

## Analiza wpływu parametrów systemu oświetlenia drogowego na poziom widoczności

**Streszczenie.** W krajach europejskich parametry fotometryczne na oświetlanej drodze wyznaczone są na podstawie kryterium luminancji lub natężenia oświetlenia. Poziom widoczności przeszkód nie jest uwzględniany, nie ma właściwej procedury oceny poziomu widoczności. Stosowane w USA kryterium poziomu widoczności nie umożliwia oceny widoczności przeszkód zgodnie z europejskimi wymaganiami oświetleniowymi. Pozwala jednak na analizę wpływu różnych parametrów na poziom widoczności.

**Abstract.** In European countries the photometric parameters on the road are determined the basis on luminance or illuminance criterion. The visibility level of obstacles isn't taken into consideration, there is no system to assess of the visibility level. Used in the U.S. criterion does not allow assessment of the visibility obstacles in accordance with European lighting requirements. However, it allows to analyze the effects of various parameters on the visibility level. (**Analysis of the impact of road lighting system parameters on the visibility level.**)

**Słowa kluczowe:** widoczność przeszkód na drodze, poziom widoczności, system oświetlenia drogowego

**Keywords:** visibility objects on road, visibility level, road lighting system

doi:10.12915/pe.2014.01.81

### Wstęp

Stacjonarne oświetlenie drogi jest bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na komfort i bezpieczeństwo ruchu drogowego. W każdej chwili cała droga i jej bezpośrednie otoczenie powinny być dobrze widoczne. Kierowca musi mieć możliwość zauważenia w odpowiednim czasie wszystkich przeszkód znajdujących się na drodze.

Badania [1, 2, 3] dotyczące widoczności przeszkód na drodze wykazały, że spełnienie wymagań normatywnych w odniesieniu do luminancji średniej oraz równomierności ogólnej i wzdłużnej nie gwarantuje spostrzeżenia przeszkody na drodze. Możliwość zauważenia obiektu na drodze lub w jej bezpośrednim otoczeniu występuje tylko wtedy, gdy kontrast jaki tworzy obiekt z tłem (drogą lub jej otoczeniem) jest powyżej wartości progowej. Widoczność przeszkód na drodze uzależniona jest od takich czynników jak: warunki oświetleniowe panujące na drodze oraz i jej w otoczeniu, występowanie w polu widzenia kierowcy źródeł olśnienia, źródeł rozpraszających i przyciągających uwagę np. zewnętrzne reklamy elektroniczne (reklamy LED) [4, 5], własności geometryczne i fotometryczne przeszkód, warunki obserwacji oraz wydolność wzrokowa kierowcy.

Obecnie w krajach europejskich stosuje się w trakcie projektowania oświetlenia drogowego, w zależności od przyjętej klasy oświetlenia, kryterium luminancji lub natężenia oświetlenia. Kryterium bazujące na poziomie widoczności nie jest jak dotąd stosowane. Nie ma odpowiedniej procedury oceny poziomu widoczności przeszkód. Zalecane w publikacji CIE nr 115 z roku 1995 [6] wartości poziomów widoczności zostały w kolejnym wydaniu [7] wycofane.

W dalszym ciągu prowadzone są prace badawcze zmierzające do ustalenia poziomów widoczności zapewniających prawidłowe postrzeganie przeszkód.

W przeciwieństwie do krajów europejskich w USA kryterium widoczności - Small Target Visibility (*STV*) jest już od dawna stosowane w praktyce projektowej. Kryterium *STV* wykorzystuje opis matematyczny progowej wartości różnicy luminancji obiektu i tła zaproponowanym przez Adriana [8].

Wyznaczanie poziomu widoczności, zgodnie z procedurą kryterium *STV*, wymaga obliczenia luminancji przeszkody krytycznej, luminancji otoczenia przeszkody, luminancji zamglenia oraz uwzględnienia czasu przeznaczanego na obserwację, wieku obserwatora, wielkości kątowej przeszkody krytycznej widzianej z pozycji obserwatora, polaryzacji kontrastu obiektu i tła (dodatni lub ujemny).

