

Adrian Skrzypczak¹, Agata Dudek², Robert Ulewicz³

OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA WYBRANYCH INSTRUMENTÓW ZAPEWNIAJĄCYCH JAKOŚĆ W PROCESIE ŁĄCZENIA WŁÓKIEN ŚWIATŁOWODOWYCH

Streszczenie: W artykule podano ocenę możliwości wykorzystania wybranych instrumentów zapewnienia jakości w szeroko pojętym procesie łączenia włókien światłowodowych w branży telekomunikacyjnej. W publikacji zwrócono uwagę na wymagania łączeniowe w aspekcie stosowanych materiałów i metod, scharakteryzowano, wykorzystywane w branży telekomunikacyjnej w procesie łączenia włókien światłowodowych materiały oraz metody. Szczególną uwagę zwrócono na możliwość zastosowania metod QFD i FMEA jako instrumentów, które umożliwić mogą zapewnienie jakości w procesie łączenia włókien światłowodowych, zarówno pod kątem wykrycia i usunięcia ewentualnych błędów w procesie produkcji, jak również modernizacji i dostosowania do potrzeb rynku procesu łączenia włókien światłowodowych. Przedstawiono również wnioski wynikające z możliwości zastosowania metod QFD i FMEA w zakresie usprawnienia procesu łączenia włókien światłowodowych w branży telekomunikacyjnej.

Słowa kluczowe: światłowód, jakość, technologia.

1. Wymagania łączeniowe w aspekcie stosowanych materiałów i metod

Proces łączenia światłowodów ma charakter złożony i wymaga uwzględnienia szeregu aspektów. Jednym z podstawowych wymagań łączeniowych w zakresie stosowanych materiałów i metod jest zapewnienie przy łączeniu światłowodów kontaktu optycznego między

¹ mgr Czestochowa University of Technology, Faculty of Management, Management and Engineering of Production Poland

² dr hab. inż. prof. of Czestochowa University of Technology, Faculty of Management, Management and Engineering of Production Poland

³ dr hab. inż. Czestochowa University of Technology, Faculty of Management, Management and Engineering of Production Poland

poszczególnymi włóknami światłowodowymi, czyli umożliwienie przekazywania mocy optycznej pomiędzy rdzeniami łączonych światłowodów (tzw. sprzężenie czołowe).

Z uwagi na różnorodność typów włókien światłowodowych (zarówno pod względem konstrukcyjnym jak i materiałowym) oraz ich przeznaczenie niezbędne jest dobranie odpowiedniej metody łączenia (DOROSZ J., ROMANIUK R. 2014).

Istnieją trzy podstawowe metody łączenia włókien światłowodowych, tj. metoda spawania włókien, metoda łączenia mechanicznego oraz metoda sklejanie włókien. Niezależnie jednak od tego, jaką metodą dokonuje się łączenia włókien światłowodowych, przy łączeniu niezbędne jest użycie określonych elementów łączących (SZUSTAKOWSKI M. 1992).

Etapem wspólnym wszystkich metod łączenia włókien światłowodowych jest odpowiednie przygotowanie włókna światłowodowego do wykonywania połączenia. W tym celu należy usunąć pokrycie ochronne włókien światłowodowych z końców włókien na odcinkach o długości określonej odpowiednio do danej technologii metody łączenia.

Kolejnym niezbędnym etapem przygotowania włókien światłowodowych do połączenia jest ucinanie końców włókien dla uzyskania poprawnego połączenia tzw. techniką „łupania”, tj. poprzez łamanie włókna światłowodowego w określonym miejscu naznaczonym rysą, wykonaną diamentowym ostrzem, prostopadle do osi włókna. Do ucinania włókien światłowodowych produkuje się wiele różnych narzędzi. Pozwalają one na kontrolowanie ostrości noża rysującego włókno, jego nacisku i sposobu zginania.

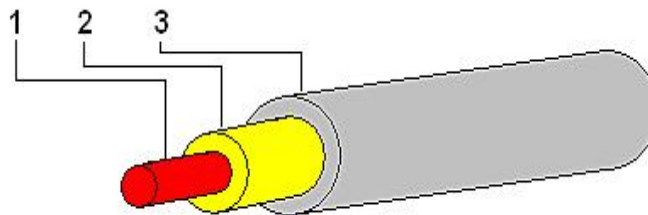
Bezpośrednio przed połączeniem włókien światłowodowych należy je ustawić względem siebie w sposób odpowiedni (SZUSTAKOWSKI M. 1992).

