

Analiza możliwości aplikacji oświetlenia LED w aspekcie bezpieczeństwa pieszych użytkowników dróg

Streszczenie. W artykule omówiono zapisy norm regulujących stan oświetlenia na przejściach dla pieszych. Przedstawiono przykłady stosowanych realizacji ze źródłami wyładowcowymi i LED. Omówiono wymagania wzrokowe dla widzenia fotopowego, mezopowego i skopotowego. Zaprezentowano projekt rozwiązania oprawy oświetlenia LED przejść dla pieszych.

Abstract. The article discusses the standards that govern state lighting at pedestrian crossings presents the currently used implementation of lighting using gas-discharge light source and LED source. Discusses the vision requirements for photopic, mesopic and scotopic vision. Presented the project to luminaires LED lighting pedestrian crossings. (**Analysis of the possibilities of LED lighting applications in terms of pedestrian safety of road users**).

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pieszych, widzenie skopotowe, oświetlenie LED.

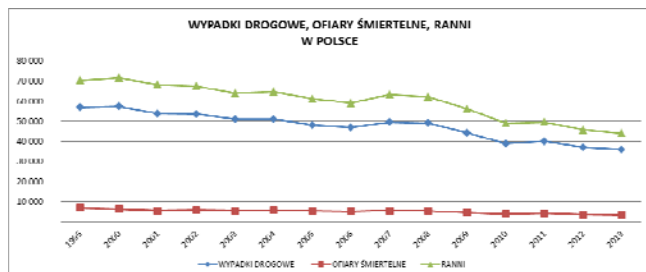
Keywords: pedestrian safety, scotopic vision, LED lighting

doi:10.12915/pe.2014.12.59

Wstęp

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) szacuje, że na drogach świata, średnio co 30 sekund ginie człowiek. Rocznie stanowi to ponad milion osób a około 50 milionów doznaje obrażeń. Zakłada się, że już w niedalekiej przyszłości wypadki drogowe mogą stać się 3-cią przyczyną zgonów ludzi na świecie.

W zeszłym roku na polskich drogach doszło do ok. 35,4 tys. wypadków, w których zginęło prawie 3,3 tys. osób, a niemal 43,5 tys. zostało rannych. Na podstawie wieloletnich statystyk można stwierdzić, że liczby te sukcesywnie spadają. Jednak Polska jest nadal w czołówce państw o największej ilości wypadków na 100 mieszkańców [policja].



Rys.1. Statystyka wypadków drogowych, ofiar śmiertelnych i rannych w Polsce [1]

Główne przyczyny wypadków to:

- niedostosowanie prędkości do warunków ruchu,
- nieprzestrzeganie pierwszeństwa przejazdu,
- nieprawidłowe przejeżdżanie przejść dla pieszych oraz nieustąpienie pierwszeństwa pieszemu (część w nocy).

Z szeregu kryteriów wpływających bezpośrednio lub pośrednio na występowanie wypadków z udziałem pieszych w otoczeniu przejścia dla pieszych można wymienić [2]:

- brak lub zły stan oświetlenia na przejściu dla pieszych,
- niewłaściwe poziomy natężenia oświetlenia i luminancji,
- istnienie reklam i urządzeń powodujących oślnienie lub niewłaściwe prowadzenie wzrokowe kierowcy.

Zapisy norm regulujące stan oświetlenia przejść dla pieszych

W obowiązującej do 2005 roku normie [3] wartości parametrów świetlnych (natężenie oświetlenia i luminancji) były precyzyjnie określone. Wraz z wejściem Polski do UE wprowadzono normy europejskie.

Norma PN-EN 12464-2:2008 Światło i oświetlenie Oświetlenie miejsc pracy Część 2: Miejsca pracy na zewnątrz w tablicy 5.1 określa parametry, które powinny być spełnione na przejściu dla pieszych.

