

Małgorzata ZALESIŃSKA*

WPLYW PARAMETRÓW POZAOŚWIETLENIOWYCH NA POZIOM WIDOCZNOŚCI W OŚWIETLENIU DROGOWYM

Widoczność przeszkód na oświetlanej drodze zależy od takich czynników jak: luminancja obiektu, luminancja tła, wielkość obiektu, czas obserwacji, wiek obserwatora, ograniczenie oślnienia, poziom adaptacji obserwatora. Pod koniec lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku został stworzony przez Adriana matematyczny opis poziomu widoczności w oświetleniu drogowym. Obecnie formuła Adriana stanowi podstawę kryterium widoczności stosowanego w USA przy projektowaniu oświetlenia drogowego. W Europie kryterium widoczności nie jest stosowane w praktyce projektowej. Nie ma systemu oceny poziomu widoczności. Stosowana w USA procedura obliczeniowa nie umożliwia oceny poziomu widoczności, ale pozwala na analizę wpływu różnych parametrów na poziom widoczności. W artykule przeprowadzono analizę wpływu parametrów pozaświetleniowych na poziom widoczności z zastosowaniem metody obliczeniowej stosowanej w USA.

1. WIDOCZNOŚĆ PRZESZKÓD NA STACJONARNIE OŚWIETLANEJ DRODZE

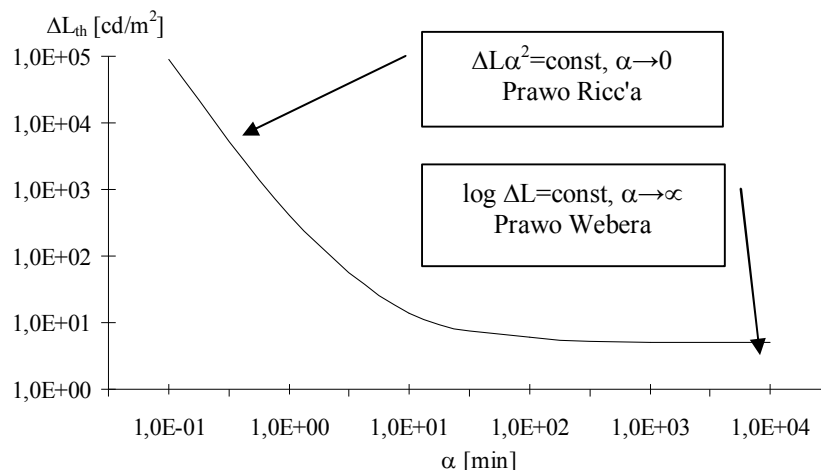
1.1. Model obliczeniowy Adriana

Model obliczeniowy poziomu widoczności Adriana [1] wykorzystuje badania laboratoryjne prowadzone przez Blackwella [3] oraz Aulhorna [2] oraz Berek'a [4]. Obliczenie progowej różnicy luminancji obiektu i tła bazowało na dwóch prawach: Ricca i Webera (rys 1). Do obliczeń ΔL_{th} wprowadzono dwie funkcje pomocnicze: Φ - funkcję strumienia świetlnego odpowiedzialnego za percepcję, związaną z prawem Ricca oraz L - funkcję luminancji wynikającą z prawa Webera.

$$\Delta L_{th} = 2.6 \left(\frac{\Phi^{1/2}}{\alpha} + L^{1/2} \right) \quad (1)$$

gdzie: α - wielkość kątowa obiektu na drodze.

* Politechnika Poznańska.



Rys. 1. Zależność wartości progowej różnicy luminancji obiektu i tła od wielkości kątowej obiektu dla luminancji otoczenia 1000 cd/m^2 [1]

Ponadto w zaproponowanym przez Adriana opisie matematycznym progowej wartości różnicy luminancji obiektu i jego tła uwzględnione zostały dodatkowe czynniki mające bezpośredni wpływ na poziom widoczności: wiek obserwatora, poprzez przyjęcie współczynnika AF, czas obserwacji przeszkody – współczynnik TF oraz polaryzacja kontrastu – współczynnik F_{CP} .

$$\Delta L_{th} = 2.6 \left(\frac{\Phi^{1/2}}{\alpha} + L^{1/2} \right) \cdot AF \cdot TF \cdot F_{CP} \quad (2)$$

Dla luminancji otoczenia $L_b \geq 0,6 \text{ cd/m}^2$ funkcje strumienia świetlnego Φ i luminancji L opisują zależności 3 i 4:

$$\Phi^{1/2} = \log(4,1925L_b^{0,1556}) + 0,1684L_b^{0,5867} \quad (3)$$

$$L^{1/2} = 0,05946L_b^{0,466} \quad (4)$$

Współczynniki AF, TF, F_{CP} opisują zależności 5 ÷ 7:

$$AF = \frac{(\text{wiek} - 19)^2}{2160} + 0,99 \quad (5)$$

$$TF = \Delta L_{t=2s} \frac{a(\alpha, L_b) + t}{t} \quad (6)$$

gdzie: a - współczynnik zależny od wielkości kątowej obiektu α i luminancji otoczenia L_b ,

