

## Ocena stanu oświetlenia wybranych przejść dla pieszych na podstawie parametrów natężenia oświetlenia

**Streszczenie.** Wybór odpowiedniego systemu oświetlenia instalowanego na przejściu dla pieszych odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu właściwych warunków oświetleniowych wszystkim uczestnikom ruchu drogowego. Wiedza o właściwościach fotometrycznych danej oprawy oraz sposobie przeprowadzenia badań terenowych może przyczynić się do podjęcia decyzji o wyborze rozwiązania optymalnego. W artykule zaprezentowano wyniki badań terenowych wybranych opraw oświetlających przejście dla pieszych. Na podstawie otrzymanych wyników symulacji dokonano oceny poszczególnych rozwiązań oświetleniowych.

**Abstract.** The choice of an adequate lighting system installed on pedestrian crossing plays a key role in ensuring proper lighting conditions to all participants of road traffic. Due to the lack of precise normative guidelines and formal design recommendations, the designer has freedom of choice in the solutions to be applied. The knowledge of photometric properties of a given lighting frame can contribute to the choice of optimal solution. The article presents results of inspection researches of selected lighting frames dedicated to pedestrian crossings. On the basis of results obtained, assessment of particular lighting solutions has been made. (Assessment of the state of chosen pedestrian crossing lighting on the basis of luminous flux density).

**Słowa kluczowe:** pieszy, natężenie oświetlenia, oświetlenie przejść dla pieszych, oświetlenie uliczne.

**Keywords:** pedestrian, illuminance, contrast, lighting of pedestrian crossings, street lighting.

doi:10.12915/pe.2014.01.80

### Wstęp

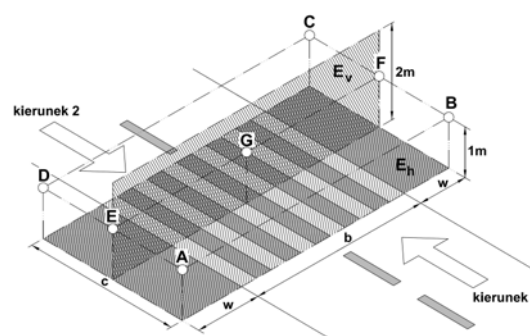
Dążąc do poprawy bezpieczeństwa na przejściach dla pieszych stosowane są różnego rodzaju oprawy dodatkowe których zadaniem jest doświetlenie obszaru konfliktowego.

Na polskim rynku oświetleniowym dostępne są oprawy dedykowane przez producentów do tego typu zastosowań [1, 2]. Jednak nadal większość przejść dla pieszych oświetlona jest jedynie oprawami ulicznymi [3]. Jak wynika z przeprowadzonej przez autora analizy wymagań fotometrycznych dotyczących oświetlenia przejść dla pieszych [4] w Polsce brakuje precyzyjnych wytycznych pozwalających na określenie stanu oświetlenia na przejściu dla pieszych [5, 6]. Można zatem podjąć starania aby określić zalecenia i sposób pomiaru kluczowych parametrów oświetleniowych [7]. W niniejszym artykule skupiono się na ocenie stanu oświetlenia przejścia dla pieszych za pomocą parametrów natężenia oświetlenia. W celu porównania właściwości poszczególnych rozwiązań zaprezentowano wyniki badań terenowych przeprowadzone dla trzech typów opraw oświetleniowych. Pierwsza sytuacja dotyczy oświetlenia przejścia dla pieszych za pomocą opraw ulicznych. Kolejne dwa przypadki dotyczą oświetlenia zrealizowanego za pomocą opraw znanych producentów [1, 2], które są przez nich dedykowane do oświetlenia przestrzeni przejścia dla pieszych.