Tabela 1. Ogólne strefy ruchu w miejscach pracy na zewnątrz [4]

Lp.	Typ strefy, zadania lub czynności	E_m [lx]	U_o -	GR_L -	R_a -
1.	Drogi wyłącznie dla pieszych	5	0,25	50	20
2.	Strefy ruchu dla wolno poruszających się pojazdów (max 10 km/h)	10	0,40	50	20
3.	Normalny ruch pojazdów (max 40 km/h)	20	0,40	45	20
4.	Przejścia dla pieszych, zawracanie pojazdów	50	0,40	50	20

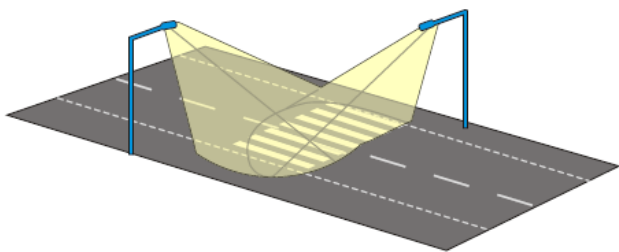
gdzie: E_m – eksploatacyjne natężenie oświetlenia, U_o – równomierność oświetlenia, GR_L – ocena oślnienia, R_a – współczynnik oddawania barw

Nowelizacja normy z 2014 roku parametrów tych nie zmieniła. Natomiast dodano rozdział 6 opisujący procedurę weryfikacji parametrów opraw i zrealizowanych instalacji oświetleniowych (E_m , U_o , R_{GL} , R_a) [4].

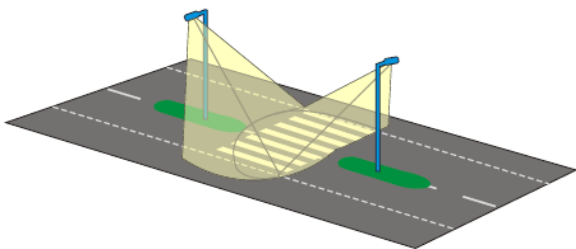
W zacytowanych fragmentach normy PN-EN 13201 Załącznik B (informacyjny) Oświetlenie przejść dla pieszych opisano wymagania formalne dotyczących oświetlenia przejść dla pieszych – „Przejścia dla pieszych mogą wymagać szczególnej uwagi. W niektórych krajach istnieją normy dające dodatkowe wskazania uwzględniające praktyki narodowe. Jeżeli może być wytworzony wystarczająco wysoki poziom luminancji jezdni, to możliwe jest rozmieszczenie opraw oświetleniowych normalnego oświetlenia drogowego tak, aby piesi byli widoczni w dobrym ujemnym kontraście, to znaczy jako ciemna sylwetka na jasnym tle. W innych przypadkach oświetlenie jest rozwiązane za pomocą dodatkowych opraw oświetleniowych. Ich celem jest oświetlenie pieszych znajdujących się na przejściu lub obok niego i zwrócenie uwagi kierowców pojazdów silnikowych na obecność przejścia dla pieszych. Typ dodatkowych opraw oświetleniowych, ich rozmieszczenie i ukierunkowanie względem powierzchni przejścia dla pieszych, powinny być takie, aby osiągnąć dodatni kontrast i nie powodować nadmiernego oślnienia kierowców. Jednym z rozwiązań jest montaż opraw w małej odległości przed przejściem, zwróconych w kierunku zgodnym z kierunkiem ruchu motorowego i kierujących światło w stronę pieszych

znajdujących się przed kierującymi pojazdami. W przypadku dróg bez rozdzielonych kierunków ruchu, oprawa jest montowana przed przejściem w każdym kierunku strumienia ruchu po stronie drogi, na której odbywa się ruch. Do tego celu przeznaczone są oprawy oświetleniowe o asymetrycznym wyprowadzeniu światła powodujące mniejsze oślnienie kierowców. Oświetlenie lokalne może być tak rozmieszczone, aby wystarczająco oświetlało pieszych po stronie zwróconej w kierunku ruchu przy wszystkich usytuowaniach powierzchni przejścia drogi. Zaleca się, aby natężenie oświetlenia mierzone w płaszczyźnie pionowej było znacznie wyższe niż poziome natężenie oświetlenia drogowego na jezdni. Zaleca się, aby strefy przy końcach przejściach przez drogę, gdzie piesi oczekują na przejście, były odpowiednio oświetlone. Oświetlenie ograniczone do wąskiego pasa wokół powierzchni przejścia powoduje bardzo silny efekt towarzyszący wzrostowi uwagi [5].”

