

Małgorzata GÓRCZEWSKA*
Sandra MROCZKOWSKA*
Przemysław SKRZYPCZAK*

BADANIE WPLYWU BARWY ŚWIATŁA W OŚWIETLENIU DROGOWYM NA ROZPOZNAWALNOŚĆ PRZESZKÓD

W artykule przedstawiono opis stanowiska laboratoryjnego oraz wyniki badań wpływu barwy światła na rozpoznawalność odniesieniowej przeszkody na drodze, obserwowanej w zmiennych warunkach adaptacyjnych. Badania wykonano przy oświetleniu laboratoryjnego testu wysokoprężnymi lampami sodowymi oraz lampami LED. Ocena widoczności obiektu dotyczyła skrajnych wartości przedziałów luminancji, występujących w oświetleniu drogowym. Analiza uzyskanych wyników stanowi podstawę do dalszych badań, także terenowych. Ich efektem powinno być ustalenie, możliwych do wykorzystania w praktyce projektowej, zasad doboru parametrów oświetlenia dróg, uwzględniających barwę światła.

1. WPROWADZENIE

Cele polityki energetycznej UE w ostatnich latach skupiają się na ograniczeniu zużycia energii elektrycznej. W roku 2005 [1] przyjęte zostały założenia ograniczające produkcję energochłonnych źródeł światła. Szacuje się, że w Polsce 19% całkowitego zużycia energii elektrycznej przeznaczone jest na oświetlenie, z czego znaczącą część stanowi oświetlenie zewnętrzne, w tym drogowe. W procesie projektowania coraz większą wagę przywiązuje się do zmniejszania energochłonności instalacji przy zachowaniu parametrów określonych w normach.

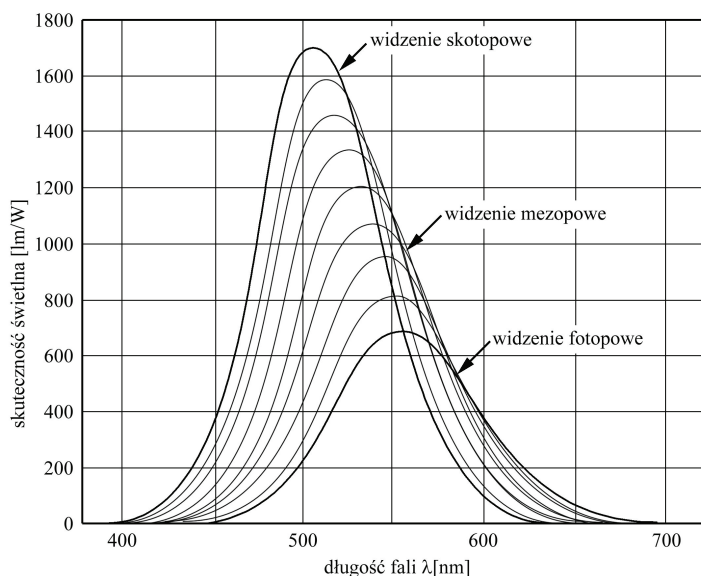
W oświetleniu drogowym stosuje się głównie wysokoprężne lampy sodowe. Lampy te charakteryzują się wysoką trwałością i skutecznością świetlną, lecz niskim wskaźnikiem oddawania barw. Skutkiem tego jest ograniczenie rozróżniania barw. Coraz bardziej rozpowszechnionym źródłem światła w oświetleniu zewnętrznym stają się diody elektroluminescencyjne, które łączą wszystkie pożądane cechy eksploatacyjne lamp oświetlenia drogowego z dobrym oddawaniem barw. Ponadto, efektywne uzyskiwanie białego światła o wyższej temperaturze barwowej, niż w przypadku lamp sodowych, wskazuje na prawdopodobieństwo lepszego dostosowania tego rodzaju oświetlenia do

* Politechnika Poznańska.

warunków widzenia przy stosunkowo niskiej luminancji adaptacyjnej, występującej w oświetleniu drogowym.

Obecnie w Polsce realizowane są pierwsze projekty oświetlenia dróg przy użyciu opraw z lampami LED. Dla tych źródeł strumień świetlny, wykorzystywany w obliczeniach parametrów fotometrycznych, odpowiada adaptacji wzroku do warunków widzenia dziennego – fotonowego. Istnieją przesłanki aby sądzić, że w przypadku lamp LED, rzeczywisty efekt oświetleniowy, oceniany przez kierowców, będzie odpowiadał wyższym parametrom niż obliczony [3, 4]. Związane jest to ze zmianą czułości widmowej oka, zaadaptowanego do niskich poziomów oświetlenia.