Wpływ wieku obserwatora, czasu przeznaczanego na obserwację obiektu na drodze oraz polaryzacji kontrastu obiektu i tła (dodatni, ujemny) uwzględniony jest w trakcie obliczeń w postaci odpowiednich współczynników.

W końcowym etapie obliczeń wyznaczany jest poziom widoczności *VL* w każdym punkcie siatki obliczeniowej.

$$(1) \quad VL = \frac{L_t - L_b}{DL_4}$$

gdzie:  $L_t$  - luminancja przeszkody krytycznej,  $L_b$  - luminancja otoczenia przeszkody,  $DL_4$  - jest progową różnicą luminancji obiektu i tła.

Wartość  $DL_4$  wyznaczana na podstawie luminancji tła przeszkody  $L_b$ , luminancji zamglenia  $L_v$ , wielkości kątowej przeszkody  $A$ , czasu przeznaczanego na obserwację  $T$ , wieku obserwatora  $TA$  oraz polaryzacji kontrastu (kontrast dodatni lub ujemny).

Równania (2 ÷ 15) przedstawiają procedurę wyznaczania wartości  $DL_4$  [9].

Pierwszym krokiem jest wyznaczenie luminancji adaptacyjnej  $L_a$  na podstawie luminancji otoczenia przeszkody  $L_b$  oraz luminancji zamglenia  $L_v$ . Następnie obliczenie wartości parametrów wyprowadzonych z modelu matematycznego Adrina -  $F$  i  $L_s$ , a zależnych od luminancji adaptacyjnej [8].

$$(2) \quad L_a = L_b + L_v$$

$$(3) \quad F = [\log_{10}(4,2841 \cdot L_a^{0,1556}) + (0,1684 \cdot L_a^{0,5867})]^2$$

$$(4) \quad L = (0,05946 \cdot L_a^{0,466})^2$$

Kolejnym krokiem jest wyznaczenie wielkości kątowej obiektu  $A$  [w minutach kątowych] oraz kilku funkcji pośrednich oznaczonych w procedurze [9] jako  $B$ ,  $C$ ,  $AA$ ,  $AL$ ,  $AZ$ ,  $M$ , a umożliwiających wyznaczenie współczynników:  $FA$ , uwzględniającego wiek obserwatora,  $TF$  - czas obserwacji przeszkody oraz  $FCP$  - polaryzację kontrastu.

$$(5) \quad A = \arctg\left(\frac{a}{d}\right) \cdot 60$$

gdzie:  $a$  - wymiar boku przeszkody standardowej,  $d$  - odległość obserwatora od przeszkody standardowej.

$$\begin{aligned}
 (6) \quad & B = \log_{10}(A) + 0,523 \\
 (7) \quad & C = \log_{10}(L_a) + 6 \\
 (8) \quad & AA = 0,360 - \frac{0,0972B^2}{B^2 - 2,513B + 2,789} \\
 (9) \quad & AL = 0,355 - \frac{0,1217C^2}{C^2 - 10,40C + 52,28} \\
 (10) \quad & AZ = \sqrt{\frac{(AA)^2 + (AL)^2}{2,1}} \\
 (11) \quad & M = 10^{-10 \left\{ 0,125[\log_{10}(L_a) + 1]^2 + 0,0245 \right\}} \\
 (12) \quad & FA = \left[ \frac{(TA - 19)^2}{2160} \right] + 0,99 \\
 (13) \quad & TF = \left( \frac{AZ + T}{T} \right) \\
 (14) \quad & FCP = 1 - \left[ \frac{M \cdot A^{-0,6(L_a)^{-0,1488}}}{3,12 \left( \frac{\sqrt{F}}{A} + \sqrt{L} \right)^2 (AZ + 2)} \right]
 \end{aligned}$$

Ostatecznie wartość  $DL_4$  wyznaczyć można na podstawie równania:

$$(15) \quad DL_4 = 2,6 \left[ \frac{\sqrt{F}}{A} + \sqrt{L} \right]^2 \cdot FA \cdot TF \cdot FCP$$

Końcowa wartość  $STV$  wyznacza jest jako średnia ważona z wszystkich poziomów widoczności w punktach siatki obliczeniowej.

$$(16) \quad STV = -10 \log_{10} \left( \frac{\sum_{j=1}^n 10^{-0,1|VL_j|}}{n} \right)$$

gdzie:  $n$  – liczba punktów obliczeniowych.