Przy ocenie i wyborze metod łączenia włókien należy brać pod uwagę (SZUSTAKOWSKI M. 1992):

- 1) cechy konstrukcyjne: wartość tłumienności połączenia, trwałość połączenia, wymiary (gęstość upakowania), uniwersalność wykonania;
- 2) własności instalacyjne: stabilność tłumienności połączenia, odporność mechaniczną;
- 3) czynniki ekonomiczne, koszt: materiałów i elementów złącza, narzędzi, szkolenia, robocizny przy instalowaniu.

2. Porównanie materiałów i metod

Światłowód składa się z 3 części: rdzenia, płaszcz i pokrycia. Budowa światłowodu została przedstawiona na Rysunku 1. Rdzeń, którego grubość wynosi w zależności od rodzaju światłowodu od 5 do 50 mikronów, wykonany jest najczęściej ze szkła kwarcowego lub plastiku, rzadziej z innych rodzajów szkieł lub materiałów krystalicznych, jak np. szafir.



1 – rdzeń, 2 – płaszcz, 3 – pokrycie

Rys. 1. Budowa światłowodu.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie SZUSTAKOWSKI M. 1992

Ze względu na materiał rdzenia wyróżniamy 2 typy włókien optycznych: włókna plastikowe (polimerowe) oraz włókna szklane.

Niektórzy autorzy wskazują również na istnienie światłowodów cieczowych i krystalicznych (ZIENTEK B. 2011).

Włókno plastikowe (polimerowe) to jedno lub wiele włókien wykonanych z żywicy akrylowej. Włókna te są umieszczone w osłonie polietylenowej. Do zalet włókien plastikowych (polimerowych) zalicza się łatwość układania oraz łatwość wykonywania połączeń. Natomiast wadą włókien optycznych plastikowych jest to, że nie mogą one pracować w środowisku o podwyższonej temperaturze (brak odporności na wysoką temperaturę). Światłowody plastikowe są stosowane tam gdzie nie wymaga się dużej prędkości transmisji oraz tam gdzie jest mała odległość pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem optycznym (np. w medycynie).

Natomiast włókno szklane tworzą zazwyczaj włókna o średnicach od kilku do 100 mikrometrów. Szczegółowe informacje na temat materiałów używanych do wytwarzania światłowodów zostały określone w Tablicy 1. Rodzaje materiałów używanych do wytwarzania światłowodów.

Tablica 1. Rodzaje materiałów używanych do wytwarzania światłowodów

Materiał rdzenia		Szkło kwarcowe domieszkowane SiO ₂ : Ge		
Materiał płaszcz		Szkło kwarcowe		
Rodzaj światłowodu		Jednomodowy	Wielomodowy	
			Gradientowy	Skokowy
Podstawowe Parametry	0,85 μm	nie stosuje się ~ 3-5	3-5	5-10
	1,3 μm	0,5-1	0,5	-
Pasma MHz		> 1000	200-1200	20-60
Średnica rdzenia [μm]		5-10	50-100	50-100
Aparatura numeryczna		0,1	0,2	0,3
Zastosowanie		<ul style="list-style-type: none"> - transmisja dalekosiężna - szybka transmisja danych - systemy telemetryczne - główne systemy telekomunikacji - sieci lokalne 		

Material rdzenia	Szkło SiO ₂	Szkło wieloskaładnikowe	Polimer (plastik)	
Material płaszcz	Polimer	Szkło wieloskaładnikowe	Polimer	
Rodzaj światłowodu	Wielomodowy			
	Skokowy	Skokowy	Skokowy	
Podstawowe parametry	0,85 μm	5-20	5-100	20-1000
	1,3 μm	-	-	-
Tłumienność dB/km				
Pasma MHz	20-50	10-100	-	
Średnica rdzenia [μm]	100-400	30-100	100-1000	
Aparatura numeryczna	0,3-0,4	0,3-0,4	5	
Zastosowanie	<ul style="list-style-type: none"> - krótkozasięgowe systemy telekomunikacji - transmisja danych - sieci lokalne - sieci w obiektach 			

