

Piotr MICHAŁEK

ZANIECZYSZCZENIE ŚWIATŁEM

STRESZCZENIE Światło wyprodukowane przez człowieka i emitowane poza obszar przeznaczenia nazywane jest światłem przeszkadzającym lub zanieczyszczającym i jest źródłem zanieczyszczenia środowiska (podobnie jak dwutlenek węgla czy hałas). Zanieczyszczenie światłem ma wpływ na wiele aspektów życia człowieka, zaczynając od bezpieczeństwa, przez ekologię, ekonomię, zdrowie, na kulturze i estetyce kończąc. Światło przeszkadzające jest szczególnie uciążliwe dla kierowców, ponieważ odwraca ich uwagę lub jest przyczyną oślnienia. W referacie zostaną przedstawione ogólne wymagania i zalecenia zmniejszające ten efekt.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie światłem, oślnienie, światło przeszkadzające, oświetlenie dróg

1. WSTĘP

Zanieczyszczenie światłem to problem, który dotyczy już nie tylko wielkich aglomeracji; występuje obecnie coraz częściej również w małych miasteczkach i wsiach. Światło sztuczne ma negatywny wpływ na ekosystem: lasy, łąki, zbiorniki wodne; zakłóca naturalny cykl dobowy roślin i zwierząt, dezorientuje i więzi wędrujące ptaki, które nie mogą opuścić oświetlonego obszaru. Zaburzenie naturalnego rytmu dnia i nocy jest przyczyną problemów

mgr inż. Piotr MICHAŁEK

e-mail: piotr.michalek@bosmal.com.pl

Pracownia Elektrotechniki i Elektroniki Samochodowej
Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. w Bielsko-Białej

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 255, 2012

ze snem u wielu ludzi, powoduje też przemęczenie i obniżenie naturalnej odporności organizmu. Rozświetlenie nieboskłonu pozbawia ludzi widoku rozgwieżdżonego nieba i utrudnia prowadzenie obserwacji astronomicznych. Zanieczyszczeniu światłem towarzyszą dodatkowo znaczne straty energii, a zatem również straty finansowe. Niewłaściwie zaprojektowane lub wykonane oświetlenie powoduje olśnienie u kierowców.

W artykule poruszono tematykę zanieczyszczenia światłem, szerzej omówiono temat olśnienia kierowców oraz wymagania norm ograniczające światło przeszkadzające.

2. ŚWIATŁO PRZESZKADZAJĄCE

Norma PN-EN 12464-2 podaje następującą definicję: światło przeszkadzające to światło niepożądane, które z powodu niewłaściwych w danej sytuacji cech ilościowych, kierunkowych lub spektralnych powoduje irytację, niewygodę widzenia, odwracanie uwagi lub redukcję widzenia istotnych informacji.

Zanieczyszczenie światłem powodują wszystkie sztuczne źródła światła stosowane w oświetleniu zewnętrznym: oprawy drogowe (szacuje się ich udział na 35% do 50%), reklamy świetlne, oświetlenie obiektów sportowych, reflektory samochodowe oraz powierzchnie odbijające światło, takie jak nawierzchnia jezdni lub ściany budynków.

Wyróżnić można trzy główne problemy, które towarzyszą zanieczyszczeniu światłem: światło intruzyjne, rozświetlenie nieboskłonu oraz olśnienie.

Światło intruzyjne (niepożądane) to światło emitowane w stronę obiektów, które znajdują się poza obszarem, dla którego zostało zaprojektowane oświetlenie. Przykładem takiej sytuacji może być oświetlenie dróg skierowane w stronę okien budynków lub na dowolną część posesji.

Rozświetlenie nieboskłonu (poświata) jest wynikiem rozproszenia światła w atmosferze. Źródłem tego zjawiska są oprawy emitujące światło powyżej horyzontu oraz światło odbite od powierzchni drogi lub budynków. Poświata uniemożliwia obserwacje astronomiczne nie tylko w miastach, ale również w znacznej odległości od nich, „łuna” nad miastami ma też niekorzystny wpływ na ekosystem.

Najbardziej dokuczliwym i wpływającym na bezpieczeństwo efektem niewłaściwego oświetlenia jest olśnienie, wywołane przez nieosłonięte źródła światła o dużej luminancji. Ze względu na skutki działania, rozróżnia się olśnienie przeszkadzające i olśnienie przykre. Olśnienie przeszkadzające obniża wydolność wzrokową kierowcy, powoduje zmniejszenie zdolności widzenia.