$\Delta L_{t=2s}$ - różnica luminancji obiektu i tła dla czasu obserwacji wynoszącego $2s$.

$$F_{CP} = 1 - \frac{m \cdot \alpha^{-\beta}}{2,4 \cdot \Delta L_{pos, t=2s}} \quad (7)$$

gdzie: m, β – współczynniki zależne od luminancji otoczenia, $\Delta L_{\text{pos, } t=2s}$ – różnica luminancji obiektu i tła dla dodatniej polaryzacji kontrastu oraz czasu obserwacji wynoszącego 2 s.

Wpływ olśnienia przeszkadzającego, pochodzącego od drogowej instalacji oświetleniowej, uwzględniany jest w postaci luminancji zamglenia L_v , dodawanej do luminancji otoczenia. Luminancja zamglenia wyznaczana jest na podstawie klasycznego wzoru Stiles – Holladay [9]:

$$L_v = k_v \sum_{i=1}^n \frac{E_{\text{glare}_i}}{\Theta_i^2} \quad (8)$$

gdzie: k_v – współczynnik zależny od wieku obserwatora, E_{glare_i} – natężenie oświetlenia wytworzone przez i -tą oprawę oświetleniową na płaszczyźnie prostopadłej do linii wzroku i na wysokości oczu obserwatora, Θ_i – kąt między linią patrzenia, a linią przechodzącą przez środek świetlny i – tej oprawy oświetleniowej, $1,5^\circ \leq \Theta \leq 30^\circ$.

Wyznaczona, na podstawie powyższych zależności, progowa wartość różnicy luminancji obiektu i tła wraz z aktualną różnicą luminancji obiektu i jego tła są elementami składowymi poziomu widoczności VL zdefiniowanej przez CIE [5]:

$$VL = \frac{C}{C_{\text{th}}} = \frac{\Delta L}{\Delta L_{\text{th}}} \quad (9)$$

gdzie: ΔL – różnica luminancji obiektu i jego tła.

1.2. Kryterium widoczności stosowane w USA

Obecnie formuła Adriana stanowi podstawę kryterium widoczności - Small Target Visibility (STV) stosowanego w USA. Obok kryteriów natężenia oświetlenia i luminancji, STV jest trzecim kryterium stosowanym przy projektowaniu oświetlenia drogowego w USA. Stworzona dla praktyki projektowej procedura obliczeniowa pozwala metodą „krok po kroku” wyznaczyć wartość poziomu widoczności. W celu wyznaczenia poziomu widoczności na oświetlanej drodze niezbędne jest określenie parametrów oświetleniowych takich jak luminancji obiektu, luminancji otoczenia obiektu oraz luminancji zamglenia oraz parametrów pozaświetleniowych takich jak: wiek obserwatora, czas obserwacji, wielkość obserwowanego obiektu. Według założeń kryterium STV stosowanego w USA luminancja obiektu L_t obliczana jest na środku geometrycznym przeszkody krytycznej o powierzchni rozpraszającej, współczynniku odbicia $\rho = 0,5$ i wymiarach 18 cm x 18 cm. Luminancja otoczenia obiektu L_b wyznaczana jest jako średnia arytmetyczna luminancji dwóch ściśle określonych punktów. W trakcie przeprowadzanych obliczeń kryterium STV zakłada się 0,2 sekundowy czas przeznaczony na obserwację przeszkody krytycznej oraz stałą wielkość kątową przeszkody ($\alpha = 7,45$ minut). Wraz ze

zmianą położenia przeszkody w siatce obliczeniowej zmienia się także położenie obserwatora przy zachowaniu stałego układu geometrycznego obserwator – obiekt [10].

Dalsze postępowanie, zgodnie z procedurą [10], prowadzi do wyznaczenia poziomu widoczności w każdym punkcie siatki obliczeniowej. Końcowa wartość STV wyznacza jest jako średnia ważona z wszystkich wartości VL.

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

gdzie: n – liczba punktów obliczeniowych.

