

## Światłowody boczne w diagnostyce lamp LED

**Streszczenie.** Światłowody boczne kojarzone są zwykle z iluminacją i zastosowaniem w oświetleniu dekoracyjnym. Szklane włókna z profilowanymi, rozpraszającymi warstwami spiralnymi mogą również służyć do analizy promieniowania padającego na ich powierzchnię boczną. Odpowiednia konfiguracja bardzo cienkich włókien, rozmieszczonych w obszarze klosza oprawy, pozwala na ciągłą analizę strumienia świetlnego emitowanego ze źródła światła. Układ detekcyjny ze światłowodami bocznymi, włączony w sprzężenie zwrotne systemu zasilania oprawy, może monitorować wybrane jej parametry fotometryczne. Stosowane włókna optyczne wykonane są ze szkła wieloskładnikowych w procesie technologicznego wyciągania i charakteryzują się średnicami rzędu 250 μm, elastycznością i przezroczystością, zatem nie wprowadzają deformacji rozsyłu strumienia świetlnego oprawy, z którą współpracują. W artykule przedstawiono aplikację światłowodów bocznych w oprawie LED, z funkcjonalnością autoregulacji parametrów fotometrycznych i zasilania.

**Abstract.** Side optical fibres are usually associated with illumination and use in decorative lighting. Glass fibres with diffusing helical layers can be applied in analysis of radiation incident on their side surface. Adequate configuration of very thin fibres, distributed in the area of the lampshade, allows analyzing the luminous flux emitted from the light source continuously. Detection system with side optical fibres, introduced to the feedback loop of the fitting's supply system, enables monitoring selected photometric parameters of this fitting. Used optical fibres are produced of multicomponent glasses in the process of drawing and have diameter of 250 μm, are flexible and transparent, therefore they do not introduce the deformation of the light emission of the fitting. In the article the application of the side optical fibres in the LED lamp with auto regulation of photometric and power supply parameters is presented. (**Application of side optical fibres in diagnostics of LED lamp.**)

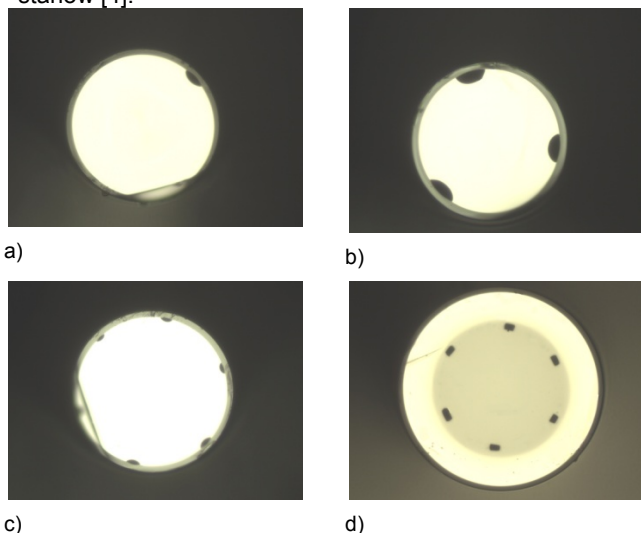
**Słowa kluczowe:** światłowód boczny, LED, absorpcja, strumień świetlny, detekcja.

**Keywords:** side optical fibre, LED, absorption, luminous flux, detection.

doi:10.12915/pe.2014.01.78

### Wstęp

Modyfikowane rozpraszającym szkłem fluorowym światłowody cylindryczne oraz planarne propagują promieniowanie wprowadzone zarówno do rdzenia jak również przez powierzchnię boczną [1, 2, 3]. Dodatkowa cecha, która wyróżnia te konstrukcje wśród światłowodów konwencjonalnych to możliwość absorbowania energii promienistej przede wszystkim powierzchnią boczną. Zaabsorbowane promieniowanie nie jest tracone, ale po wejściu w obszar rdzeniowy oraz przy zachowaniu warunków propagacji, może nastąpić transport energii świetlnej wzdłuż osi włókna optycznego. Właściwość ta powoduje, że światłowody boczne rozszerzają swoje zastosowanie do konstrukcji czujników i analizatorów stanów [4].