Źródło: Opracowanie własne na podstawie SZUSTAKOWSKI M. 1992

Do łączenia włókien światłowodowych, w zależności od ich rodzaju oraz przeznaczenia, wykorzystuje się w zasadzie trzy główne metody, tj. (SZUSTAKOWSKI M. 1992):

- 1) metodę spawania włókien, która stanowi podstawową metodę trwałego łączenia światłowodów, gdyż jest łatwa do wykonania i cechuje się precyzją łączenia. Spawanie włókien światłowodowych wykonuje się na specjalnie skonstruowanych urządzeniach zwanych spawarkami. Urządzenia te dysponują podglądem optycznym kontrolującym ułożenie i justowanie włókien. Proces spawania z reguły jest regulowany automatycznie przez spawarkę (temperatura, czas trwania operacji, nacisk na siebie powierzchni czołowych włókien). Obecnie większość dostępnych na rynku spawarek światłowodowych wykorzystuje technikę wyładowania łuku elektrycznego. Pozostałe bazują na konkurencyjnym,

- nowocześniejszym rozwiązaniu technologicznym i wykorzystują proces spawania zachodzący wewnątrz grafitowego żarnika;
- 2) metodę łączenia mechanicznego, którą stosuje się powszechnie przy urządzeniach końcowych oraz w stojakach zakończeniowo – przełącznicowych. W praktyce spotyka się wiele typów tej metody (w zależności od przeznaczenia) i połączenie może opierać się na zastosowaniu złączek tulejkowych, elementów z rowkami w kształcie litery V, połączeń stożkowych lub soczewkowych. Łączenie dwóch półzłączek następuje poprzez skręcanie, sprzęgiem bagnetowym, zatraskowym lub innym;
 - 3) metodę sklejaną włókien, do której zalicza się wiele różnych technik, w których wzajemne centrowanie łączonych światłowodów odbywa się za pomocą specjalnie konstruowanych przewodnic włókien. Oczyszczone końce włókien łączone są na styk w substancji klejowej i immersyjnej. Połączenie ustala się przez utwardzenie kleju promieniami ultrafioletowymi. Wykonanie takich połączeń jest czasochłonne (12 min na złącze) i kosztowne. Ponadto mogą wystąpić efekty starzenia się kleju.

Tablica 2. Porównanie metod łączenia światłowodów

	Techniki łączenia Światłowodów	
	Rozłączne (tworzone przy pomocy złączek)	Trwałe (spawanie, sklejanie)
Dokładność połączeń	mniej dokładne	Dokładne
Strata w transmisji	Duże	Niskie
Stosowane przy odległościach	Mniejszych	Większych
Zastosowanie	stosowane m.in. do podłączeń źródeł światła, detektorów przyrządów pomiarowych w liniach światła	stosowane m.in. podczas montażu długich odcinków linii światłowodowych

Źródło: Opracowanie własne na podstawie DOROSZ J., ROMANIUK R. 2014.

Należy stwierdzić, że technologia większości opisywanych poprzednio połączeń stałych (spawanie i sklejanie) jest podobna i w każdym przypadku obejmuje następujące czynności:

- 1) identyfikację światłowodów w kablu i wybór łączonych par;
- 2) zdjęcie pokryć ochronnych z kabla i światłowodów, odsłonięcie włókien;
- 3) przygotowanie czół światłowodów – cięcie;
- 4) justowanie i połączenie włókien światłowodowych;
- 5) naniesienie pokryć ochronnych i zabezpieczenie mechaniczne złącza.

3. Ocena możliwości wykorzystania instrumentów

Do instrumentów zarządzania jakością zalicza się: (BORKOWSKI S. 2004).:

- 1) zasady zarządzania jakością, które określają stosunek przedsiębiorstwa i jego pracowników do ogólnie rozumianych problemów jakości;
- 2) metody zarządzania jakością charakteryzujące się planowym, powtarzalnym i opartym na naukowych podstawach sposobem postępowania przy realizacji zadań związanych z zarządzaniem jakością, mają oddziaływanie średnioterminowe; mają one charakter bardziej złożony od narzędzi i wykorzystują dane zebrane za pomocą narzędzi jakości; metody w zależności od obszaru stosowania ich w cyklu życia produktu można podzielić na:
 - metody projektowania dla jakości,
 - metody sterowania jakością, mają zastosowanie przede wszystkim podczas produkcji; zasadnicze znaczenie mają tutaj metody kontroli – metody statystyczne,
 - metody pracy zespołowej,
 - inne metody – Praktyka 5S, Metoda ABC;
- 3) narzędzia zarządzania jakością, które służą do zbierania i przetwarzania danych związanych z różnymi

aspektami zarządzania jakością; wyniki ich stosowania są widoczne szybko, ale efektywne ich wykorzystanie wymaga połączenia z metodami.