1.3. Ocena możliwości zastosowania kryterium widoczności STV do projektowania oświetlenia drogowego według norm i zaleceń stosowanych w Europie

W krajach europejskich kryterium widoczności nie jest stosowane w projektowaniu oświetlenia drogowego. Przede wszystkim nie ma obecnie systemu oceny poziomu widoczności oraz wymaganych wartości poziomu widoczności. Zalecane wartości poziomu widoczności ustalone przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową CIE i zamieszczone w publikacji CIE nr 115 z 1995 roku [6] zostały w kolejnym wydaniu tej publikacji [7] wycofane. Bezpośrednie zaadoptowanie kryterium Small Target Visibility do projektowania oświetlenia drogowego w krajach europejskich jest niemożliwe, gdyż w Europie i w USA stosuje się różne parametry przeszkody krytycznej [5, 10] oraz różne zalecenia i wymagania oświetleniowe [8, 10, 11]. Dyskusję dotyczącą różnic w amerykańskich i europejskich wymaganiach i zaleceniach stosowanych przy projektowaniu oświetlenia przeprowadzono w [12].

Ze względu na przejrzystą procedurę obliczeniową zastosowaną w kryterium STV możliwe jest jednak jej wykorzystanie do oceny porównawczej wpływu różnych parametrów oświetleniowych i pozaoświetleniowych na obliczaną wartość poziomu widoczności.

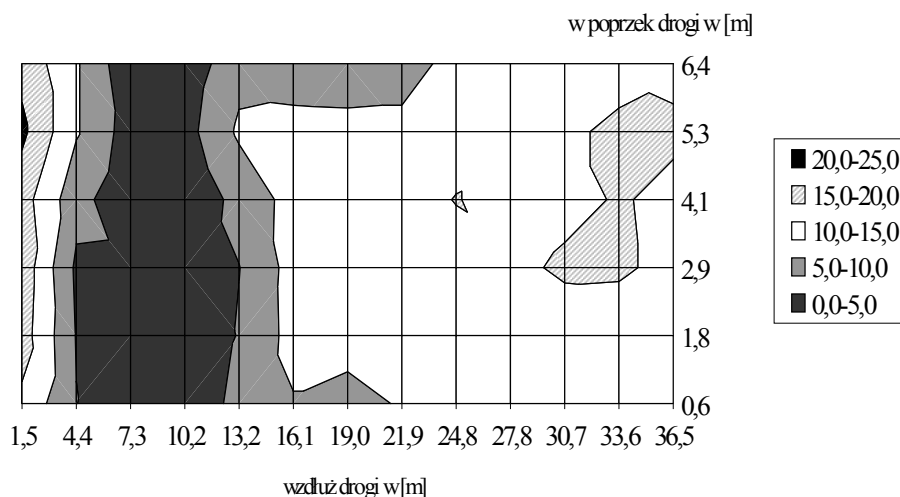
2. ANALIZA WPŁYWU PARAMETRÓW POZAOŚWIETLENIOWYCH NA POZIOM WIDOCZNOŚCI

W celu oceny wpływu parametrów pozaoświetleniowych takich jak: czas obserwacji, wiek obserwatora, wielkość i współczynnik odbicia obserwowanego obiektu na wartość poziomu widoczności przeprowadzono obliczenia dla wybranego odcinka drogi o dwóch pasach ruchu i szerokości całkowitej 7 m. Dla

rozpatrywanego odcinka drogi założono klasę oświetlenia ME3a oraz oświetlenie jednostronne. Drogę oświetlano każdorazowo tymi samymi oprawami oświetleniowymi. Wyznaczono, optymalne pod względem spełnienia wymagań oświetleniowych, parametry geometryczne systemu oświetleniowego. Odległość pomiędzy kolejnymi słupami oświetleniowymi wyniosła 38 m, wysokość słupa 9 m, kąt nachylenia oprawy oświetleniowej względem powierzchni drogi – 0° oraz odległość rzutu prostokątnego środka świetlnego oprawy na jezdnię – 0,5 m, licząc od krawędzi drogi. 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, wartości współczynnika odbicia oraz wielkości przeszkody przeprowadzono w zakresach ograniczonych wymaganiami europejskimi i amerykańskimi - dla wieku 23 lata ÷ 60 lat, współczynnika odbicia 0,2 ÷ 0,5 oraz wymiaru boku kwadratu, będącego przeszkodą krytyczną: 0,18 m ÷ 0,2 m.

Wartości poziomu widoczności w punktach siatki obliczeniowej wyznaczono zgodnie z wymaganiami Polskiej Normy [11]. Parametry fotometryczne oraz geometryczne systemu oświetleniowego wyznaczone zostały w programie Dialux 4.6. Obliczenia poziomu widoczności przeprowadzono zgodnie z procedurą opisaną w ANSI/IESNA RP-8-00 [10].