### Parametry natężenia oświetlenia

Przejście dla pieszych jest miejscem, w którym krzyżują się potoki ruchu pojazdów i pieszych. Uczestnicy ruchu drogowego oczekują zapewnienia takich warunków oświetleniowych, które zapewnią im właściwą ocenę sytuacji drogowej. Należy zatem zadać pytanie: jakie parametry oświetleniowe wpływają na zrealizowanie funkcji oświetleniowych? Jak można oczekiwać piesi zbliżający się do przejścia dla pieszych powinni mieć zapewnione odpowiednie poziomy natężenia oświetlenia na jezdni oraz w strefie oczekiwania czyli w płaszczyźnie poziomej (rysunek 1 płaszczyzna  $E_h$ ). Jednocześnie kierowcy pojazdów samochodowych zbliżając się do przejścia dla pieszych powinni mieć zagwarantowane odpowiednio wysokie poziomy natężenia oświetlenia w płaszczyźnie pionowej (rysunek 1, płaszczyzna  $E_v$ ). Oświetlenie powinno być tak zrealizowane aby sylwetka pieszego znajdującego się na przejściu dla pieszych bądź oczekującego na jego przekroczenie była oświetlana od strony nadjeżdżających

pojazdów. W celu wykonania badań należy wprowadzić odpowiednią geometrię pomiaru, w tym dwie płaszczyzny pomiarowe ( $E_h$  i  $E_v$ ) i kierunki pomiaru, zaprezentowane na rysunku 1.



Rys. 1. Geometria pomiaru natężenia oświetlenia na przejściu dla pieszych z zaznaczeniem płaszczyzn i kierunków pomiarowych

### Wymagania formalne

Do roku 2005 obowiązywały w Polsce przepisy ściśle regulujące wymagania fotometryczne dotyczące oświetlenia instalowanego na przejściach dla pieszych [8]. Część tych rozwiązań jest obecnie eksploatowana lub poddawana modernizacji. Należy więc przytoczyć przepisy, które są dotychczas w użyciu w odniesieniu do istniejących instalacji.

Zalecenia uprzednio obowiązującej w Polsce normy PN-76/E-02032 "Oświetlenie dróg publicznych" wprowadzonej w 1976r. [8] dotyczyły oceny parametrów oświetleniowych wyrażonych wartością średniego natężenia oświetlenia w płaszczyźnie prostopadłej do ruchu pojazdów. Według wymagań średnie natężenie oświetlenia na płaszczyźnie pionowej, przechodzącej przez oś przejścia od strony nadjeżdżających pojazdów na wysokości 1m nad przejściem, wyrażone w luksach, powinno być liczbowo co najmniej 50 razy większe od średniej luminancji jezdni na przestrzeni 50m przed i za przejściem, wyrażonej w  $\text{cd/m}^2$ . Natężenie to nie powinno być jednakże w żadnym przypadku mniejsze od 40lx, a jego wartość minimalna w dowolnym miejscu przejścia łącznie ze strefą oczekiwania pieszych nie powinna być mniejsza od 10lx (za strefę oczekiwania pieszych należy przyjąć strefę chodnika stanowiącą przedłużenie przejścia o 1m). Wymagania nie

dotyczyły tych przejść na jezdniach, których luminancja na przestrzeni 50m przed i za przejściem wynosi co najmniej  $2\text{cd/m}^2$ , a jej równomierność jest większa bądź równa 0,4. Norma zaleca, aby na szczególnie niebezpiecznych przejściach dla pieszych, pozbawionych sygnalizacji świetlnej, przechodnie powinni być widoczni w postaci jasnych sylwetek na ciemnym tle jezdni. Ponadto na wszystkich innych przejściach przechodnie powinni być widoczni w postaci ciemnych sylwetek na jasnym tle jezdni. Wymagane jest zatem dążenie do możliwie najlepszego oświetlenia tła (jezdni za przejściem) i możliwie najmniejszego oświetlenia powierzchni pionowej przechodnia od strony nadjeżdżających pojazdów.