W oświetleniu drogowym stosowane normatywne poziomy luminancji zawierają się w przedziale od ok. $0,1 \text{ cd/m}^2$ do 3 cd/m^2 , co odpowiada warunkom widzenia mezopowego. W takich warunkach maksimum czułości widmowej oczu obserwatorów jest przesunięte w kierunku krótszych długości fali w porównaniu do widzenia fotonowego. Ponadto, bezwzględna czułość widmowa wzroku ulega także zwiększeniu, co przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Krzywe widmowej skuteczności świetlnej promieniowania dla widzenia fotonowego, mezopowego i ekotopowego

Zastosowanie w oświetleniu zewnętrznym źródeł światła z dużym udziałem promieniowania z zakresu krótkofalowego, powoduje zwiększenie bodźca działającego na oko ludzkie [3, 4, 5, 8]. Ten właśnie przypadek występuje w oświetleniu diodami elektroluminescencyjnymi.

2. ROZPOZNAWALNOŚĆ PRZESZKÓD NA STACJONARNIE OŚWIETLONEJ DRODZE

Aby dowolny obiekt dla obserwatora był widoczny, przy określonych warunkach oświetleniowych, kontrast luminancji pomiędzy obiektem a tłem musi być równy bądź większy od kontrastu progowego luminancji.

W nocy jednym z podstawowych zadań kierowcy jest obserwacja drogi przed pojazdem na odcinku od 60 do 160 m [2, 6, 7] i reagowanie na pojawiające się przeszkody. Na drogach o stosunkowo niskich poziomach luminancji (natężenia oświetlenia) barwy stają się słabo rozróżnialne. Przeszkodę przyjętą jako odniesieniową [7], której zauważenie jest istotne dla bezpieczeństwa jazdy, stanowi szary obiekt o wymiarach 0,2x0,2m oraz współczynniku odbicia 0,2. Obiekt ten powinien być dla kierowcy widoczny jako ciemny na jaśniejszym tle drogi o określonej wartości luminancji.

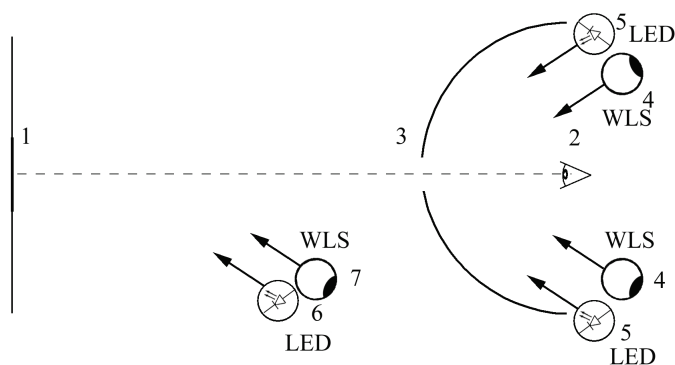
Kontrast progowy luminancji maleje gdy luminancja tła rośnie. Zwiększa to prawdopodobieństwo dostrzeżenia przeszkody na drodze. Można przypuszczać, że zastosowanie diodowych źródeł światła, przy niskich poziomach luminancji adaptacji, wpłynie na poprawę warunków widzenia w porównaniu z warunkami występującymi przy oświetleniu lampami sodowymi. Opisane badania przeprowadzono w celu potwierdzenia tego wpływu i jego ilościowej oceny.

3. STANOWISKO POMIAROWE

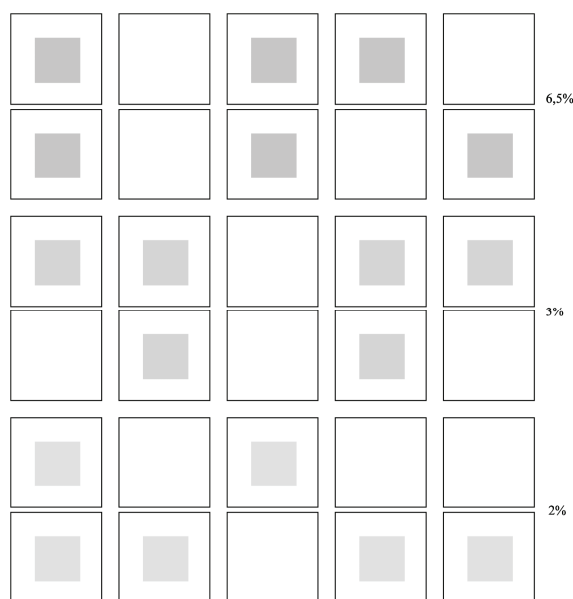
Stanowisko pomiarowe, przedstawione na rysunku 2, składało się z tablicy testowej oraz ekranu adaptacyjnego, oświetlanych przemiennie lampami diodowymi i lampami sodowymi. Obserwator, znajdujący się przed ekranem adaptacyjnym, oddalony był o 4,8 m od tablicy testowej, na której zaznaczono 30 pól, w których losowo rozmieszczono kwadratowe objekty obserwacji, charakteryzujące się różnym kontrastem luminancji. Zadaniem obserwatorów było określenie czy we wskazanym polu identyfikują obiekt. Wielkości obiektów odpowiadały wielkości kątowej standardowej przeszkody identyfikowanej na drodze. Wartości kontrastu luminancji pomiędzy obiektem i tłem wynosiły odpowiednio: 6,5%, 3% oraz 2%. Doboru wartości kontrastów, istotnych z uwagi na możliwość ich detekcji w zmiennych warunkach oświetleniowych, dokonano w oparciu o przeprowadzone wstępne badania.