Kierowca doznający takiego olśnienia nie widzi szczegółów zjawisk panujących na drodze. Olśnienie takie niekoniecznie jest związane z wrażeniem niewygody. Skrajnym przypadkiem olśnienia przeszkadzającego jest oślepienie. Olśnienie przykre powoduje niewygodę w widzeniu, rozdrażnienie, dyskomfort. Oba rodzaje olśnienia mogą występować bądź łącznie, bądź oddzielnie. Olśnienie jest wywoływane przez urządzenia o dużej jaskrawości, dużo większej od poziomu luminancji, do której jest zaadaptowane oko obserwatora.

3. OLŚNIENIE KIEROWCÓW

Proces przystosowywania wzroku do ciemności jak i jasności nazywamy adaptacją oka. Szybkość tego procesu zależy od luminancji początkowej i końcowej. Adaptacja do ciemności przebiega znacznie wolniej niż do jasności, związane jest to z procesami fotochemicznymi zachodzącymi w oku. Szybkość adaptacji zależy również od wieku, u ludzi młodych jest najlepsza i wydłuża się dla osób starszych.

W czasie dnia, gdy oko jest przystosowane do dużych jaskrawości, pojawienie się w polu widzenia kierowcy sztucznego źródła światła nie ma większego wpływu na proces widzenia, reflektory samochodów jadących z naprzeciwka nie wywołują żadnej reakcji. Natomiast w nocy, kiedy oko jest zaadaptowane do ciemności, światła pojazdów jadących z przeciwka, szczególnie źle wyregulowane, mogą powodować nawet oślepienie kierującego. Jaskrawe obszary w polu widzenia kierowcy, znajdujące się poza głównym kierunkiem obserwacji, wywołują w oku wrażenie jaskrawości, które nazywane jest luminancją zamglenia.

Luminancja zamglenia jest proporcjonalna do rozproszonego w oku strumienia świetlnego w kierunku siatkówki. Ma to wpływ na wrażenie wzrokowe, które w takiej sytuacji jest sumą luminancji obiektu i luminancji zamglenia. Z wiekiem elementy optyczne oka stają się bardziej matowe; powoduje to większe rozpraszanie światła i większą luminancję zamglenia.

Miarą olśnienia przeszkadzającego jest względny przyrost wartości progowej kontrastu TI

$$TI = 65 \frac{L_v}{L_{sr}^{0,8}} \quad (1)$$

gdzie:

L_v – sumaryczna luminancja równoważna zamgleniu pochodząca od wszystkich źródeł w otoczeniu pola widzenia [cd/m^2];

L_{sr} – wartość średnia luminancji jezdni [cd/m^2].

Zwiększenie olśnienia TI powoduje obniżenie wydolności wzrokowej i zmniejszenie zdolności spostrzegania obiektów na drodze (zmniejszenie kontrastu między obiektem i otoczeniem).

Olśnienie przykre pojawia się, gdy w polu widzenia występuje silny kontrast. Zależy ono od luminancji źródeł, ich wielkości kątowej, liczby połączenia i luminancji tła. Olśnienie przykre wpływa na wygodę widzenia i komfort kierowcy.

4. WYMAGANIA I DOKUMENTY

Wymagania dotyczące ograniczania światła przeszkadzającego znaleźć można w dwóch polskich normach: PN-EN 12464-2 *Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy*; część 2: *Miejsca pracy na zewnątrz* oraz PN-EN 13201 *Oświetlenie dróg*, części 1-4.

W normie PN-EN 12464-2 podane zostały dopuszczalne parametry charakteryzujące światło przeszkadzające:

- światło na nieruchomościach (pionowe natężenie oświetlenia w obrębie nieruchomości) [lx];
- światłość oprawy oświetleniowej w potencjalnie przeszkadzającym kierunku [cd];
- światło wypromieniowane w górę ULR (część strumienia świetlnego oprawy emitowany powyżej horyzontu astronomicznego) [%];
- luminancja fasady budynku [cd/m^2];
- luminancja znaków, w tym reklam [cd/m^2].