Obecnie w Polsce stosowana jest norma oświetlenia drogowego PN-EN 13201:2007 [5]. Zakłada odmienne warunki oświetlenia stref konfliktowych, w tym przejść dla pieszych. Zalecenia dotyczące poziomu luminancji lub natężenia oświetlenia nie są jednolite dla każdego przejścia, co wynika z przyjętej klasy oświetlenia na danym odcinku drogi, określonej z uwzględnieniem szeregu parametrów drogi, w tym stref konfliktowych. Można wyróżnić dwie sytuacje oświetleniowe. W przypadku, gdy istnieje stacjonarne oświetlenie drogi i 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 niewielkiej 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.

Zatem dodatkowe oprawy oświetlenia lokalnego powinny być tak rozmieszczone, aby wystarczająco oświetlały pieszych po stronie zwróconej w kierunku ruchu przy wszystkich usytuowaniach powierzchni przejścia drogi. Stąd wniosek, że natężenie oświetlenia mierzone w płaszczyźnie pionowej ma być znacznie wyższe niż poziome natężenie oświetlenia drogowego na jezdni. Zalecenie to dotyczy także strefy oczekiwania na przejście. Oświetlenie ograniczone do wąskiego pasa wokół powierzchni przejścia powoduje bardzo silny efekt towarzyszący wzrostowi uwagi.

W normie nie sprecyzowano zaleceń dotyczących pionowego natężenia oświetlenia w płaszczyźnie prostopadłej do osi przejścia oraz zaleceń dotyczących natężenia oświetlenia w płaszczyźnie horyzontalnej – na płaszczyźnie jezdni oraz w strefie oczekiwania. Skutkuje to brakiem zaleceń projektowych niezbędnych do przeprowadzenia badań powykonawczych i może wpływać na brak możliwości zauważenia pieszego przez kierowcę pojazdu zbliżającego się do przejścia dla pieszych.

W celu przybliżenia czytelnikowi problematyki związanej ze stanem oświetlenia przejść dla pieszych w dalszej części

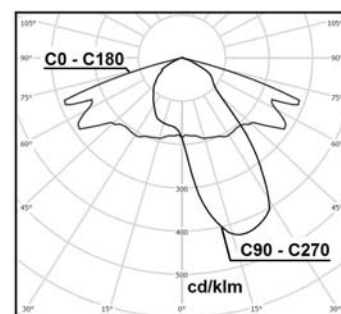
artykułu przedstawiono szczegółowe wyniki badań terenowych. Pomiary przeprowadzono na wytypowanym przez zarządcę drogi do badań przejściu dla pieszych. Znajduje się ono w Warszawie na skrzyżowaniu ulic Walerego Sławka i Karola Adamickiego.

### Oświetlenie przejścia dla pieszych oprawami ulicznymi

Pierwszy przypadek prezentuje oświetlenie przejścia dla pieszych z wykorzystaniem opraw ulicznych zainstalowanych jednostronnie z rozstawem 26m, wzdłuż ulicy jednojezdniowej, dwukierunkowej, o jednym pasie ruchu dla każdego kierunku (rysunek 2). Słupy oświetlenia ulicznego usytuowane są asymetrycznie względem przejścia dla pieszych. Od strony ulicy Konińskiej odległość pomiędzy osią przejścia dla pieszych a oprawą uliczną wynosi 6,75m, natomiast w kierunku ulicy Bohaterów Warszawy 19,25m. Ulica oświetlona jest oprawami OUS [3] z sodowym źródłem światła o mocy 150W. Oprawy oświetlenia ulicznego zamontowane są na wysokości 10m na słupach ŻN-10. Rozsył wiązki świetlnej oprawy przedstawiono na rysunku 3.