Na rysunku 3 przedstawiono tablicę testową. Badania przeprowadzono dla czterech wariantów oświetlenia:

- $L_{ad} = 0,0 \text{ cd/m}^2$ na ekranie adaptacyjnym i $L_{ob} = 0,3 \text{ cd/m}^2$ na tablicy testowej,
- $L_{ad} = 0,3 \text{ cd/m}^2$ na ekranie adaptacyjnym i $L_{ob} = 0,3 \text{ cd/m}^2$ na tablicy testowej,
- $L_{ad} = 0,0 \text{ cd/m}^2$ na ekranie adaptacyjnym i $L_{ob} = 2,0 \text{ cd/m}^2$ na tablicy testowej,
- $L_{ad} = 2,0 \text{ cd/m}^2$ na ekranie adaptacyjnym i $L_{ob} = 2,0 \text{ cd/m}^2$ na tablicy testowej.



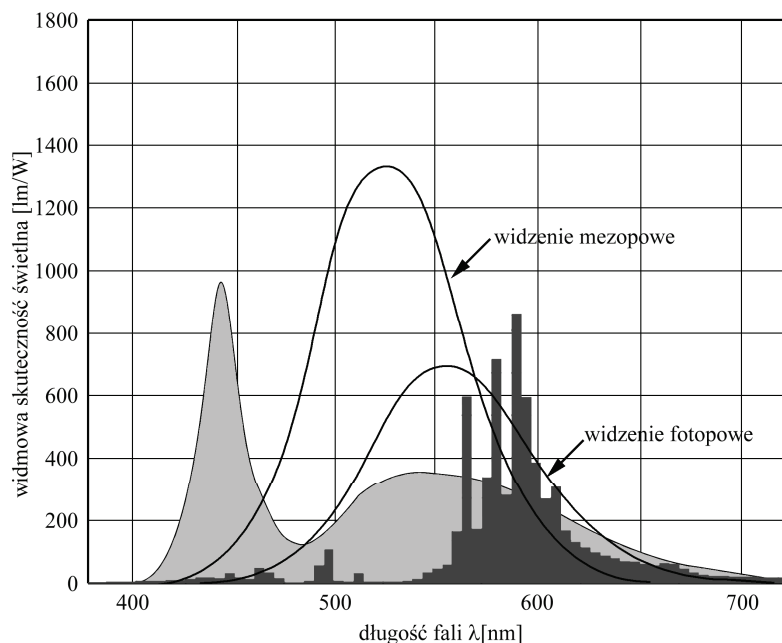
Rys. 2. Stanowisko pomiarowe 1. tablica testowa, 2. obserwator, 3. ekran adaptacyjny, 4. oświetlenie ekranu adaptacyjnego lampą sodową, 5. oświetlenie ekranu adaptacyjnego lampą diodową, 6. oświetlenie tablicy testowej lampą diodową, 7. oświetlenie tablicy testowej lampą sodową



Rys. 3. Tablica testowa z obiektami obserwacji o kontraście luminancji wynoszącym odpowiednio 2%, 3%, 6,5%

Dla każdego z wariantów ocen przeprowadzono badania dla oświetlenia diodowego oraz dla oświetlenia lampą sodową. Wartości luminancji, przyjęte do oceny warunków widzenia, odpowiadają luminancjom dróg dla klas oświetleniowych ME1 oraz ME6. Badania przeprowadzono dla lampy diodowej o temperaturze barwowej 6500 K oraz wysokoprężnej lampy sodowej SON-T 70W

o temperaturze barwowej 2200 K. Na rysunku 4 przedstawiono rozkłady widmowe źródeł światła użytych do badań, na tle krzywej czułości widmowej oka dla widzenia mezopowego i fotopowego.