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 1. Rozkład wartości poziomu luminancji w oczkach siatki obliczeniowej dla wymagań europejskich przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Rozkład poziomu widoczności na rozpatrywanym odcinku drogi

Tabela 1. Zestawienie wyników obliczeń poziomu widoczności dla analizowanego odcinka drogi przy zmiennych parametrach pozaświetleniowych

Opis parametru	Wartość parametru	Wartość poziomu widoczności	Wartość względna poziomu widoczności VL' [-] ^{*)}	Wartości pozostałych parametrów
Wiek obserwatora W [lata]	30	7,2	0,96	t = 2,0 s ρ = 0,2 d = 0,2 m
	40	6,6	0,88	
	50	5,7	0,76	
	60	4,7	0,63	
Czas obserwacji t [s]	0,2	5,0	0,67	W = 23 lata ρ = 0,2 d = 0,2 m
	0,5	6,4	0,85	
	0,8	6,9	0,92	
	1,1	7,2	0,15	
	1,4	7,3	0,97	
	1,7	7,4	0,99	
Współczynnik odbicia ρ [-]	0,3	6,9	0,92	W = 23 lata t = 2,0 s d = 0,2 m
	0,4	6,7	0,89	
	0,5	6,5	0,87	
wymiar boku przeszkody d [m]	0,18	6,7	0,89	W = 23 lata t = 2,0 s ρ = 0,2
	0,19	7,1	0,95	

*) – Dla rozpatrywanego odcinka drogi poziom widoczności wyznaczony z uwzględnieniem zaleceń stosowanych w krajach europejskich (W = 23 lata, t = 2,0 s, ρ = 0,2, d = 0,20 m) wyniósł 7,5. Wartość to uznana została za odniesieniową w obliczeniu względnego poziomu widoczności VL'.

3. WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza dla rozpatrywanego odcinka drogi wykazała istotny wpływ parametrów pozaświetleniowych, 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. 37 % natomiast ograniczenie czasu obserwacji do 0,2 sekundy

wywołało spadek poziomu widoczności o 33%. Ustalono, że zmiana pozostałych analizowanych parametrów w mniejszym stopniu miała wpływ na wyznaczany poziom widoczności. Należy jednak podkreślić, że wykonane obliczenia umożliwiły jedynie przeprowadzenie analizy porównawczej poziomu widoczności obliczanego w tych samych warunkach oświetleniowych na drodze, dla różnych parametrów pozaświetleniowych. Na podstawie przeprowadzonych wyników nie można ocenić warunków postrzegania przeszkody na drodze, gdyż nie ma kryterium oceny dla wymagań i zaleceń stosowanych w krajach europejskich. Opracowanie systemu oceny oraz określenie wartości poziomu widoczności dla wymagań oświetleniowych stosowanych w Europie jest przedmiotem wielu prac badawczych. Wyniki prowadzonych badań pozwolą z pewnością na sformułowanie dodatkowego kryterium oświetleniowego, a tym samym wpłyną bezpośrednio na komfort prowadzenia pojazdu i bezpieczeństwo w ruchu drogowym.

Praca w latach 2011-2013 finansowana ze środków MNiSW przeznaczonych na naukę w ramach projektu badawczego własnego nr N N510 666140.

LITERATURA

- [1] Adrian, W., Visibility of targets: model for calculation. *Lighting Research and Technology* 21/4, pp.181-188, 1989.
- [2] Aulthorn E., Über die Beziehung zwischen Lichtsinn und Sehschärte. *Graefes Archiv für Ophthalmologie* vol. 167, pp. 4 -75, 1964.
- [3] Blackwell H. R., Contrast Thresholds of the Human Eye. *Journal of The Optical Society of America* vol. 36, pp. 624-643, 1946.
- [4] Berek M., *Zeitschrift. Instrumentenkunde* 63 297 (1943).
- [5] CIE Publication No. 19:1979: A Unified Framework of Methods for Evaluating Visual Performance Aspects of Lighting.
- [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] CIE Publication No. 140:2000: Road Lighting calculations
- [9] CIE Publication No. 146:2002: CIE equations for disability glare.
- [10] Roadway lighting. ANSI/IESNA RP-8-00: American National Standard Practice for Roadway Lighting, Approval 2000.
- [11] PN-EN 13201:2007- Oświetlenie dróg.
- [12] Zalesinska 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.

THE INFLUENCE OUT OF LIGHTING PARAMETERS ON VISIBILITY LEVEL IN ROAD LIGHTING

Visibility of an target depends on observer age and visual characteristics, observer duration, size of target, luminance of the target, luminance of the background, contrast polarity, exposure time, magnitude of the disability glare, adaptation. Visibility formula was described by Adrian in 1989 and applied with visibility levels in North America as quality criterion. In Europe countries this criterion is still investigated as a new concept. There isn't system of assessment of visibility level. Applied in USA computational procedure doesn't make possible the assessment of visibility level, but it enable analysis of influence of different parameters on level of visibility. In article was conducted the analysis of influence out of lighting parameters on visibility level with use of computational method applied in USA.