

**Imię NAZWISKO**  
MIEJSCE PRACY AUTORA

## Wykorzystanie technik optycznych do kontroli produkcji tulei cylindrowych

**Dr inż. Michał WIECZOROWSKI**

Aadiunkt w Zakładzie Metrologii i Systemów Pomiarowych Politechniki Poznańskiej. Dyscyplina naukowa: Mechanika i Budowa Maszyn. Specjalność: Metrologia techniczna. Zainteresowania: Metrologia warstwy wierzchniej, nanotechnologia, współrzędnościowa technika pomiarowa. Autor ponad 100 publikacji naukowych. Stypendysta fundacji Fulbright'a w Northwestern University w Evanston w USA. Od 2003 członek Sekcji Inżynierii Jakości i Diagnostyki Komitetu Metrologii i Aparatury Naukowe PAN.



e-mail: [michal.wieczorowski@put.poznan.pl](mailto:michal.wieczorowski@put.poznan.pl)

**Dr inż. Józef GRUSZKA**

Kierownik Działu Zarządzania Jakością MAHLE Polska, Dyscyplina naukowa: Mechanika i Budowa Maszyn, Specjalność: Silniki Spalinowe. Zainteresowania: inżynieria jakości, topografia warstwy wierzchniej. Autor 35 publikacji naukowych. Od 2002 r. wykładowca w Instytucie Politechnicznym w PWSZ w Kaliszu.



e-mail: [jozef.gruszka@pl.mahle.com](mailto:jozef.gruszka@pl.mahle.com)

### Streszczenie

We współczesnych pomiarach długości i kąta coraz większą rolę odgrywają techniki optyczne. W artykule pokazano zastosowanie optycznego systemu pomiarowego do stuprocentowej kontroli cech geometrycznych tulei cylindrowych. System został zbudowany w oparciu o urządzenie pracujące w systemie projekcyjnym, telecentrycznym. Analiza zdolności wykazała pełną przydatność systemu do postawionego zadania, zarówno pod względem dokładności jak i czasu trwania pomiaru. Procedura pomiarowa została zrealizowana w cyklu automatycznym, bez udziału operatora.

**Słowa kluczowe:** pomiary optyczne, tuleja cylindrowa, automatyzacja

### The use of optical techniques for cylinder liner production control

#### Abstract

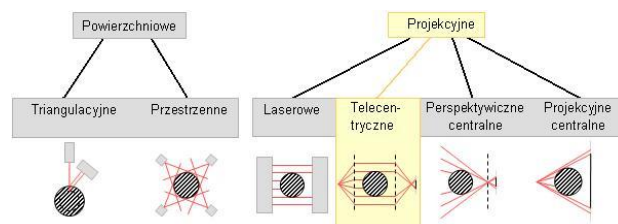
In contemporary length and angle measurements optical techniques play still more and more important role. Their basic benefits are no contact between measuring element of a device and workpiece, as well as significant speed of measurement. In the paper the use of optical measurement system for 100% control of geometrical features of cylinder liners was presented. System was built basing on a device working in projection, telecentric system. Analysis of capability shown full applicability of the system to a measuring task considering both, accuracy of measurement and duration. Measuring procedure was executed in fully automatic cycle, without influence of operator.

**Keywords:** optical measurements, cylinder liner, automation

## 1. Wprowadzenie

We współczesnych pomiarach długości i kąta coraz większą rolę odgrywają techniki optyczne. Ich zalety to brak kontaktu między elementem mierzącym a przedmiotem oraz duża szybkość pomiaru. Dzięki temu urządzenia wykorzystujące pomiary optyczne w najróżniejszych odmiatach są coraz powszechniej stosowane w przemyśle. Wśród nich znajdują się m.in. skanery optyczne [1] i współrzędnościowe optyczne maszyny pomiarowe [2], a nawet przyrządy do pomiaru chropowatości powierzchni jako rozwiąza-

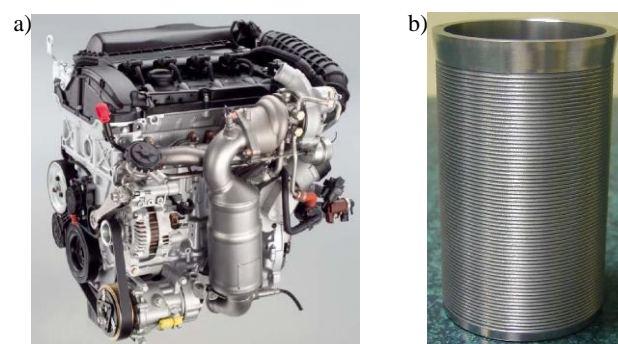
niu przyszłości [3], choć tutaj niektóre rozwiązania nie zawsze sprawdzają się w aplikacjach praktycznych [4, 5]. Wśród technik optycznych stosuje się techniki powierzchniowe (triangulacyjne i przestrzenne) oraz projekcyjne (laserowe, telecentryczne, perspektywiczne centralne i projekcyjne centralne), co pokazano na rys. 1. W artykule opisano wykorzystanie optycznego systemu pomiarowego do szybkiej weryfikacji wymiarów zewnętrznych tulei cylindrowej, przy wymaganiach kontroli 100% wykonanych przedmiotów. System ten jest w swej idei pomiarowej telecentrycznym systemem projekcyjnym. Zadanie pomiarowe zostało zrealizowane w cyklu automatycznym, bez udziału operatora.