Rys. 1. Przykłady konstrukcji światłowodów z warstwami rozpraszającymi: a) 1 warstwa spiralna na granicy rdzeń-płaszcz, b) 3 warstwy na granicy rdzeń-płaszcz, c) 6 warstw na granicy rdzeń-płaszcz, d) 6 warstw w rdzeniu światłowodu

Konstrukcje światłowodowe modyfikowane technologicznie lub materiałowo, szczególnie z warstwami spiralnymi wykazują ciągłość deformacji na zadanym odcinku światłowodu lub na całości włókna (rys. 1) [4]. Ta

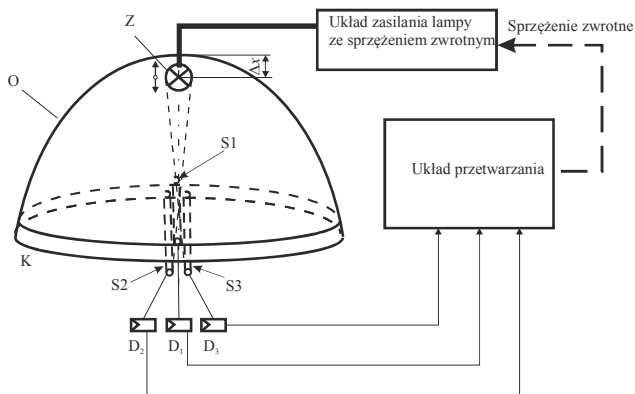
właściwość pozwala na oświetlanie wiązką odniesieniową dowolnego obszaru światłowodu. W porównaniu do konstrukcji modyfikowanych mechanicznie, istnieje różnica w możliwości propagacji użytecznego promieniowania. Promieniowanie zaabsorbowane ulega dodatkowo częściowej emisji boczną powierzchnię wzdłuż osi falowodu. Brak struktury klasycznego światłowodu odbija się skróceniem drogi propagacji promieniowania i większym rozproszaniem bocznym. Konstrukcje tego typu muszą być zatem stosunkowo krótkie, przy czym wymiary geometryczne zależą od mocy sygnału i czułości współpracujących detektorów promieniowania.

### Zastosowanie światłowodu bocznego jako czujnika parametrów optycznych lampy

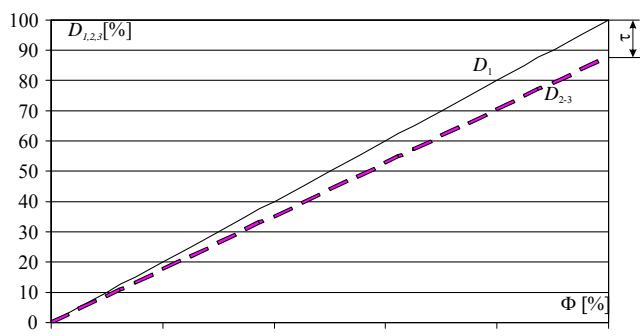
Czujniki położenia stanowią ważną grupę systemów detekcji, które poprzez analizę usytuowania obiektu dają informację o przestrzennym jego usytuowaniu względem punktu odniesienia. Czujniki mogą one pracować wykorzystując metodę stykową lub bezstykową. Najpowszechniej stosowana metoda bezstykowa, wykorzystująca zwykle barierę optyczną, polega na analizowaniu stanu wiązki świetlnej padającej na detektor lub zespół detektorów (linijka lub matryca) i weryfikowaniu położenia obiektu względem takiego systemu detekcji [5, 6]. Zaproponowane rozwiązanie jest odmienne pod względem zapotrzebowania układu czujnikowego na znaczną liczbę detektorów przy określonej dokładności pomiaru i polega na analizie przemieszczającego się obiektu poprzez pomiar zmian sygnału propagującego się w zmodyfikowanej strukturze światłowodowej [7].