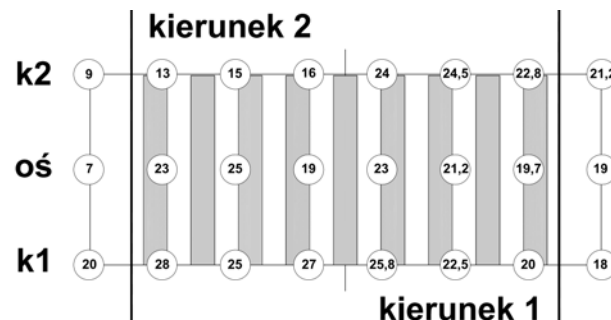


Rys. 2. Zdjęcie przejścia dla pieszych oświetlonego oprawami ulicznymi



Rys. 3. Rozsył wiązki świetlnej oprawy ulicznej w płaszczyznach C0-C180 oraz C90-C270 [3]

Wyniki pomiaru natężenia oświetlenia w płaszczyźnie horyzontalnej  $E_h$  przejścia dla pieszych oświetlonego za pomocą opraw ulicznych przedstawiono schematycznie na rysunku 4.



Rys. 4. Wyniki pomiaru poziomego natężenia oświetlenia w siatce pomiarowej na przejściu dla pieszych dla opraw oświetlenia ulicznego

W tabeli 1 zestawiono wartości natężenia oświetlenia w płaszczyźnie  $E_h$ , natomiast w tabeli 2 wyniki odnoszące się do płaszczyzny  $E_v$ .

Tabela 1. Wyniki obliczeń parametrów natężenia oświetlenia w płaszczyźnie horyzontalnej  $E_h$

$E_{h\dot{s}r}$	$E_{hmin}$	$E_{hmax}$	$E_{hmin}/E_{h\dot{s}r}$	$E_{hmin}/E_{hmax}$
[lx]	[lx]	[lx]	[-]	[-]
20,36	7,00	28,00	0,34	0,25

Tabela 2. Wyniki obliczeń parametrów natężenia oświetlenia w płaszczyźnie wertykalnej  $E_v$

Kierunek obserwacji	$E_{v\dot{s}r}$	$E_{vmin}$	$E_{vmax}$	$E_{vmin}/E_{v\dot{s}r}$	$E_{vmin}/E_{vmax}$
	[lx]	[lx]	[lx]	[-]	[-]
1	17,53	9,20	25,00	0,52	0,36
2	11,45	2,30	15,70	0,20	0,14

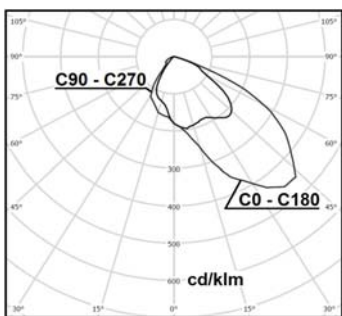
### Oświetlenie przejścia dla pieszych oprawami dodatkowymi typu 1

W drugiej kolejności zmierzono wartości natężenia oświetlenia na przejściu dla pieszych oświetlonym za pomocą opraw dodatkowych typu 1, zamocowanych tymczasowo w pobliżu przejścia dla pieszych. Umieszczone one zostały w stawieniu krzyżowym, zgodnie z zaleceniami producenta [1] w odległości 4m od środka przejścia dla pieszych, oraz 0,5m od krawędzi drogi na wysokości 5m (rysunek 5).



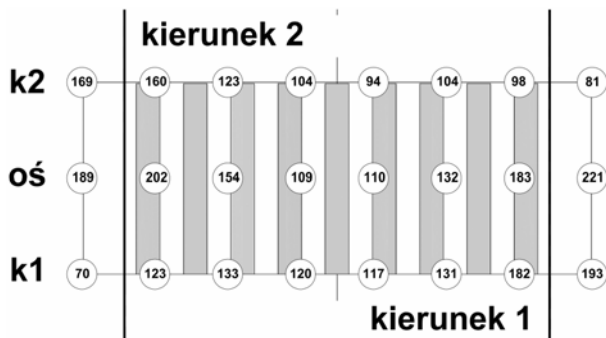
Rys. 5. Widok oświetlonego przejścia dla pieszych oprawami dodatkowymi typu 1