Ze względu inne standardy i wymagania oświetleniowe przyjęte w Europie [7, 11] oraz w USA [9], bezpośrednie zastosowanie kryterium widoczności stosowanego w USA jest niemożliwe. Stosowane w USA kryterium poziomu widoczności nie umożliwia oceny poziomu widoczności zgodnie z europejskimi wymaganiami oświetleniowymi. Pozwala jednak na analizę wpływu różnych parametrów systemu oświetleniowego na poziom widoczności.

Kwestia ograniczeń zastosowanych w kryterium  $STV$  omówiona została w publikacjach [12, 13, 14].

### Ocena wpływu parametrów systemu oświetlenia drogowego na poziom widoczności

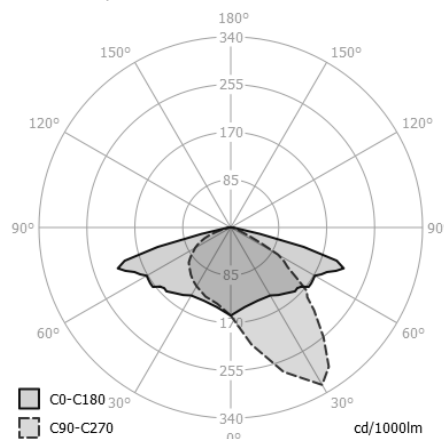
Badania, których celem było przeanalizowanie wpływu parametrów systemu oświetleniowego na poziom widoczności, wykonane zostały dla przeszkody standardowej [10], umieszczonej w oczkach siatki obliczeniowej określonej według wymagań Polskiej Normy [11]. Założono 2-sekundowy czas obserwacji przeszkody [8], ujemny kontrast przeszkody z tłem oraz wiek obserwatora wynoszący 23 lat [11].

Analizę porównawczą przeprowadzono dla odcinka drogi o szerokości 7 m, złożonego z dwóch pasów ruchu, oświetlonego prawostronnie. Dla rozpatrywanej drogi przyjęto klasę oświetlenia ME3a.

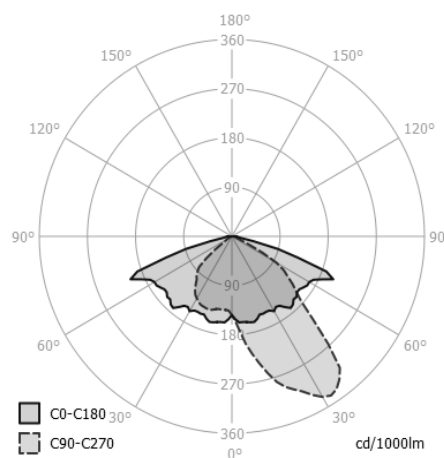
W trakcie obliczeń zmiennymi parametrami systemu oświetleniowego były:

- wysokość słupów oświetleniowych ( $h = 8 \text{ m}, 9 \text{ m}, 10 \text{ m}$ ),
- wysunięcie punktów świetlnych poza krawędź jezdni ( $w = 0 \text{ m}, 1 \text{ m}, 2 \text{ m}$ )
- odległość pomiędzy słupami oświetleniowymi ( $s = 35 \text{ m}, 39 \text{ m}$ )
- kształt bryły fotometrycznej opraw oświetleniowych (oznaczonych jako A i B).

Krzywe światłości zastosowanych opraw oświetleniowych w płaszczyznach  $C_0-C_{180}$  i  $C_{90}-C_{270}$  przedstawiono na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Krzywe światłości oprawy oświetleniowej oznaczonej jako A wyznaczone w płaszczyznach  $C_0-C_{180}$  i  $C_{90}-C_{270}$ .