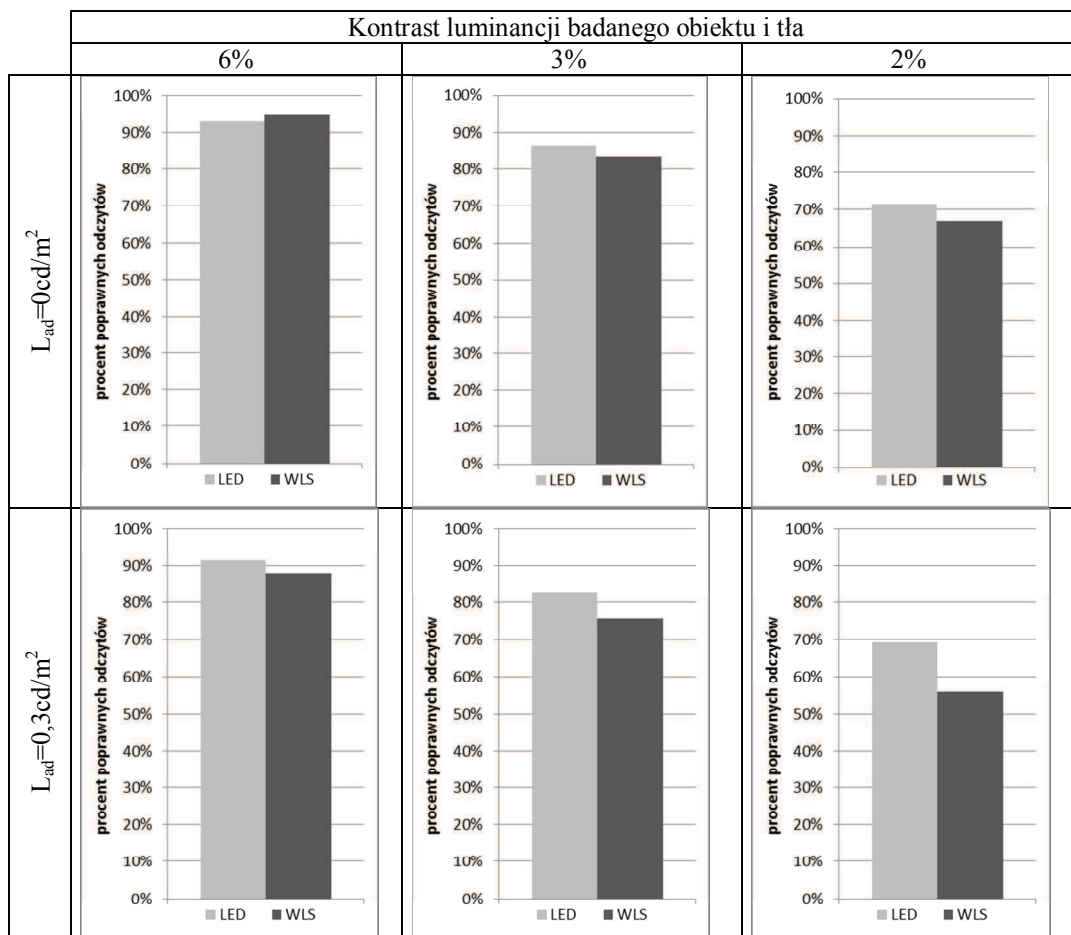
Rys. 4. Widmo promieniowania wykorzystywanej lampy diodowej i sodowej

4. WYNIKI BADAŃ

Badaniom poddano 14 obserwatorów. Uśrednione wyniki ocen rozpoznawalności obiektów testowych zamieszczono w tabelach 1 i 2.

Na podstawie wyników badań, graficznie przedstawionych na rysunku 5, można stwierdzić, że dla niskiego poziomu luminancji tablicy testowej, równej $0,3 \text{ cd/m}^2$, przy oświetleniu diodowym występuje lepsza identyfikacja przeszkód o niskim kontraście z tłem – a więc potencjalnie trudniejszych do zauważenia w ruchu drogowym. Szczególnie istotna poprawa rozpoznawalności przeszkód w oświetleniu diodowym w porównaniu z sodowym, występuje dla sytuacji, gdy luminancja otoczenia jest wysoka – tj. porównywalna z luminancją testu. Dla przeszkód o wysokim kontraście, a więc łatwiejszych w identyfikacji, barwa światła nie miała tak istotnego znaczenia.