Ten sposób instalacji oraz ukierunkowana pod kątem ok. 40° wiązka świetlna pozwala doświetlić sylwetkę pieszego od strony zbliżających się pojazdów. Zastosowana oprawa cechuje się asymetrycznym rozsyłem wiązki świetlnej który przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Rozsył wiązki świetlnej oprawy typu 1 w płaszczyznach C0-C180 oraz C90-C270 [1]

Wyniki pomiaru natężenia oświetlenia w płaszczyźnie horyzontalnej  $E_h$  przejścia dla pieszych oświetlonego za pomocą opraw typu 1 przedstawiono graficznie na rysunku 7. W tabeli 3 zestawiono wartości natężenia oświetlenia w płaszczyźnie horyzontalnej  $E_h$ , natomiast w tabeli 4 wyniki odnoszące się do płaszczyzny pionowej  $E_v$ .



Rys. 7. Wyniki pomiaru poziomego natężenia oświetlenia w siatce pomiarowej na przejściu dla pieszych dla opraw typu 1

Tabela 3. Wyniki obliczeń parametrów natężenia oświetlenia w płaszczyźnie horyzontalnej  $E_h$

$E_{h\dot{s}r}$	$E_{hmin}$	$E_{hmax}$	$E_{hmin}/E_{h\dot{s}r}$	$E_{hmin}/E_{hmax}$
[lx]	[lx]	[lx]	[-]	[-]
137,58	70,00	221,00	0,51	0,32

Tabela 4. Wyniki obliczeń parametrów natężenia oświetlenia w płaszczyźnie wertykalnej  $E_v$

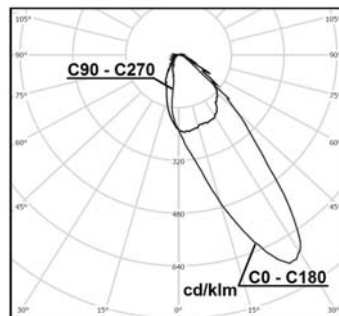
Kierunek obserwacji	$E_{v\dot{s}r}$	$E_{vmin}$	$E_{vmax}$	$E_{vmin}/E_{v\dot{s}r}$	$E_{vmin}/E_{vmax}$
	[lx]	[lx]	[lx]	[-]	[-]
1	92,99	19,50	263,00	0,21	0,07
2	85,99	24,70	225,00	0,29	0,11

### Oświetlenie przejścia dla pieszych oprawami dodatkowymi typu 2

Trzeci pomiar dotyczy oświetlenia obszaru przejścia dla pieszych za pomocą opraw ulicznych łącznie z dodatkowymi dedykowanymi do tego celu przez producenta [2]. Oprawy typu 2 zainstalowane są na stałe w ustawieniu krzyżowym w odległości 2,5m od krawędzi przejścia dla pieszych na wysokości 5.5m (rysunek 8) Zastosowana oprawa cechuje się niesymetrycznym rozsyłem wiązki świetlnej skupionym w kierunku 30° w płaszczyźnie C0-C180, przedstawionym na rysunku 9.

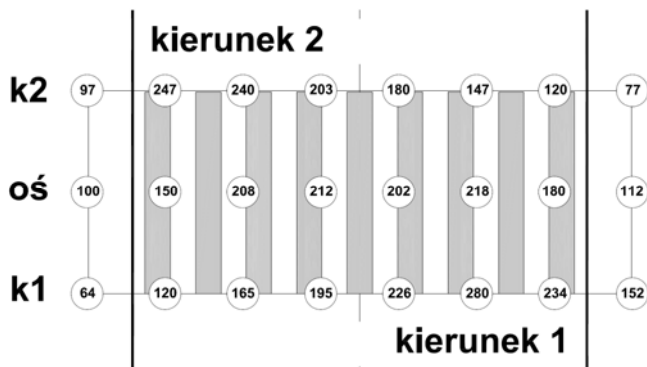


Rys. 8. Widok oświetlonego przejścia dla pieszych oprawami dodatkowymi typu 2



Rys. 9. Rozsył wiązki świetlnej oprawy typu 2 w płaszczyznach C0-C180 oraz C90-C270 [2]

Wyniki pomiaru natężenia oświetlenia w płaszczyźnie horyzontalnej  $E_h$  przejścia dla pieszych oświetlonego za pomocą opraw typu 2 przedstawiono schematycznie na rysunku 10. W tabeli 5 zestawiono wartości natężenia oświetlenia w płaszczyźnie poziomej  $E_h$ , natomiast w tabeli 6 wyniki odnoszące się do płaszczyzny pionowej  $E_v$ .