Rys. 2. Krzywe światłości oprawy oświetleniowej oznaczonej jako B wyznaczone w płaszczyznach  $C_0-C_{180}$  i  $C_{90}-C_{270}$ .

Parametry fotometryczne systemu oświetleniowego obliczono w programie Dialux 4.6. Obliczenia poziomu widoczności przeprowadzono zgodnie z procedurą opisaną w ANSI/IESNA RP-8-00 [9].

Wyniki przeprowadzonych obliczeń zamieszczono w tabeli 1.

Procentowe zmiany poziomu widoczności w odniesieniu do przypadku, w którym założono odstęp pomiędzy słupami oświetleniowymi  $s = 35 \text{ m}$ , wysokość słupa  $h = 9 \text{ m}$  oraz wysunięcie punktu świetlnego  $w = 0 \text{ m}$  przedstawiono w tabeli 2.

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono rozkłady poziomu widoczności dla obserwatora nr 1 znajdującego się na prawym pasie drogi oświetlonej kolejno oprawami

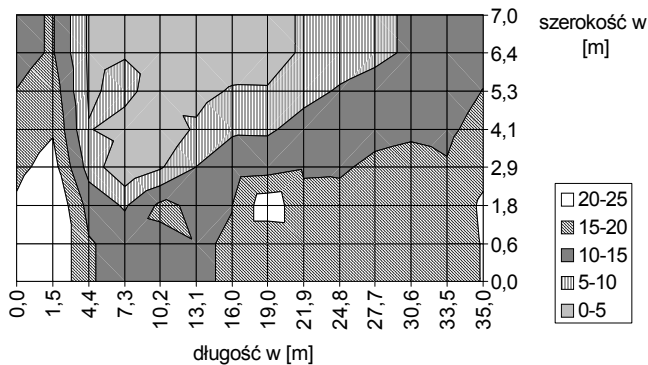
oznaczonymi jako A oraz B i zainstalowanymi w odstępach  $s = 35$  m, na wysokości  $h = 9$  m, nad krawężnikiem -  $w = 0$  m. W poziomie zaznaczono położenie punktów wzdłuż pola obliczeniowego - wzdłuż drogi, w pionie - w poprzek pola obliczeniowego.

Tabela 1. Zestawienie wyników obliczeń poziomu widoczności dla zmiennych parametrów systemu oświetleniowego

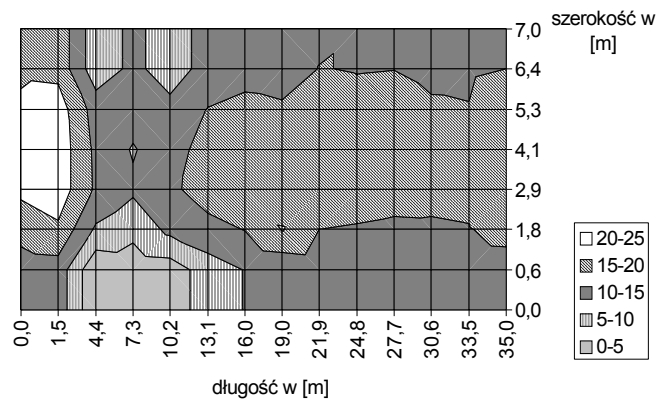
Parametr systemu oświetleniowego		Poziom widoczności wyznaczony na podstawie kryterium STV				
Stały w trakcie obliczeń	Zmienny w trakcie obliczeń	Oprawa oświetleniowa A		Oprawa oświetleniowa B		
		Obserwator		Obserwator		
		1	2	1	2	
$h = 9$ m $w = 0$ m	odległość między słupami $s$ [m]	35	6,1	6,9	7,9	8,6
		39	7,9	8,0	9,1	9,6
$s = 35$ m $w = 0$ m	wysokość słupa $h$ [m]	8	5,9	6,4	6,9	7,4
		9	6,1	6,9	7,9	8,6
		10	6,4	7,3	8,6	8,9
$s = 35$ m $h = 9$ m	wysunięcie punktu świetlnego poza krawędź jezdni $w$ [m]	0	6,1	6,9	7,9	8,6
		1	6,8	7,2	8,5	8,3
	2	6,7	7,0	8,0	8,2	

Tabela 2. Procentowe zmiany poziomu widoczności w odniesieniu do  $s = 35$  m,  $h = 9$  m,  $w = 0$  m.