Na jakość wyrobu (procesu) składa się przede wszystkim jakość projektowania, jakość wykonania oraz jakość materiału. W praktyce najczęściej stosowane są następujące metody zarządzania przez jakość (ULEWICZ R., SELEJDAK J. 2003):

- 1) FMEA (ang. *failure mode and effects analysis*) – analiza rodzajów i skutków możliwych błędów oraz
- 2) QFD (ang. *quality function deployment*) – funkcjonalny rozwój jakości.

Metody FMEA oraz QFD odnoszą się do różnych aspektów procesu produkcji i z tego względu mogą być wykorzystane do oceny jakości procesu łączenia włókien światłowodowych.

Metoda FMEA jest techniką uznaną i powszechnie stosowaną do identyfikacji błędów (oraz ryzyka ich wystąpienia), które mogą zaistnieć w poszczególnych elementach wyrobu lub w procesie jego wytwarzania, a także skutków ich wystąpienia i ich eliminacji. Metoda FMEA jest przydatna do badania uszkodzeń materiałów, elementów oraz różnych stopni dekompozycji urządzeń technicznych. W wyniku interakcji można uzyskać identyfikację pojedynczych rodzajów niezdatności systemu. Interakcja polega na identyfikacji uszkodzeń (przyczyn) i ocenie ich skutków na następnym wyższym poziomie systemu. Metoda FMEA umożliwia przewidywanie potencjalnych czynników wpływających na uszkodzenie oraz analizować wyniki dla potrzeb procesów produkcyjnych. Wszystkie możliwe czynniki decydujące o uszkodzeniu wyrobu, systemu lub procesu są odpowiednio zaadresowane. Metoda ta nadaje się do analizy systemów różnych technologicznie (elektrycznych, mechanicznych, hydraulicznych, itp.) (GIERA K., WERPACHOWSKI W. 1994). Celem metody FMEA jest wskazanie czynników, które mogą utrudniać spełnianie wymagań zawartych w specyfikacji wyrobu lub usługi, czy też utrudniać przebieg procesu. Czynniki te mogą być związane np. z (HAMROL A. 2005):

- 1) metodami i parametrami procesów,
- 2) środkami pomiarowo-kontrolnymi,
- 3) maszynami i urządzeniami,
- 4) warunkami użytkowania,
- 5) wpływami otoczenia.

Z reguły wyróżnia się dwa rodzaje analizy FMEA:

- 1) FMEA projektu, która pozwala na tworzenie rzeczy dobrze za pierwszym razem; oraz
- 2) FMEA procesu, która umożliwia identyfikację problemów i zakłóceń, jakie można napotkać w trakcie realizacji zaplanowanych procesów, a zatem można ją stosować (ŁUCZAK J., MATUSZAK-FLEJSZMAN A. 2007):
 - przed uruchomieniem produkcji seryjnej,
 - w fazie planowania produkcji dla najbardziej optymalnego przygotowania procesu (w tym dobór środków: maszyn, urządzeń i przyrządów),
 - przy wprowadzeniu nowych wyrobów lub procesów wytwarzania,
 - dla usprawnienia procesów niestabilnych.

W praktyce FMEA jest wykorzystywana głównie w takich przypadkach, jak (GOŁĘBIEWSKI M, JANASZ W, PROZOROWICZ M., 1999):

- 1) prace rozwojowe nad nowymi wyrobami lub ich poważniejszymi modyfikacjami,
- 2) prace nad nowymi materiałami i procesami lub ich modyfikacjami,
- 3) nowe warunki użytkowania wyrobu,
- 4) nowe możliwości zastosowania wyrobu,
- 5) konieczność zapewnienia warunków bezpieczeństwa,
- 6) modernizacja wyrobu,
- 7) modernizacja procesu.

Wśród wad analizy FMEA można wymienić: konieczność posiadania przeszkolonych pracowników oraz zaangażowanie ze strony

kierownictwa, możliwość występowania konfliktów między poszczególnymi wydziałami, pracochłonność procedury postępowania, ograniczenia czasowe (HAMROL A. 2005).