Podobny w tendencji, choć wyraźnie mniejszy, wpływ oświetlenia diodowego na warunki identyfikacji obiektów, uzyskano w badaniach dla luminancji testu 2 cd/m^2 i luminancji adaptacji na poziomie 0 cd/m^2 i 2 cd/m^2 .



Rys 5. Rozpoznawalność obiektów dla luminancji tablicy testowej $0,3 \text{ cd/m}^2$ w otoczeniu ciemnym oraz przy luminancji adaptacyjnej $0,3 \text{ cd/m}^2$

Tabela 1. Uśrednione wyniki badań rozpoznawalności przeszkód w warunkach oświetlenia lampą LED 6500K

Luminancja ekranu adaptacyjnego [cd/m^2]	Luminancja tablicy testowej [cd/m^2]	Kontrast luminancji obiektu i tła		
		6,5%	3%	2%
0	0,3	93%	86%	71%
0	2	100%	99%	97%
0,3	0,3	91%	83%	69%
2	2	100%	98%	97%

Tabela 2. Uśrednione wyniki badań rozpoznawalności przeszkód w warunkach oświetlenia wysokoprężną lampą sodową 2200K

Luminancja ekranu adaptacyjnego [cd/m ²]	Luminancja tablicy testowej [cd/m ²]	Kontrast luminancji obiektu i tła		
		6,5%	3%	2%
0	0,3	95%	84%	67%
0	2	98%	96%	91%
0,3	0,3	88%	76%	56%
2	2	100%	98%	93%

5. WNIOSKI

Przedstawione wyniki badań wskazują na zasadność prowadzenia dalszych badań nad warunkami widzenia na drogach oświetlonych lampami LED. Jest to szczególnie istotne dla dróg o niskich wymaganiach oświetleniowych, a takich jest większość. W warunkach adaptacji wzroku do niskich poziomów luminancji, bez względu na oświetlenie otoczenia, oprawy z diodami elektroluminescencyjnymi zapewniają lepsze warunki widzenia, lepszą identyfikację przeszkód, a więc wyższy poziom bezpieczeństwa. Są zatem bardziej efektywne niż oprawy z lampami sodowymi, dotychczas uważanymi za najkorzystniejsze rozwiązanie. Należy jednak podkreślić, że wykorzystanie w praktyce projektowej cech lamp LED możliwe będzie po opracowaniu zasad doboru wymagań oświetleniowych, sprowadzających się do zastąpienia poziomu luminancji fotonowej (natężenia oświetlenia), wyliczanej dla obserwatora zaadaptowanego do warunków widzenia dziennego, poziomem luminancji mezopowej, której wartość będzie zmienna i zależna od rozkładu widma promieniowania zastosowanego źródła światła oraz od poziomu i rozkładu luminancji w polu widzenia.

Dane literaturowe [9] wskazują, że w badaniach należy uwzględnić również wiek obserwatorów.

LITERATURA

- [1] DYREKTYWA 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 6 lipca 2005 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów wykorzystujących energię.
- [2] CIE 031-1976, Glare and uniformity in road lighting installation, ISBN 978-3-901906-67-1.
- [3] CIE 115- 1995, Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic, ISBN 3 900 734 59 3.

- [4] CIE 115:2010 Lighting of roads for motor and pedestrian traffic, ISBN 978 3 901906 86 2.
- [5] CIE 191:2010 Recommended system for mesopic photometry based on visual performance, ISBN 978 3 901906 88 6.
- [6] PN-EN 13 201 – 2007: Oświetlenie dróg.
- [7] Bommel W.J.M., DeBoer J.B., Oświetlenie dróg, WKŁ, Warszawa 1984, ISBN 83-206-0452-4.
- [8] Górczewska M., Mroczkowska S., Valuation of road lighting parameters for luminaires with LED, *Przegląd Elektrotechniczny* Nr 10/2010, ISSN 0033-2097.
- [9] Sagawa K. Vision of the elderly and visual impaired - for accessible design In light and lighting, *CIE Proceedings*, Pekin (2007), D1 62-65.

LIGHT COLOR INFLUENCE ON OBSTACLE RECOGNITION IN ROAD LIGHTING

Influence of light sources in various contrast obstacle recognition is presented in the article. Station of measurement was built and the survey on observers were conducted. Surveys were conducted with two values of adaptive luminance and two values of test luminance. These values corresponds with the road lighting luminance. Tested objects were squares with various contrast luminance placed on the white background. Gained results were analyzed and may be basis to the future laboratory and outdoor surveys.