Na rysunku 2 przedstawiono schemat koncepcji układu pomiarowego, służącego do sterowania oprawy oświetleniowej, poprzez wykorzystanie światłowodów bocznych. Celem działania takiego rozwiązania jest samoregulacja źródła światła w konstrukcji świetlnooptycznej, będąca wynikiem analizy strumienia świetlnego źródła światła, mierzonego włóknem 1, oraz analizy strumienia przechodzącego przez klosz oprawy, mierzonego włóknami 2 i 3. Dodatkowo, synchronizując częstotliwość zasilania źródła światła z częstotliwością detekcji zespołu detektorów  $D$ , możliwe jest również analizowanie stanu oświetlenia panującego w otoczeniu

lampy. Innymi słowy, przedstawiony układ pomiarowy (rys.2) stanowi autonomiczny system samoregulacji oprawy oświetleniowej, w zależności od poziomu natężenia oświetlenia na płaszczyźnie oświetlanej. Zależność zmiany strumienia świetlnego w funkcji średniej wartości sygnałów detektorów współpracujących ze światłowodami bocznymi 1, 2 i 3 jest liniowa (rys. 3), przy czym różnica, pomiędzy średnią wartością sygnału detektorów 2 i 3 oraz detektora 1, wynika z pochłaniania klosza lampy o współczynniku przepuszczania  $\tau$ .



Rys. 2. Koncepcja oprawy oświetleniowej z autokalibracją strumienia świetlnego (Z – źródło światła, O – odbłyśnik, K – klosz, D – zespół detektorów, S – światłowody boczne 1, 2, 3) [2]

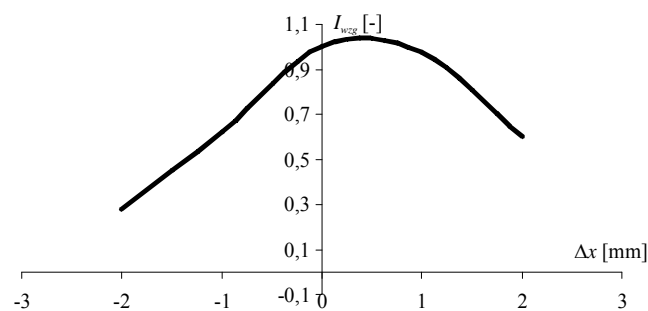


Rys. 3. Średni sygnał użyteczny światłowodów 1, 2 i 3 w funkcji zmiany strumienia świetlnego

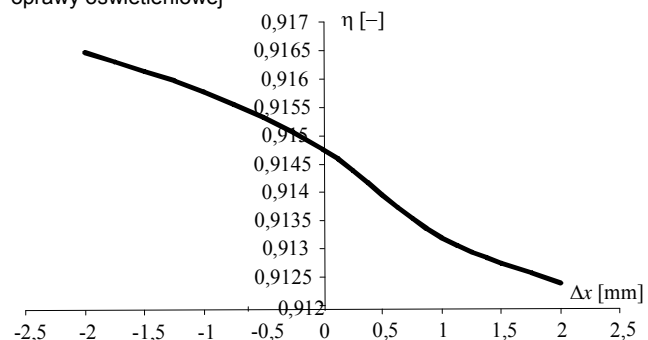
W badanym układzie modelowym analizowano przydatność pomiarowego systemu optycznego, opartego na bocznych światłowodach modyfikowanych o średnicy  $250\mu\text{m}$  i długości  $500\text{mm}$  z trzema spiralnymi warstwami rozpraszającymi w obszarze przypłaszczeniowym. Parametrem wejściowym było przesunięcie źródła światła (diody LED) względem ogniska odbłyśnika parabolicznego, zaś detekcja odbywała się poprzez analizę średniej wartości sygnału uzyskiwanego na końcach włókien detekcyjnych. Światłowody pomiarowe były przed pomiarem kalibrowane w taki sposób, aby niezmienny rozsył strumienia świetlnego od źródła światła powodował w każdej linii detekcyjnej ze światłowodem identyczny poziom średniej wartości sygnału. Światłowody współpracowały z fotodiodami PIN BPW34, które umieszczone były przy powierzchniach czołowych światłowodów poprzez imersję optyczną. Skontrolowano również możliwość sterowania źródłem LED. W tym celu zmieniano w sposób liniowy strumień świetlny, a następnie analizowano średni sygnał kanałów detekcyjnych. Uzyskano zależność liniową, co potwierdza przypuszczenie, iż światłowodowy system detekcji może być stosowany w analizie zmian promieniowania optycznego, którego zakres widmowy ograniczony jest wyłącznie rodzajem zastosowanego detektora oraz charakterystyki absorpcji światłowodu.