Podsumowując możemy stwierdzić, że metoda FMEA może zostać wykorzystana do oceny jakości procesu łączenia włókien światłowodowych w branży telekomunikacyjnej, w szczególności zaś do przygotowywania materiałów i opracowywania metod (technik) wykorzystywanych w tym procesie w celu wykrycia i wyeliminowania potencjalnych błędów.

QFD jest zaliczana do zaawansowanych metod transformowania wymagań klienta na charakterystyki techniczne wyrobu. Jako narzędzie strukturalnego planowania i rozwoju produktu, umożliwia zespołom badawczym dokonywanie precyzyjnej specyfikacji potrzeb i oczekiwań klientów, a następnie oceny każdej zaproponowanej zdolności przez pryzmat wpływu tej zdolności na zaspokajanie postulowanych potrzeb.

Podstawowym elementem tej metody jest „dom jakości”, który składa się z zestawu macierzy zawierających m.in.: głos klienta i techniczne cechy wyrobu przedstawione jako charakterystyki odpowiednika, wymagania klienta dotyczące produktu, włączając w to porównanie z konkurencją oraz krytyczne punkty kontroli, które są niezbędne dla nadzoru nad procesem (ŁUCZAK J., MATUSZAK-FLEJSZMAN A. 2007).

QFD jest metodą niezwykle intuicyjną, gdyż nie zawiera żadnych statystyk, lecz jest listą specyfikacji i celów projektowania wyrobu. Dlatego też zespół projektowy używający tej metody powinien umieć przetwarzać subiektywne opinie klienta na cechy techniczne produktu, czy usługi. Analizę QFD przeprowadza się w trzech etapach:

- 1) Faza 1 – wyznaczenie i ocena związków między wymaganiami klienta a charakterystykami technicznymi wyrobu;
- 2) Faza 2 – obejmuje dwa etapy:
 - przeniesienie parametrów technicznych wyrobu na jego zespoły,

- 3) inicjowanie zespołowych form pracy;
- 4) przełamywanie barier pomiędzy działami;
- 5) przepływ informacji o oczekiwaniach klienta przez całą strukturę firmy;
- 6) trafne rozpoznanie hierarchii oczekiwań klienta;
- 7) możliwość przewidywania poziomu ich spełnienia;
- 8) zwiększenie potencjału firmy w zakresie pełnej realizacji wymagań;
- 9) podejmowanie trafnych decyzji na podstawie zgromadzonej wiedzy;
- 10) uniknięcie wielu kosztów i straty czasu.

Z uwagi na ciągły rozwój technik światłowodowych (w tym wykorzystywanych materiałów i urządzeń), modernizację urządzeń końcowych oraz zapotrzebowanie na szerokopasmowe sieci internetowe metoda ta może być wykorzystywana przy opracowywaniu nowych technik łączenia włókien światłowodowych w branży telekomunikacyjnej, które spełniać będą oczekiwania nie tylko samych użytkowników tych sieci, ale również producentów innych urządzeń wykorzystywanych w procesie transmisji danych.

4. Podsumowanie

Proces łączenia włókien światłowodowych ma charakter złożony. Na prawidłowy przebieg tego procesu mają wpływ nie tylko wykorzystane materiały, ale również zastosowane technologie oraz czynnik ludzki (doświadczenie operatora). Z tego względu w trakcie procesu łączenia światłowodów może dojść do szeregu błędów i niezgodności.

Co więcej, z uwagi na gwałtowny rozwój usług telekomunikacyjnych obserwować można znaczny rozwój przedsiębiorstw z branży telekomunikacyjnej. Przedsiębiorstwami z branży telekomunikacyjnej są już nie tylko podmioty, które zajmują się administrowaniem i tworzeniem sieci teleinformatycznych, ale również podmioty, które tworzą materiały, technologie i urządzenia wykorzystywane w tej branży. Jednakże przedsiębiorcy z branży telekomunikacyjnej w dalszym ciągu muszą

dostosowywać swoje usługi do potrzeb ciągle zmieniającego się rynku oraz zaspokajać wciąż rosnące zapotrzebowanie na przesył ogromnych ilości danych. Kluczowym elementem we wszystkich technikach światłowodowych jest łączenie włókien światłowodowych. Na chwilę obecną – poza krótkimi dystansami – nie jest możliwe pod względem technologicznym stworzenie włókien światłowodowych, które bezpośrednio łączyłyby ze sobą dwa stanowiska końcowe tworząc w ten sposób sieć światłowodową. W niemal każdym przypadku przy tworzeniu sieci światłowodowych niezbędne jest łączenie ze sobą włókien światłowodowych. Należy mieć na względzie okoliczność, iż jedynie prawidłowe wykonanie połączenia dwóch włókien światłowodowych może zagwarantować sprawne i efektywne działanie sieci światłowodowej.