Parametr systemu oświetleniowego		Poziom widoczności wyznaczony na podstawie kryterium STV w [%] wartości odniesieniowej				
Stały w trakcie obliczeń	Zmienny w trakcie obliczeń	Oprawa oświetleniowa A		Oprawa oświetleniowa B		
		Obserwator		Obserwator		
		1	2	1	2	
$h = 9$ m $w = 0$ m	odległość między słupami $s$ [m]	35	100	100	100	100
		39	130	116	115	112
$s = 35$ m $w = 0$ m	wysokość słupa $h$ [m]	8	97	93	87	86
		9	100	100	100	100
		10	105	106	109	103
$s = 35$ m $h = 9$ m	wysunięcie punktu świetlnego poza krawędź jezdni $w$ [m]	0	100	100	100	100
		1	111	104	108	97
		2	110	101	101	95



Rys.3. Rozkład poziomu widoczności w oczkach siatki obliczeniowej, przyjętej według wymagań normy [11], dla oprawy oświetleniowej oznaczonej jako A oraz  $s = 35$  m,  $h = 9$  m,  $w = 0$  m



Rys. 4. Rozkład poziomu widoczności w oczkach siatki obliczeniowej, przyjętej według wymagań normy [11], dla oprawy oświetleniowej oznaczonej jako B oraz  $s = 35$  m,  $h = 9$  m,  $w = 0$  m

### Ocena wpływu parametrów pozaoświetleniowych na poziom widoczności

W trakcie przeprowadzania analizy wpływu parametrów systemu oświetleniowego na poziom widoczności przeprowadzono dodatkowo ocenę wpływu parametrów pozaoświetleniowych takich jak: czas obserwacji, wiek obserwatora, wielkość i współczynnik odbicia obserwowanego obiektu na wartość poziomu widoczności. Obliczenia umożliwiające wykonanie późniejszej analizy przeprowadzono dla tego samego odcinka drogi o szerokości 7 m, tej samej klasy oświetlenia ME3a oraz jednego systemu oświetleniowego złożonego z oprawy oświetleniowej oznaczonej jako A oraz  $s = 35$  m,  $h = 9$  m,  $w = 0$  m.

Tabela 3. Zestawienie wyników obliczeń poziomu widoczności dla analizowanego odcinka drogi przy zmiennych parametrach pozaoświetleniowych

Parametr	Wartość parametru	Wartość poziomu widoczności VL [-]	Wartość względna poziomu widoczności VL' [%]	Wartości pozostałych parametrów
A [lata]	23	6,2	100	$t = 2,0$ s $\rho = 0,2$ $d = 0,2$ m
	30	6,0	97	
	40	5,5	89	
	50	4,8	77	
	60	4,0	65	
t [s]	0,2	4,3	69	A = 23lata $\rho = 0,2$ $d = 0,2$ m
	0,8	5,8	94	
	1,2	6,0	97	
	1,6	6,1	98	
$\rho$ [-]	0,3	5,8	94	A = 23lata $t = 2,0$ s $d = 0,2$ m
	0,4	5,4	87	
	0,5	5,2	84	
d [m]	0,18	6,0	97	A = 23lata $t = 2,0$ s $\rho = 0,2$
	0,19	5,9	95	

Analizę wpływu czasu obserwacji obiektu na poziom widoczności przeprowadzono w zakresie zmian od 0,2 s (wymaganie amerykańskie) do 2 s (założenie modelu obliczeniowego Adriana). Zmianę wieku obserwatora, współczynnika odbicia i wymiarów przeszkody krytycznej przeprowadzono w zakresach ograniczonych wymaganiami europejskimi i amerykańskimi - dla wieku 23 lata  $\div$  60 lat, współczynnika odbicia 0,2  $\div$  0,5 oraz wymiaru boku kwadratu, będącego przeszkodą krytyczną: 0,18 m  $\div$  0,2 m.

