Outdoor Lighting Controller) i różnego rodzaju czujniki. Kolejny to poziom automatyki, do którego należy zaliczyć sterowniki segmentowe, bramy komunikacyjne czy rutery obszarowe. Najwyższy, poziom zarządzania to dedykowane oprogramowanie CMS (ang. Central Management System) - pozwalające na zdalne zarządzanie i monitorowanie pracy systemu oświetlenia. W zależności od rodzaju zastosowanego systemu sterowania połączenie między elementami poziomu automatyki (np. sterownikami segmentowymi) a serwerem - gdzie zainstalowano CMS, może być realizowane przez połączenia bezprzewodowe sieci komórkowej takich jak GPRS lub 4G, połączenie xDSL, kabel światłowodowy albo przez zastosowanie sieci komputerowej IP. Oprawy stosowane w nowoczesnych inteligentnych instalacjach oświetlenia zewnętrznego wyposażone w odpowiednie moduły elektroniczne mogą oferować następujące funkcje: zdalne monitorowanie i sterowanie wartości obciążenia lampy (załącz/wyłącz oraz ustawienie poziomu intensywności strumienia światła), informowanie o ilości godzin pracy, o zapotrzebowaniu na moc i zużyciu energii elektrycznej, informacje o współczynniku mocy, 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. Elementy poziomu automatyki oprócz ich roli pośredniczącej w komunikacji pomiędzy lampami a oprogramowaniem poziomu zarządzania zapewniają dodatkowo możliwość alarmowania, harmonogramowania oraz rejestracji (logowania) danych i służą również jako interfejsy do integracji dodatkowych elementów jak przykładowo liczniki energii. Oprogramowanie klasy CMS pozwalające na zarządzanie i monitorowanie pracy systemu oświetlenia z reguły wspiera większość z wiodących rozwiązań i standardów systemów inteligentnego oświetlenia zewnętrznego bez względu na sposób realizacji komunikacji: bezprzewodowy jak i wykorzystujący sieć zasilającą. Pozwala ono na zarządzanie pracą instalacji oświetlenia zewnętrznego na poziomie całego miasta łącząc sieci oświetlenia wykonane w odmiennych standardach komunikacji, wykorzystujące różnego rodzaju źródła światła. Zapewnia również odczyt parametrów pracy lamp i dodatkowych czujników oraz urządzeń wykonawczych połączonych w ramach systemu. W zależności od warunków pogodowych, natężenia ruchu, poziomu nasłonecznienia czy też obecności w danym miejscu, możliwe jest aktywowanie scenariuszy świetlnych, z przypisanymi poziomami intensywności strumienia świetlnego do dowolnych grup lamp bądź pojedynczych opraw. Poszczególne komponenty, dzięki wprowadzeniu ich rzeczywistego położenia geograficznego, nanoszone są na mapę, co pozwala na łatwiejszą identyfikację danych pomia-

rowych z rzeczywistym obiektem. Na podstawie zbieranych danych możliwe jest również tworzenie rozbudowanych raportów dotyczących pracy systemu.

Stan prawny

Podstawowym aktem prawnym obowiązującym w Polsce związanym z energetyką jest ustawa Prawo energetyczne z dnia 10 kwietnia 1997 r. Jej celem jest tworzenie warunków do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego, równoważenia interesów przedsiębiorstw energetycznych oraz odbiorców energii elektrycznej i ciepła, efektywnego używania energii elektrycznej i ciepła, zrównoważonego rozwoju kraju, rozwoju konkurencji, przeciwdziałania negatywnym skutkom naturalnych monopolii, z uwzględnieniem wymogów ochrony środowiska oraz zobowiązań wynikających z umów międzynarodowych. Wymienione cele, w tym równoważenie interesów przedsiębiorstw energetycznych oraz odbiorców energii elektrycznej i ciepła powinny być rozpatrywane przez pryzmat wymogów ochrony środowiska oraz zobowiązań wynikających z umów międzynarodowych.

Prawo energetyczne wyznacza odpowiedzialność finansowania kosztów oświetlenia ulic, placów i dróg. Zadanie to leży w zakresie zaopatrzenia w energię elektryczną przez gminy nawet jeśli nie są zarządcą dróg. Oznacza to, że samorządy gminne zobowiązane są do ponoszenia wszelkich kosztów związanych z budową, instalacją i funkcjonowaniem oświetlenia na każdym rodzaju dróg publicznych, oprócz autostrad i dróg ekspresowych. Finansowanie kosztów oświetlenia obejmuje:

- wydatki na energię elektryczną,
- koszt budowy i utrzymania punktów świetlnych (m.in. koszt obsługi, konserwacji, modernizacji urządzeń i wymiany wyeksploatowanych opraw).