Dopuszczalne wartości powyższych parametrów podano dla czterech stref środowiskowych:

- E1 – obszary całkowicie ciemne (parki narodowe miejsca chronione);
- E2 – strefy o niskiej jaskrawości, jak tereny przemysłowe lub wiejskie zamieszkałe;
- E3 – strefy o średniej jaskrawości, jak tereny przemysłowe lub podmiejskie tereny zamieszkałe;
- E4 – strefy o wysokiej jaskrawości, jak centra miast i strefy komercyjne.

Zgodnie z wymaganiami podanymi w tabeli 1, kule mleczone, które świecą równomiernie w każdym kierunku, w ogóle nie powinny być stosowane, jednak ciągle można obserwować powstawanie nowych instalacji z takim właśnie oświetleniem.

TABELA 1

Dopuszczalne wartości światła przeszkadzającego wg PN-EN 12464-2

Strefa	Światło na nieruchomościach		Światłość oprawy oświetleniowej		Światło wypromieniowane w górę	Luminancja	
	E_v [lx]		I [cd]		ULR [%]	L_b [cd/m ²]	L_s [cd/m ²]
	Przed 22 ⁰⁰	Po 22 ⁰⁰	Przed 22 ⁰⁰	Po 22 ⁰⁰		Fasada budynku	Znaki
E1	2	0	2500	0	0	0	50
E2	5	1	7500	500	5	5	400
E3	10	2	10000	1000	15	10	800
E4	25	5	25000	2500	25	25	1000

Norma PN-EN 12464-2 podaje dopuszczalne wartości olśnienia przykrego kierowców dla niedrogowych instalacji oświetleniowych.

TABELA 2Dopuszczalne wartości przyrostu wartości progowej kontrastu TI [%] dla niedrogowych instalacji oświetleniowych wg PN-EN 12464-2

Klasa oświetlenia drogi	Przyrost wartości progowej (TI)	Luminancja zamglenia L_v [cd/m ²]
Oświetlenie niedrogowe	15% przy luminancji adaptacji 0,1 cd/m ²	0,04
ME5	15% przy luminancji adaptacji 1 cd/m ²	0,25
ME4 / ME3	15% przy luminancji adaptacji 2 cd/m ²	0,40
ME2 / ME1	15% przy luminancji adaptacji 5 cd/m ²	0,84

W normie dotyczącej oświetlenia dróg PN-EN 13201 można także znaleźć wymagania dotyczące ograniczenia światła przeszkadzającego. Znajdują się w niej wymagania dotyczące olśnienia przeszkadzającego (TI) dla różnych klas oświetlenia, ale nie są podane wymagania dotyczące ograniczenia olśnienia przykrego. Norma wprowadza podział opraw na klasy w zależności od stopnia ochrony przed olśnieniem przeszkadzającym (klasy światłości G1 do G6) oraz olśnieniem przykrym (klasy wskaźnika olśnienia D0 do D6).

Oprawy klasy G1, G2 i G3 to oprawy o częściowo ograniczonym rozsyle światłości (ang. *Semi-Cutoff*). Oprawy klas G4, G5, G6 odpowiadają oprawom o rozsyle ograniczonym (G4, G5 – ang. *Cutoff*, G6 – ang. *Full Cutoff*), oprawa klasy G6 nie emituje światła powyżej horyzontu. Klasę D0 stosuje się dla opraw, w których źródło światła lub jego części mogą być bezpośrednio widoczne; klasa D6 to oprawy o najmniejszym wskaźniku olśnienia przykrego. Wskaźnik olśnienia dla oprawy oblicza się według wzoru:

$$I \cdot A^{-0,5} \quad (2)$$

gdzie:

- I – maksymalna wartość światłości [cd] w każdym kierunku tworzącym z pionem kąt 85° ;
- A – powierzchnia [m^2] wyrażona przez rzut świecącej części oprawy na płaszczyznę prostopadłą do kierunku światłości.

TABELA 3

Klasy wskaźnika olśnienia przykrego wg PN-EN 13201-2

Klasa	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Maksymalny wskaźnik olśnienia	–	7000	5500	4000	2000	1000	500

Norma dopuszcza również możliwość sterowania oświetleniem, możliwe jest obniżenie parametrów oświetlenia w sytuacjach, gdy zmniejsza się natężenie ruchu, lub nawet całkowite wyłączenie tego oświetlenia.