Wartości poziomu widoczności w punktach siatki obliczeniowej wyznaczono zgodnie z wymaganiami Polskiej Normy [11].

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 3.

Wartość odniesieniowa przy obliczaniu względnego poziomu widoczności ( $VL'$ ) wyznaczona została dla założeń:  $A = 23$  lata,  $t = 2,0$  s,  $\rho = 0,2$ ,  $d = 0,20$  m.

## Wnioski

Wykonane badania umożliwiły przeprowadzenie analizy porównawczej poziomu widoczności dla różnych parametrów systemu oświetleniowego. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń nie można ocenić warunków postrzegania przeszkody na drodze, gdyż nie ma kryterium oceny dla wymagań i zaleceń stosowanych w krajach europejskich. Można jedynie przeprowadzić analizę porównawczą wpływu różnych parametrów systemu oświetleniowego na poziom widoczności.

Wykonane obliczenia dla rozpatrywanego odcinka drogi wykazała największy wpływ kształtu bryły fotometrycznej opraw oświetleniowych na uzyskiwane wartości poziomu widoczności. Zastosowanie oprawy oświetleniowej oznaczonej jako  $B$  pozwoliło, w zależności od położenia obserwatora oraz zmiany wybranego parametru systemu oświetleniowego, na wzrost poziomu widoczności od 15 % do 34 %. W konsekwencji zastosowanych opraw oświetleniowych oraz jednostronnego sposobu rozmieszczenia opraw oświetleniowych względem drogi, w każdym rozpatrywanym przypadku, uzyskano wyższe poziomy widoczności dla obserwatora nr 2 znajdującego się na pasie ruchu położonego w większej odległości od linii opraw oświetleniowych.

Przeprowadzone obliczenia pozwoliły na przeanalizowanie wpływu odległości między słupami oświetleniowymi, wysokości zawieszenia opraw oświetleniowych oraz wysunięcia punktów świetlnych nad jezdnię. Zwiększenie odległości z 35 m do 39 m, przy zachowaniu wymagań normatywnych dla klasy ME3a, spowodowało wzrost poziomu widoczności dla obserwatora nr 1 o 30 % dla oprawy  $A$  i 15% dla oprawy  $B$  oraz dla obserwatora nr 2 o 16 % dla oprawy  $A$  i 12 % dla oprawy  $B$ .

W przypadku przesunięcia punktu świetlnego z krawędzi jezdni ( $w = 0$  m) o 1 m i 2 m nad jezdnię uzyskano dla oprawy oświetleniowej oznaczonej jako  $A$  zbliżony wzrost poziomu widoczności, niezależnie od położenia obserwatora, natomiast dla oprawy  $B$ , dla obserwatora nr 1, znajdującego się bliżej linii słupów oświetleniowych uzyskano wzrost poziomu widoczności, a dla drugiego obserwatora kilkuprocentowy spadek poziomu widoczności.

Mniejszy wpływ na zmianę poziomu widoczności zarówno dla oprawy  $A$  i  $B$  miała wysokość zawieszenia punktów świetlnych. Przy czym wzrost wysokości z 9 m na 10 m spowodował wzrost poziomu widoczności dla oprawy  $A$  średnio o ok. 5 %, a dla oprawy  $B$  od 3 do 9%. Obniżenie wysokości słupa do 8 m skutkowało natomiast obniżeniem poziomu widoczności od 3 do 7 % dla oprawy  $A$  i ok. 13 % dla oprawy oznaczonej jako  $B$ .