W konstrukcji modelowej (rys. 2), źródło LED w postaci

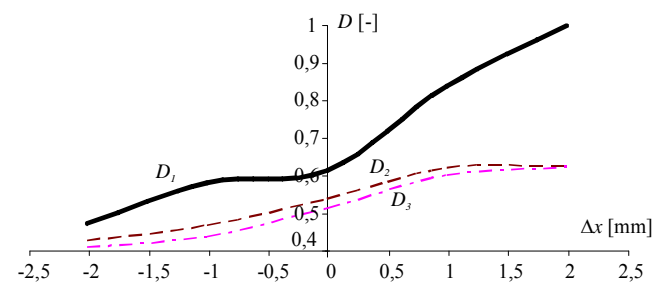
3 diod CREE XP-E podlegało przemieszczeniom  $\Delta x$  wzdłuż osi symetrii obrotowej oprawy oświetleniowej. Zerowe położenie źródła LED dotyczyło jego umieszczenia w ognisku odbłyśnika parabolicznego o ogniskowej  $5\text{mm}$  i średnicy otworu wyjściowego  $250\text{mm}$ . Za kierunek dodatni przyjęto przesuw źródła w kierunku otworu wyjściowego odbłyśnika. Średni sygnał torów detekcyjnych  $D_1$ ,  $D_2$  i  $D_3$  w funkcji przesunięcia źródła światła przedstawiono na rysunku 6, a odpowiadająca zmianom  $\Delta x$  światłość osiowa względna oprawy oświetleniowej pokazana jest na rysunku 4. Funkcjonalność układu pomiarowego można dodatkowo rozszerzyć analizując strumień świetlny wychodzący otworem wyjściowym oprawy i związać tę zależność z układem regulacji źródła światła. Charakterystyka sprawności optycznej (rys. 5) oraz zmian światłości względnej (rys. 4) pokazuje możliwości regulacji wzajemnego położenia źródła światła i odbłyśnika obrotowo-symetrycznego. Z drugiej strony, synchronizacja czasu detekcji z modulacją źródła światła (np. w systemach PWM zasilania diod LED), pozwala na określenie stopnia zabrudzenia klosza oprawy i analizy w czasie rzeczywistym parametrów świetlnych powierzchni oświetlanej oprawą oraz samej oprawy. Korektę strumienia świetlnego, wynikającą ze zmian współczynnika przepuszczania klosza, należy przeprowadzić, gdy źródło światła jest wyjustowane względem odbłyśnika w taki sposób, że jego światłość osiowa jest największa.



Rys. 4. Charakterystyka światłości osiowej względnej modelowej oprawy oświetleniowej



Rys. 5. Charakterystyka sprawności modelowej oprawy oświetleniowej



Rys. 6. Średni sygnał detektorów, współpracujących ze światłowodami 1, 2 i 3

Opracowany model oprawy oświetleniowej ze sterowaniem opartym na mikroprocesorze Atmega16, w poprawny sposób dokonywał samoregulacji emisji strumienia świetlnego ze źródła LED, w oparciu o prosty algorytm liniowej zależności strumienia wychodzącego z oprawy, w zależności od strumienia świetlnego odbitego od powierzchni oświetlanej. Sygnał uzyskiwany z poszczególnych światłowodów detekcyjnych (rys. 6), w rozpatrywanym układzie, charakteryzuje się tym, że możliwe jest przybliżenie przebiegów średnich sygnałów gałęzi pomiarowych następującymi wielomianami 3-go stopnia:

$$D_1(\Delta x) = 0,0039(\Delta x)^2 + 0,0167(\Delta x)^2 + 0,0968(\Delta x + 0,06625) \quad (1)$$

$$D_2(\Delta x) = -0,0016(\Delta x)^2 - 0,0019(\Delta x)^2 + 0,0518(\Delta x + 0,55) \quad (2)$$

$$D_3(\Delta x) = -0,0024(\Delta x)^2 - 0,024(\Delta x)^2 + 0,0619(\Delta x + 0,5358) \quad (3)$$

Charakterystyki zmian sygnału opisanego zależnościami (1, 2, 3), mierzonego odpowiednimi światłowodami 1, 2 i 3, mogą być zapisane w pamięci procesora i w sposób automatyczny sterować prądem zasilania diod LED w lampie.