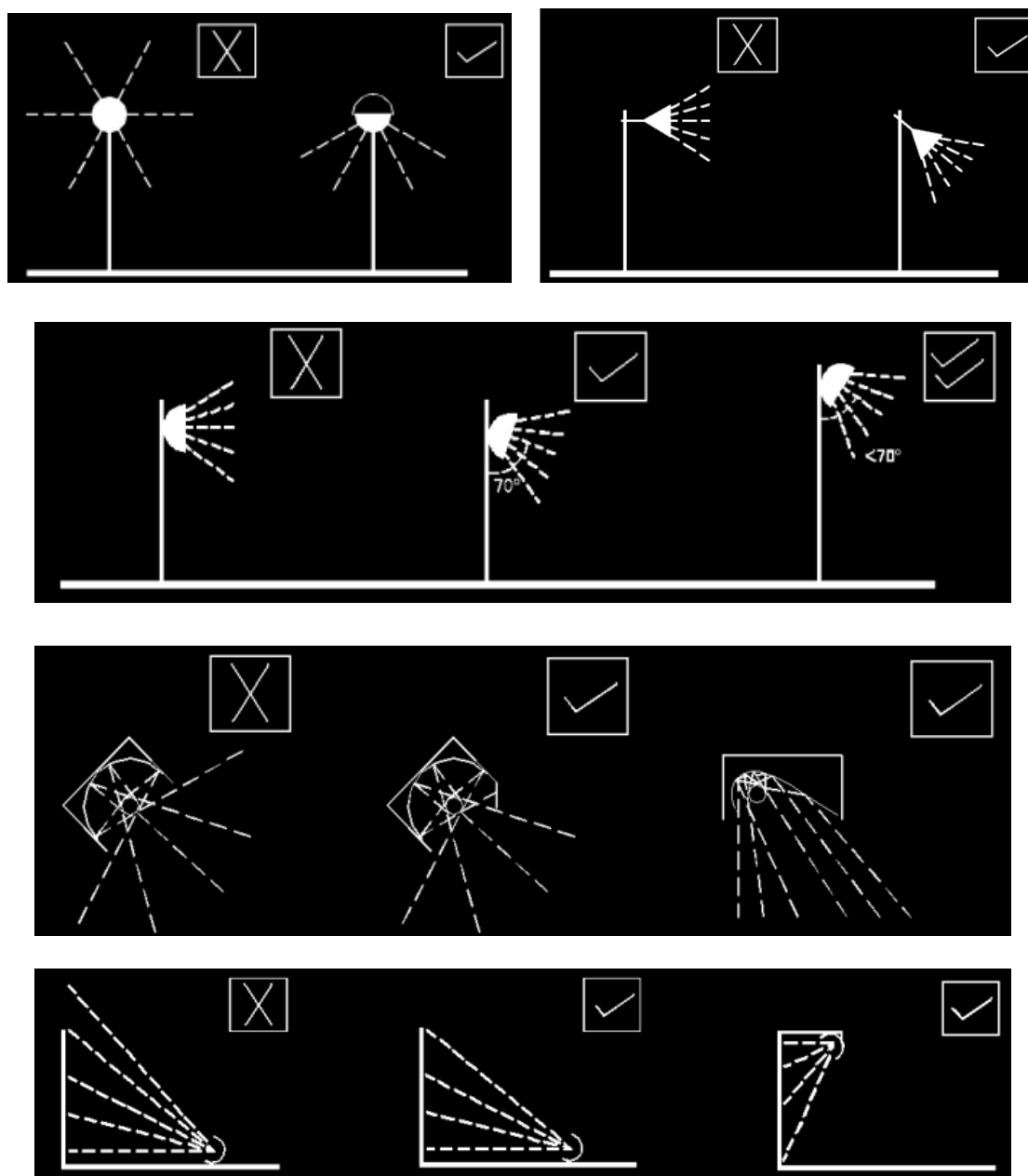
Wymagania zamieszczone w normach są często niewystarczające; uzupełnieniem norm są różne poradniki, pomocne podczas projektowania oświetlenia, lub wytyczne dotyczące konkretnych miejsc lub obiektów (przejścia dla zwierząt, strefy ochrony ciemnego nieba) [3, 5, 6] oraz wymagania inwestorów. Dokumenty te są opracowywane przez specjalistów danej dziedziny przy współpracy z organizacjami oświetleniowymi. Wymagania w takich dokumentach często mają charakter jakościowy [3], rzadziej ilościowy.