Przeprowadzona analiza dla rozpatrywanego odcinka drogi wykazała istotny wpływ parametrów pozaoświetleniowych, przyjmowanych w trakcie obliczeń, na wartość poziomu widoczności. Bardzo duży wpływ na poziom widoczności wykazały parametry związane bezpośrednio z wydolnością wzrokową obserwatora. Wzrost wieku obserwatora z 23 lat do 60 lat spowodował spadek poziomu widoczności o ok. 35 % natomiast ograniczenie czasu obserwacji do 0,2 sekundy wywołało spadek poziomu widoczności o ok. 31%. Zmiana

pozostałych analizowanych parametrów pozaoświetleniowych w mniejszym stopniu wpływała na wyznaczany poziom widoczności.

## Podsumowanie

Zauważenie obiektów znajdujących się na drodze oraz w jej bezpośrednim otoczeniu jest podstawowym zadaniem wzrokowym kierowcy. Zaprojektowanie oświetlenia drogowego, w którym uzyskamy wysoki poziom widoczności przeszkód pozwoli na zwiększenie komfortu i bezpieczeństwa w ruchu drogowym. Wykorzystanie kryterium widoczności w projektowaniu oświetlenia drogowego będzie dopiero możliwe po stworzeniu procedury wyznaczania poziomu widoczności dla wymagań oświetleniowych stosowanych w krajach europejskich. Wprowadzeniu oraz ustaleniu wymaganego poziomu widoczności dla odpowiednich klasy oświetlenia.

*Praca finansowana ze środków MNiSW przeznaczonych na naukę w ramach projektu badawczego własnego nr N N510 666140.*

## LITERATURA

- [1] Golik W. Widoczność przeszkód na drogach ważnych dla ruchu samochodowego przy stacjonarnym oświetleniu. Politechnika Poznańska, Rozprawa Nr 355, Poznań 2000.
- [2] Menard J., Cariou J., "Road Lighting: Assessment of an Installation Based on the Contrast of a Standard Target", Lighting Res. Technology, 26 (1), 1994.
- [3] Narisada K., Saito T., Karaswa Y.: Perception and Road Lighting Design. Lighting in Developing Countries. Durban (South Africa) September 1997.
- [4] Domke K, Wandachowicz K, Zalesińska M., Mroczkowska S., Skrzypczak P.: Digital billboards and road safety. In: Lighting in Engineering, Architecture and the Environment, ed. Domke K., Brebbia C.A., WIT PRESS 2011, Southampton, Boston, ISBN: 978-1-84564-550-2, pp. 119-131.
- [5] Wandachowicz K, Zalesińska M., Domke K., Mroczkowska S., Skrzypczak P.: Wpływ wielkopowierzchniowych reklam na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Wiadomości elektrotechniczne nr 01/2011, ISSN 0043-5112, s.32-35.
- [6] CIE Publication No. 115:1995: Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic.
- [7] CIE Publication No. 115:2010: Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic.
- [8] Adrian, W., Visibility of targets: model for calculation. Lighting Research and Technology 21/4, pp.181-188, 1989.
- [9] Roadway lighting. ANSI/IESNA RP-8-00: American National Standard Practice for Broadway Lighting, Approval 2000.
- [10] CIE Publication No. 19 - 1979: A Unified Framework of Methods for Evaluating Visual Performance Aspects of Lighting
- [11] PN-EN 13201:2007- Oświetlenie dróg.
- [12] Zalesińska M., Visibility concept in road lighting. In: Lighting in Engineering, Architecture and the Environment, ed. Domke K., Brebbia C.A., WIT PRESS 2011, Southampton, Boston, ISBN: 978-1-84564-550-2, pp. 159 – 170.
- [13] Zalesińska M.: Model poziomu widoczności na stacjonarnie oświetlanej drodze. Przegląd Elektrotechniczny R.88 Nr 3a/2012 s. 85 – 87, ISSN 003-2097.
- [14] Zalesińska M., Theoretical model of the visibility level and practical means of its implementation, Design & Nature and Ecodynamics. Vol. 7, No. 4 (2012) pp. 28–40, ISSN: 1755-7437

**Autor:** dr inż. Małgorzata Zalesińska, Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, Zakład Techniki Świetlnej i Elektrotermii ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: [Malgorzata.Zalesinska@put.poznan.pl](mailto:Malgorzata.Zalesinska@put.poznan.pl)