Ile w naszym kraju jest takich przejść dla pieszych? Przykładowe rozwiązania przedstawiono na rysunkach 2, 3.



Rys.2. Oświetlenie przejścia dla pieszych z optyką prawostronną [6]



Rys.3. Oświetlenie przejścia dla pieszych z wysepką oddzielającą pasy i optyką lewostronną [6]

Oświetlenie ze źródłami wyładowczymi lub LED

Jak widać z powyższych zapisów prawidłowe oświetlenie przejść dla pieszych może mieć duże znaczenie dla bezpieczeństwa użytkowników dróg.

Człowiek jako użytkownik terenów zewnętrznych jest przyzwyczajony do naturalnej barwy, pochodzącej z odbicia światła od księżyca oraz ze świecącego nieboskłonu. Temperatura barwowa tego światła jest bliska 4000 K. Światło emitowane przez źródła światła oświetlenia zewnętrznego ma temperaturę barwową od 2000 do 7000 K (lampy rtęciowe, sodowe, metalohalogenkowe, LED). Niektóre z nich odbiegają od naturalnego nocnego krajobrazu. Oprawy ze źródłami sodowymi emitują światło o barwie pomarańczowej (około 2000 K). Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku oświetlenia oprawami ze źródłami LED, metalohalogenkowymi o temperaturze barwowej 6000 – 7000 K. Nie znaczy to jednak, że w oświetleniu zewnętrznym powinno się stosować źródła emitujące światło o barwie 4000 K. Do oświetlania autostrad, dróg szybkiego ruchu oraz innych miejsc, gdzie przeważa ruch samochodowy optymalniejsze okazują się oprawy ze

źródłami sodowymi. Ich światło ma cieplejszą barwę od naturalnego nocnego krajobrazu oraz niski wskaźnik oddawania kolorów (Ra 25). W oświetleniu placów, arterii i ciągów komunikacyjnych ruchu pieszego bardziej wskazane są lampy zapewniające wyższe wskaźniki oddawania kolorów i białe barwy światła dla lepszego odwzorowania barw otaczającego krajobrazu (oprawy ze źródłami metalohalogenkowymi i LED o barwach 3000 – 5000 K i wskaźnikach oddawania barw Ra powyżej 75).

W najczęściej stosowanych rozwiązaniach przejście dla pieszych nie posiada swojego osobnego oświetlenia. W obszarze zabudowanym realizowane było głównie z latarni oświetlenia ulicznego, a poza obszarem zabudowanym z opraw montowanych na wysięgnikach nad jezdnią.



Rys.4. Oświetlenie ulicy i przejścia dla pieszych [7]

Taki sposób oświetlenia sprawia, że miejsce przejścia przez jezdnię jest z reguły dobrze widoczne dla kierowców, natomiast sylwetka pieszego znajdującego się na przejściu pozostaje ciemna. Jest to efekt skierowania źródła światła do dołu, co powoduje, że światło po odbiciu się od sylwetki pieszego kierowane jest ku górze.