Organizacją o zasięgu globalnym jest International Dark-Sky Association (IDA) – zajmuje się ona szeroko pojętą tematyką ochrony ciemnego nieba.

W Polsce działa program Ciemne Niebo prowadzony przez Stowarzyszenie POLARIS – OPP. Działania w ramach programu Ciemne Niebo polegają między innymi na ewidencjonowaniu miejsc, gdzie prowadzi się obserwacje nieba, ochronie tych miejsc przed skażeniem światłem, wymianie tradycyjnych opraw drogowych na inteligentne oświetlenie w miejscach, gdzie prowadzi się

obserwacje astronomiczne. W 2011 r. dzięki staraniom Stowarzyszenia POLARIS w Sopotni Wielkiej w gminie Jeleśnia wymieniono całą instalację oświetlenia ulicznego, wymieniono 150 opraw, zainstalowano nowe wysięgniki i regulatory mocy. Dzięki tym działaniom znacznie poprawiły się warunki obserwacji astronomicznych [7].

Przykłady pomocne w zrozumieniu tematyki zanieczyszczenia światłem przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Wskazówki dotyczące prawidłowej instalacji opraw oświetleniowych [5]

5. PODSUMOWANIE

Temat zanieczyszczenia światłem jest bardzo rozległy i wymaga jeszcze wielu badań, aby w pełni poznać jego naturę. Ochrona przed światłem przeszkadzającym powinna się zacząć już na etapie projektowania, przez dobranie odpowiednich opraw do konkretnego zadania oświetleniowego i prawidłowe ich rozmieszczenie. Reflektory z asymetrycznym rozsyłem, prawidłowo wykorzystane, dają lepszy efekt i są bardziej energooszczędne niż reflektory z rozsyłem symetrycznym. Projektując oświetlenie, powinno się uwzględniać istniejące instalacje oświetleniowe oraz takie czynniki, jak ukształtowanie terenu i położenie względem drogi. Wymagania norm dotyczą przede wszystkim ochrony przed olśnieniem przeszkadzającym, brakuje natomiast wymagań ograniczających olśnienie przykre.

Średni czas użytkowania instalacji oświetleniowej zewnętrznej również drogowej to 25 do 30 lat. Systematyczna wymiana starych instalacji na nowe, spełniające wymagania ochrony przed światłem przeszkadzającym, powinna zmniejszyć oddziaływanie światła na środowisko. Duży potencjał stwarza możliwość sterowania oświetleniem drogowym. Obniżenie parametrów oświetlenia w godzinach znikomego natężenia ruchu będzie nie tylko korzystne dla środowiska, ale może również przynieść oszczędności finansowe.

LITERATURA

1. Bommel W.J.M., Boer J.B.: Oświetlenie dróg, WKŁ, Warszawa, 1984.
2. Dybczyński W.: Olśnienie przeszkadzające kierowcom, Wiadomości elektrotechniczne nr 4, str. 22-26, 2011.
3. Kurek R.T.: Poradnik projektowania przejść dla zwierząt i działań ograniczających śmiertelność fauny przy drogach, Warszawa, 2010.
4. Mazur W.J., Żagan W.: Samochodowa technika świetlna, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1997.
5. Guidance Notes for the Reduction of Obtrusive Light GN01:2011.
6. CELMA Guide on Obtrusive Light, 2007.
7. www.ciemnieniebo.pl.
8. PN-EN 12464-2.
9. PN-EN 13201, części 1-4.

Rękopis dostarczono dnia 05.04.2012 r.

LIGHT POLLUTION

Piotr MICHAŁEK

ABSTRACT *Light produced by man and emitted outside the destination area is called the obtrusive or polluting light and is a source of environmental pollution (like carbon dioxide and noise). Light pollution encompasses many different aspects of human life: safety, ecology, economy, health, cultural and aesthetic. Light pollution is particularly annoying for drivers, glare is the cause of discomfort, or loss of visual performances and visibility. The paper presented the general requirements and recommendations to reduce effect of light pollution.*

Keywords: *light pollution, obtrusive light, glare, urban sky glow, road lightin.*

Mgr inż. Piotr MICHAŁEK – absolwent Politechniki Śląskiej – kierunek Fizyka Techniczna. Pracownik Pracowni Elektrotechniki i Elektroniki Samochodowej Instytutu Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. w Bielsku-Białej.