#### Podsumowanie

Zastosowanie światłowodu bocznego w iluminacji i oświetleniu jest znane od dawna. Opracowane na Politechnice Białostockiej konstrukcje optyczne, z technologicznie modyfikowanym rdzeniem, pozwalają dodatkowo na absorbowanie promieniowania i analizę propagacji strumienia świetlnego w światłowodzie. Taka funkcjonalność daje możliwości konstruowania bezpiecznych, nieiskrzących czujników o rozłożonej powierzchni detekcyjnej lub detekcji wielopunktowej, przy zastosowaniu światłowodów bocznych kształtowanych [6]. Obrotowo-symetryczna geometria szklanego włókna optycznego może posłużyć opracowaniu systemów detekcyjnych, które będą uczulane przestrzennie (detekcja całoprzestrzenna, głowice do pomiaru cylindrycznego lub półcylindrycznego natężenia oświetlenia). Półcylindryczne natężenie oświetlenia odpowiada za postrzeganie obiektów usytuowanych prostopadle względem powierzchni drogi oraz za rozpoznawanie szczegółów pracy wzrokowej (np. rysów twarzy). Po spełnieniu wymagań dotyczących lambertowskiego sposobu absorpcji promieniowania przez powierzchnię walcową skonstruowanych światłowodów,

odpowiednia kalibracja i wzorcowanie układu daje przesłankę do zbudowania unikalnych, światłowodowych głowic pomiarowych. Rozwiązanie takie pozwala na uniknięcie problemów wynikających z niejednorodności materiału i stopnia rozpraszania obecnie stosowanych nasadek na głowice luksomierza. Szklane światłowody detekcyjne sprawdzą się również w układach monitorowania i kontroli promieniowania słonecznego, w systemach fototermicznej lub fotowoltaicznej konwersji promieniowania słonecznego lub innych systemach OZE. Fotodiody detekcyjne mogą wówczas pracować w kontrolowanych warunkach temperaturowych, chociaż głowica detekcyjna może nagrzać się do ponad 80°C (temperatura powierzchni modułu fotowoltaicznego).

*Badania sfinansowano na Politechnice Białostockiej w ramach pracy statutowej S/WE/4/2013.*

#### LITERATURA

- [1]. Dorosz J., Dorosz D., Dybczyński W., Błaszczak U., Zajkowski M.: Analysis of the luminous flux diffusion on the optical fiber lateral surface, *Optica Applicata*, vol. 39, 2009, s. 63-76
- [2] Zajkowski M.: Cylindryczne światłowody boczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, 2012
- [3] Dorosz D., Zajkowski M.: Optical properties of glasses for sight light emission waveguides, *Strasbourg*, 2007
- [4] Dorosz D., Kochanowicz M., Żmojda J., Dorosz J.: Helical core optical fibre made of Nd<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup>-doped oxyfluoride silicate glass, *Proc. of SPIE*, vol.7721 B1
- [5] Błaszczak U.: Application of pinhole digital camera in size and spatial arrangement of glare sources measurements in an exemplary didactic room, *Przegląd Elektrotechniczny*, R.84, nr 8 (2008), s. 122-124
- [6] Kuszniar J.: Wielopunktowe czujniki światłowodowe do wykrywania nacisku, *Przegląd Elektrotechniczny*, R.85, nr 6 (2009), s. 54-57
- [7] Zajkowski M.: Światłowody boczne w liniowej detekcji promieniowania, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 11, 2010, s. 327-328

---

**Autorzy:** dr inż. Urszula Błaszczak, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, Katedra Optoelektroniki i Techniki Świetlnej, ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok, E-mail: [u.blaszczak@pb.edu.pl](mailto:u.blaszczak@pb.edu.pl),  
dr inż. Jacek Kuszniar, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, Katedra Optoelektroniki i Techniki Świetlnej, ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok, E-mail: [j.kuszniar@pb.edu.pl](mailto:j.kuszniar@pb.edu.pl),  
dr inż. Maciej Zajkowski, Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny, Katedra Optoelektroniki i Techniki Świetlnej, ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok, E-mail: [m.zajkowski@pb.edu.pl](mailto:m.zajkowski@pb.edu.pl).