Rys.5. Oświetlenie przejścia dla pieszych [7]

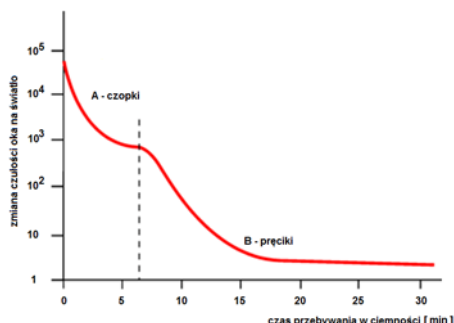
Stosowane są tu oprawy ze źródłami sodowymi, metalohalogenkowymi lub LED. Wyróżnienie przejścia dla pieszych można osiągnąć m.in. przez: - zwrócenie uwagi kierowcy na pieszych znajdujących się w strefie przejścia z dużych odległości. Odbywa się to przez wytworzenie maksymalnego dodatniego kontrastu między pieszym a otoczeniem; - oświetlenie płaszczyzny pionowej (oświetlenie wertykalne) w obszarze przejścia dzięki czemu „jasny” bok pieszego jest doskonale widoczny na „ciemnym tle”. System ten umożliwia jednakowe postrzeganie pieszych przez kierowców w porze nocnej, niezależnie od warunków atmosferycznych; - zmianę barwy źródła światła (tzw. kontrast barwy): oprawa może być wyposażona w lampę metalohalogenkową (światło białe) gdy oświetlenie uliczne jest realizowane za pomocą opraw wyposażonych w lampy sodowe (światło żółte) i na odwrót; - umieszczenie opraw w odległości około 1,5 m przed przejściem (patrząc

od strony kierowcy) i na wysokości 6 m, w celu osiągnięcia optymalnych efektów. Zaprezentowane rozwiązania nie spełniają zapisów normy 13201 [5].

Bodźce odbierane przez kierowców

W praktyce jest stosowane oświetlenie dostosowane do widzenia fotopowego, które umożliwia dokładne rozróżnianie barw i szczegółów. W zakresie widzenia mezopowego rozróżnia się barwy i ich kontrasty (w części pola widzenia zbliżonego do osi wzrokowej). W obwodowej części pola barw w ogóle się nie postrzega. W najmniejszym natężeniu oświetlenia wzrok odbiera bodźce w zakresie widzenia skopotowego. Jest to widzenie achromatyczne (szarości i czarny), w którym nie rozróżnia się ani kształtów, ani barw chromatycznych. Rozróżniane są tylko zewnętrzne kontury przedmiotów na słabiej lub silniej oświetlonym od nich tle. Również dobrze zauważalny jest tu ruch. Jednymi ze zwierząt, których poruszanie i polowanie w nocy jest oparte o widzenie skopotowe są sowy [8].

Powszechnie uważa się, że widzenie przez pręciki jest mało istotne i nie jest ono uwzględniane przy pomiarach ilości światła. Czyste widzenie skopotowe występuje tylko przy bardzo niskich poziomach natężenia oświetlenia, jednakże przy wyższych natężeniach światła udział pręcików staje się znaczący. Jak można zauważyć na podstawie wykresu krzywej czułości względnej oka ludzkiego $V(\lambda)$ dla widzenia fotopowego i skopotowego szeroki zakres czerwieni od 630 nm do 770 nm jest przy widzeniu skopotowym niewidziany. Maximum dla widzenia skopotowego występuje dla długości fali 507 nm. Przesunięcie krzywych świadczy o tym, że w słabym świetle dostrzegamy promieniowanie (fale krótkie) niedostrzegalne przy silnym oświetleniu. Adaptacja widzenia jest jedną z własności wzroku co pozwala oku widzieć przy różnych poziomach oświetlenia.



Rys.6. Zmiana w progu wrażliwości jako rezultat procesu fotochemicznej adaptacji, wykreślonej w czasie. A – adaptacja czopków; B – adaptacja pręcików [9]

Wysoka aktywność pręcików dla widzenia skopotowego (szczególnie w przypadku źródeł światła o dużym promieniowaniu w zakresie zielono-niebieskim widma 507 nm) powoduje zmniejszenie źrenicy. Pociąga to za sobą poprawę skuteczności reakcji wzrokowej oraz wydolności widzenia i znaczne zmniejszenie niedoskonałości aberacyjnych soczewek oczu [9,10].