Rys. 10. Wyniki pomiaru poziomego natężenia oświetlenia w siatce pomiarowej na przejściu dla pieszych dla opraw typu 2

Tabela 5. Wyniki obliczeń parametrów natężenia oświetlenia w płaszczyźnie horyzontalnej  $E_h$  – oprawy typu 2

$E_{h\text{sr}}$	$E_{h\text{min}}$	$E_{h\text{max}}$	$E_{h\text{min}}/E_{h\text{sr}}$	$E_{h\text{min}}/E_{h\text{max}}$
[lx]	[lx]	[lx]	[-]	[-]
172,04	64,00	280,00	0,37	0,23

Tabela 6. Wyniki obliczeń parametrów natężenia oświetlenia w płaszczyźnie wertykalnej  $E_v$  – oprawy typu 2

Kierunek obserwacji	$E_{v\text{sr}}$	$E_{v\text{min}}$	$E_{v\text{max}}$	$E_{v\text{min}}/E_{v\text{sr}}$	$E_{v\text{min}}/E_{v\text{max}}$
	[lx]	[lx]	[lx]	[-]	[-]
1	72,40	22,50	122,00	0,31	0,18
2	96,25	26,00	157,00	0,27	0,17

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów parametrów natężenia oświetlenia na przejściu dla pieszych. Przedstawiono przykładowe trzy rozwiązania oświetleniowe, które stosowane są na polskich drogach. Nadmienić należy, że otrzymane wyniki pomiarów dotyczą szczególnych przypadków, sytuacji oświetleniowych. Otrzymane wartości natężenia oświetlenia w przypadku opraw o rozsyle ulicznym wskazują jednoznacznie na potrzebę wdrażania rozwiązań poprawiających stan oświetlenia przejść dla pieszych. Oprawy uliczne nie są w stanie zapewnić odpowiednich warunków oświetleniowych na przejściu dla pieszych. W Polsce najczęściej jest spotykane, jednostronne usytuowanie opraw oświetlenia ulicznego. Przejścia dla pieszych znajdują się często w pobliżu oprawy. Jak wynika z przedstawionych na rysunku 4 danych pomiarowych oraz obliczeń przedstawionych w tabeli 1 wartość średniego natężenia oświetlenia ( $E_{h\text{sr}}=20,36\text{lx}$ ) jest dostateczna do obserwacji płaszczyzny przejścia dla pieszych przez pieszego. Natomiast zarejestrowane wartości natężenia oświetlenia w płaszczyźnie pionowej  $E_v$  świadczą o niekorzystnych warunkach oświetleniowych na sylwetce pieszego. Taka sytuacja prowadzić może do paradoksu polegającego na tym, że pieszy może odnieść mylne wrażenie, że jest dobrze widoczny przez zbliżających się do przejścia kierowców pojazdów i nie zachowuje należytej ostrożności podczas wejścia na jezdnię.

Jak wynika z przedstawionych wyników pomiarów na uwagę zasługuje oświetlenie przejść dla pieszych za pomocą dodatkowych, dedykowanych opraw oświetleniowych. Zarówno w przypadku opraw typu 1 jak i 2

wytworzony jest wysoki poziom natężenia oświetlenia w płaszczyźnie poziomej  $E_h$  (tabele 3 i 5) jak i pionowej  $E_v$  (tabele 4 i 6) Otrzymane wartości pionowego natężenia oświetlenia  $E_v$  (maksymalne powyżej 100lx, średnie powyżej 70lx) dla dwóch kierunków pomiarów mogą świadczyć o optymalnym oświetleniu przestrzeni przejścia dla pieszych. Zaprezentowane rozwiązania oświetleniowe (typu 1 i 2) zapewniają kierowcom możliwość pewnego rozpoznania sylwetki pieszego znajdującego się zarówno na jezdni jak i w strefie oczekiwania. Gwarantują także pieszemu dobre warunki oświetleniowe na i w pobliżu przejścia.