Wydaje się, że zastosowanie metod FMEA i QFD może wyjść naprzeciw tym wyzwaniom. Przeprowadzanie analizy FMEA procesu łączenia włókien światłowodowych może ujawnić, w jakich miejscach w procesie produkcyjnym powstały wady oraz niezgodności w analizowanym wyrobie i wykazać, które z tych wad są najbardziej istotne i powinny być eliminowane w pierwszej kolejności. Na podstawie tej metody można również ustalić, jakie należy wprowadzić działania korygujące mające na celu regulację procesu technologiczno-produkcyjnego jak również podniesienie kwalifikacji pracowników. Z kolei, zastosowanie metody QFD może umożliwić poznanie potrzeb rynku i opracowanie produktu/usługi, który będzie innowacyjny i podniesie konkurencyjność przedsiębiorcy z branży telekomunikacyjnej.

Zatem stosowanie instrumentów w postaci metod FMEA i QFD może służyć nie tylko utrzymaniu odpowiedniej jakości wyrobów oraz prawidłowości procesu, ale również zmniejszeniu ilości wad i usuwaniu ewentualnych usterek i niezgodności już na etapie produkcji, a nie dopiero w trakcie eksploatacji przez klienta. Późniejsze wykrycie wad z reguły generuje bowiem szereg niepotrzebnych kosztów i w skrajnym przypadku prowadzi do zmniejszenia wiarygodności i opinii o oferowanych wyrobach/usługach przez przedsiębiorstwa z branży

telekomunikacyjnej. Co więcej, aktywne odpowiadanie na potrzeby rynku może podnieść konkurencyjność przedsiębiorców i przyczynić się do opracowania nowych, innowacyjnych technologii.

Niemniej czynienie dalszych, bardziej szczegółowych wniosków wymaga przeprowadzenia szeregu dodatkowych badań na przykładzie poszczególnych przedsiębiorstw działających w branży telekomunikacyjnej.

Literatura

1. BAŁAGA Z., DUDEK A., GOLAŃSKI G. 2011. *Metody badania właściwości materiałów*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej. Częstochowa.
2. BORKOWSKI S. 2004. *Mierzenie poziomu jakości*. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Zarządzania i Marketingu.
3. DOROSZ J., ROMANIUK R. 2014. *Światłowodowy i ich zastosowania 2014*. „Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania” 55/5.
4. GIERA K., WERPACHOWSKI W. 1994. *Księga jakości. Model dokumentacji systemu zapewnienia jakości*. MCNEMT. Radom.
5. GOŁĘBIEWSKI M, JANASZ W, PROZOROWICZ M., 1999. *Zarządzanie jakością w przedsiębiorstwie*. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin.
6. HAMROL A. 2005. *Zarządzanie jakością z przykładami*. PWN, Warszawa.
7. HAMROL A., MANTURA W. 2005. *Zarządzanie jakością teoria i praktyka*. PWN. Warszawa.
8. ŁUCZAK J., MATUSZAK-FLEJSZMAN A. 2007. *Metody i techniki zarządzania jakością. Kompendium wiedzy*. Quality Progress. Poznań.
9. SKRZYPCZAK A., DUDEK A. 2013. *Światłowodowy: charakterystyka i ich budowa*. Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej Materiałowej i Fizyki Stosowanej Politechniki Częstochowskiej. Częstochowa.
10. SZUSTAKOWSKI M. 1992. *Elementy techniki światłowodowej*. WNT. Warszawa.
11. ZIENTEK B. 2011. *Optoelektronika*. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika. Toruń.
12. ULEWICZ R., SELEJDAK J. 2003. *System kontroli wytwarzania odlewów z żeliwa sferoidalnego*. IV Warsztaty z nauk o zarządzaniu dla doktorantów i przyszłych doktorantów, Zakopane.