Analizując wiedzę medyczną oraz stosowane rozwiązania oświetlenia przejść dla pieszych zaproponowano zastosować rozwiązanie łączące w sobie odpowiednio dobrane źródła LED i przekształtniki z możliwością sterowania wartościami długości fali oraz wartości strumienia emitowanego światła. Wykonano projekt oprawy oświetleniowej ze źródłami LED emitującymi światło o długości 507 nm.



Rys.7. Zaprojektowana oprawa oświetleniowa LED [oprac. własne]

Tabela 1. Parametry projektowanej oprawy oświetleniowej

Moc całkowita [W]	35 ÷ 55
Moc emitera [W]	27 ÷ 46
Strumień świetlny [lm]	3500 ÷ 6700
Temperatura barwowa [K]	4000
Trwałość [h]	50000
Temperatura pracy [°C]	-30 ÷ +40
Układ soczewek	niesymetryczny

W porozumieniu z UM Częstochowa będą realizowane badania na przejściach dla pieszych w dwóch wariantach rozmieszczenia opraw (rys. 2 i 3).

Dobór źródeł LED wzięto pod uwagę przewidywaną luminancję otoczenia i dokonano korekcji katalogowej wartości strumienia fotopowego w celu uzyskania rzeczywistej wartości strumienia świetlnego dla warunków skopotowych.

Podsumowanie

Stosując specjalnie dobrane oświetlenie LED można uzyskać spadek zużycia energii oraz do poprawę jakości widzenia. Oświetlenie przejść dla pieszych będzie realizowane za pomocą dodatkowych opraw oświetleniowych. Celem ich pracy jest oświetlenie pieszych, którzy znajdują się przed i na przejściu.

Ważnym czynnikiem wpływającym na bezpieczeństwo pieszych jest widzialność sylwetki pieszego, jaką postrzega kierowca zbliżając się do strefy niebezpiecznej – przejścia dla pieszych. Czynnikiem ten jest bardzo uzależniony od odpowiednio dobranego i poprawnie zaprojektowanego oświetlenia przejścia dla pieszych.

Przykładem optymalnego oświetlenia przejścia jest zastosowanie specjalnych rozwiązań opraw oświetleniowych przystosowanych wyłącznie do oświetlania przejść dla pieszych.

LITERATURA

- [1] Dane statystyczne Komendy Głównej Policji: www.kgp.gov.pl
- [2] Tomczuk P.: Assessment of the state of pedestrian crossing lighting on the basis of field measurements of luminance, *Przegląd Elektrotechniczny*, pp. 266-269, R. 89 NR 8/2013
- [3] PN-76/E-02032 : Oświetlenie dróg publicznych
- [4] PN-EN 12464-2:2008:2014: Światło i oświetlenie -- Oświetlenie miejsc pracy -- Część 2: Miejsca pracy na zewnątrz
- [5] PN-EN 13201-2:2007 : Oświetlenie dróg. Część 2: Wymagania oświetleniowe
- [6] www.apm.pl
- [7] www.schreder.pl
- [8] Grzywaczewski G., Szczepaniak P.: Sowy Polski, Fundacja wspierania inicjatyw ekologicznych Kraków 2007
- [9] Turlej Z.: Energooszczędny aspekt barwy światła. *Światło* 1998, nr 1
- [10] Górczewska M.: Oświetlenie LED – zalety, wady, kierunki rozwoju, materiały konferencji Oświetlenie dróg i miejsc publicznych 10-11. 04. 2014r., PTPIREE Białka Tatrzańska

Autorzy: dr inż. Marek Kurkowski, mgr inż. Magdalena Chlewicka, prof. dr hab. inż. Andrzej Krawczyk, mgr inż. Paweł Witkowski Politechnika Częstochowska, al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, Katarzyna Kurkowska studentka Uniwersytet Medyczny w Białymstoku, ul. Jana Kilińskiego 1, 15-089 Białystok, e-mail: tarnaslight@wp.pl.