Przedstawione przykładowe wyniki pomiarów potwierdziły fakt, że zastosowanie oświetlenia dodatkowego na przejściach dla pieszych jest korzystne z punktu widzenia kierowców, zapewniając im właściwe poziomy natężenia oświetlenia niezbędnego do rozpoznania sylwetki pieszego. Tego typu rozwiązania powinny znaleźć zastosowanie na szczególnie niebezpiecznych przejściach dla pieszych, gdzie powinny być zagwarantowane odpowiednie warunki oświetleniowe.

Prowadzone prace badawcze zmierzają do ustalenia wymogów lub zaleceń dotyczących oświetlenia szczególnie niebezpiecznych przejść dla pieszych w Polsce, tak jak ma to miejsce w innych krajach [9, 10, 11, 12]. Przyjęcie jednolitych kryteriów wartościowania stanu oświetlenia przejść dla pieszych, wraz ze spełnieniem kluczowych parametrów technicznych może pozwolić w przyszłości na weryfikację zastosowanego rozwiązania technicznego.

Brak w Polsce precyzyjnych wytycznych fotometrycznych lub zaleceń formalnych nie może być przyczyną zaniechania prowadzenia badań oświetlenia zainstalowanego na przejściach dla pieszych.

Badania fotometryczne infrastruktury drogowej mogą przyczynić się do poprawy złego stanu bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu drogowego w Polsce [13, 14].

## LITERATURA

- [1] Producent opraw Thorn IVS, [www.thornlighting.pl](http://www.thornlighting.pl)
- [2] Producent opraw Calypso Zebra, [www.schreder.pl](http://www.schreder.pl)
- [3] Producent opraw, [www.brilux.pl](http://www.brilux.pl)
- [4] Tomczuk P., Bezpieczeństwo pieszych - pomiary luminancji na przejściu dla pieszych. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport, Badania Środków i Systemów Transportowych z. 80, str.117-135 Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012*
- [5] Polska Norma PN-EN 13201:2007, Oświetlenie dróg
- [6] Bąk J., Komentarz do raportu technicznego PKN-CEN/TR 13201-1 oraz do normy PN-EN 13201-2, (2007), *COSIW, SEP, Warszawa 2007*
- [7] Tomczuk P., Assessment model of luminance contrast of pedestrian figure against background on pedestrian crossing, *Przegląd Elektrotechniczny, R. 88 NR 3a/2012 p.104-107 SIGMA-NOT*
- [8] Polska Norma PN-76/E-02032: Oświetlenie dróg publicznych
- [9] Norma DIN 67523-2:2010-06: Beleuchtung von Fußgängerüberwegen (Zeichen 293 StVO) mit Zusatzbeleuchtung, Germany.
- [10] The design of pedestrian crossings, *Department for Transport (DfT) (2005b), Note 2/95, London, 2009*
- [11] TRB VIS 2002-28: Crosswalk Lighting
- [12] Norma AS/NZS 1158.4:2009: Lighting for roads and public spacer. Part 4: Lighting of pedestrian crossings, *Australia*
- [13] Road safety raport pedestrian and cyclist 2011, *DEKRA Automobil GmbH, www.dekra.de*
- [14] Dane statystyczne Komendy Głównej Policji: [www.kgp.gov.pl](http://www.kgp.gov.pl)

Autor: dr inż. Piotr Tomczuk, Politechnika Warszawska, Wydział Transportu, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, E-mail: [ptomczuk@wt.pw.edu.pl](mailto:ptomczuk@wt.pw.edu.pl)