Zgodnie z Polskim Komitetem Oświetleniowym Stowarzyszenia Elektryków Polskich, punkt świetlny to kompletna oprawa oświetleniowa - czyli kompletne urządzenie służące do rozsyłania, filtrowania lub przekształcania światła wysyłanego przez źródło, zawierające elementy niezbędne do mocowania i ochrony źródła światła oraz do przyłączenia go do obwodu zasilającego. Słupy oświetleniowe czy kable sterownicze wykraczają już poza zakres definicji punktu świetlnego. Generuje to spore koszty dla samorządów, które starają się je ograniczać głównie przez oszczędność energii. Lampy są wyłączane o wcześniejszych godzinach, stosowane są metody ściemniania lamp w czasie, gdy jest niskie natężenie ruchu. Kolejnym rozwiązaniem jest modernizacja oświetlenia drogowego na bardziej oszczędne. Dodatkowo wspomniana modernizacja została częściowo wymuszona na drodze przyjętych i ratyfikowanych dyrektyw Parlamentu Europejskiego i Rady w zakresie efektywności energetycznej. Na podstawie zapisów odpowiednich dokumentów jednostki samorządowe są zobligowane do wprowadzania metod

oszczędności energii, stosowania odnawialnych źródeł energii itp. Oprócz działań na polu poprawy efektywności energetycznej budynków (termomodernizacja, wymiana instalacji, itp.) istotnym obszarem jest również modernizacja oświetlenia zewnętrznego. Należy podkreślić, że w dalszym ciągu znacząca liczba lamp zamontowanych nad drogami to lampy rtęciowe lub dość mocno wyeksploatowane lampy metalohalogenkowe i sodowe, które nie należą do efektywnych. Lampy te były montowane w czasach odległych, w trakcie których zmieniły się normy mówiące o poziomach luminancji, możliwości sterowania mocą strumienia światła, itp.

Wraz z przystąpieniem do Unii Europejskiej, Polska została zobowiązana do wprowadzenia do zbioru norm krajowych zatwierdzonych norm europejskich. Polski Komitet Normalizacyjny wprowadził na zasadzie uznania normę serii EN 13201 „Oświetlenie dróg”, która zastąpiła obowiązującą wcześniej polską normę PN76/E-02032 „Oświetlenie dróg publicznych”. Poprzednia norma była mocno nieaktualna, ponieważ została opracowana na początku lat 70. W międzyczasie technika świetlna uległa zmianom. Obecnie obowiązująca norma serii 13201, zaktualizowana w 2016 roku, składa się z pięciu części. Pierwsza część dostarcza wytycznych dotyczących wyboru najbardziej odpowiedniej klasy oświetlenia dla różnych terenów zewnętrznych dla danej sytuacji. Z kolei, w części drugiej podano definicje wymagań fotometrycznych dla klas oświetleniowych uwzględniając wizualne potrzeby użytkowników dróg i aspekty środowiskowe. Trzecia część normy przedstawia konwencje i matematyczne procedury uwzględnione w kalkulacji wydajności fotometrycznej instalacji oświetlenia zewnętrznego – ich celem jest zapewnienie tych samych zasad matematycznych podczas obliczeń parametrów oświetlenia. Kolejna część zawiera informacje odnośnie pomiarów fotometrycznych parametrów jakościowych instalacji oświetlenia, a ostatnia część przedstawia sposób obliczania wskaźników charakterystyki energetycznej dla urządzeń oświetlenia drogowego. Norma PN-EN 13201 ma w całości charakter obligatoryjny i jest wystarczającym zbiorem wymagań dla ogłoszenia przetargu na oświetlenie dróg i ulic. Według normy ulicę należy rozpatrywać jako zbiór elementów różniących się co do intensywności i sposobu oświetlenia. Kryteria te wyznaczane są na podstawie wyboru klasy oświetlenia, jednocześnie wraz ze zmianą intensywności ruchu dopuszczalna jest zmiana klasy oświetlenia, co przyczynia się do oszczędzania energii. Określone w normie poziomy są dolnymi poziomami granicznymi (poziom natężenia oświetlenia lub luminancji). Dobrane są tak by zapewnić odpowiedni komfort użytkownikowi w zakresie dobrego widzenia.

Najważniejszymi parametrami ilościowymi i jakościowymi oświetlenia są:

- poziom luminancji (luminancja średnia L_{sr}),
- równomierność luminancji (całkowita U_o , wzdłużna U_l),

- wskaźnik przyrostu progowego (olśnienie przeszkadzające f_{TL}),
- wskaźnik oświetlenie bezpośredniego otoczenia (R_{ei}),
- poziom natężenia oświetlenia (E_{sr}),
- równomierność natężenia światła (E_{min}),
- oddawanie barw.

Norma uwzględnia również eksploatacyjne zmiany parametrów oświetlenia drogowego, gdyż to utrzymanie odpowiednich parametrów oświetlenia przez cały okres jego eksploatacji zapewnia odpowiedni poziom bezpieczeństwa i komfortu użytkownika instalacji tego typu. Współczynnik utrzymania MF jest powiązany głównie z dwoma czynnikami:

- stopniem zabrudzenia opraw (LMF),
- spadkiem strumienia świetlnego wraz z czasem użytkowania opraw (LLMF).

Należy podkreślić, że w przypadku zaktualizowanej normy 13201 jej wymagania w większym stopniu uwzględniają potrzebę zapewnienia bezpieczeństwa, dzięki lepszemu uwidocznieniu bezpośredniego otoczenia dróg. Norma uwzględnia też realizację adaptacyjnego sterowania instalacją oświetlenia zewnętrznego.

W kolejnej części artykułu zostanie przedstawiony projekt modernizacji instalacji oświetlenia zewnętrznego, rozważający zmianę źródła światła oraz zastosowanie inteligentnego sterowania.

c.d.n.

dr inż. Jakub Grela