Rys. 1. Schematy działania optycznych technik pomiarowych

## 2. Opis zadania pomiarowego

Opisywane zadanie pomiarowe związane było z projektem wprowadzenia na rynek nowego silnika samochodowego. Jest to silnik, którego blok jest wykonany z aluminium a otwory cylindrów są żeliwnymi tulejami cylindrowymi o specjalnym kształcie i właściwościach użytkowych. Odbiorcą silników są dwa koncerny samochodowe: BMW i PSA, a producentem tulei jest firma MAHLE z Krotoszyna, od wielu lat specjalizująca się w wytwarzaniu tego typu przedmiotów. Projekt przewidziany na okres od końca 2005 do 2013 obejmuje 4 typy czterocylindrowych rzędowych silników benzynowych, o pojemności 1,4 i 1,6 dm<sup>3</sup>, przy czym wszystkie silniki mają takie same tuleje. Docelowe roczne zapotrzebowanie na tuleje cylindrowe wynosi 4,5 miliona sztuk, a łączna liczba wyprodukowanych tulei w ramach całego projektu osiągnie 28,5 miliona sztuk. Elementem wyjściowym w procesie wytwarzania tulei jest odlew wielokrotny w formie rury. Po obróbce przedmiot jest automatycznie przekazywany podajnikiem na stanowisko pomiarowe, skąd robot przekazuje go do pakowania. Wygląd przykładowego silnika pokazano na rys. 2a, a tulei cylindrowej – przedmiotu na rysunku 2b.



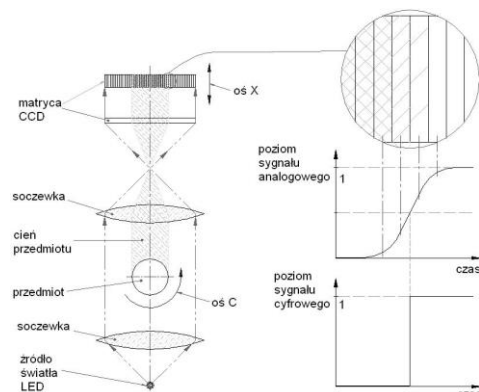
Rys. 2. Zdjęcie przykładowego silnika (a) i tulei cylindrowej (b)

Do zadań optycznego przyrządu kontrolnego należy sprawdzić średnic zewnętrznych, wymiarów długościowych, promieni oraz kąta stożka zewnętrznego, a także parametrów gwintu.

## 3. Stanowisko pomiarowe

Przy rozwiązaniu przedstawionego zadania pomiarowego konieczne stało się stworzenie systemu optycznego, przystosowanego do wykonywania dużej liczby pomiarów w krótkim czasie, zapewniającego przy tym odpowiednią wiarygodność i niezależnienie się od operatora. System ten oparty został o przyrząd Opticline firmy Hommel-Etamic, pomyślany do pomiaru wymiarów zewnętrznych i odchyłek kształtu przedmiotów obrotowo symetrycznych, tradycyjnie wykonywanych na tokarkach lub szlifierniach do wałków [6]. Jest tradycyjnie stosowany w przemyśle motoryzacyjnym, mechanicznym, lotniczym, drukarskim i wielu innych, a wśród przykładowych aplikacji znajdują się: zawory, wałki wirnikowe, wałki zębate, wtryskiwacze, wały turbin, elementy hydrauliki i pneumatyki, wały korbowe czy wałki rozrządu.

Zasada pracy urządzenia polega na zastosowaniu z jednej strony oświetlenia z wydajnym zielonym światłem, a z drugiej strony układu kamer CCD odczytującego położenie cienia (rys.3). Oprogramowanie wewnętrzne posiada zaawansowane algorytmy rozpoznawania półcieni (co w pomiarach optycznych sprawia z reguły największy problem). W trakcie pomiaru kamera wraz z układem oświetlającym przemieszcza się wzdłuż mierzonego przedmiotu skanując jego kształt. Jeżeli mierzone są odchyłki kształtu albo średnica w sposób dynamiczny lub w konkretnym przekroju, to system dodatkowo automatycznie obraca sobie przedmiot. W ten sposób z każdego obrotu możliwe jest uzyskanie średnicy maksymalnej i minimalnej, ich różnicy oraz wartości średniej. Kamera pozwala na osiągnięcie rozdzielczości na poziomie 0,1  $\mu\text{m}$  i powtarzalności pomiarów średnicy lepszej od 0,5  $\mu\text{m}$ .

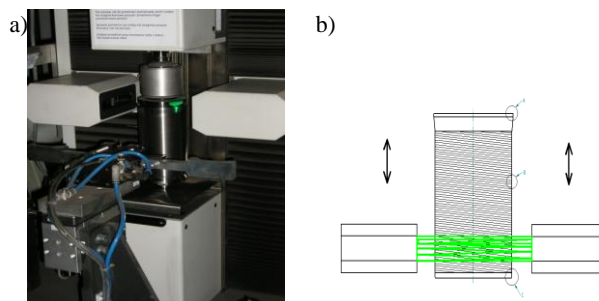


Rys. 3. Zasada działania optycznego przyrządu do pomiaru cech geometrycznych

Biorąc pod uwagę halowe warunki pracy należało również zapewnić wiarygodność pomiarów bez względu na zmieniającą się temperaturę otoczenia. Gradient temperaturowy w ciągu dnia w zależności od pory roku może wynosić kilka do kilkunastu stopni, poza tym należy się liczyć z zupełnie inną temperaturą otoczenia w miesiącach zimowych i letnich. Aby niezależnie się od tego typu zakłóceń w urządzeniu pomiarowym zastosowano unikalną cechę poprawiającą dokładność, polegającą na wbudowaniu własnych wzorców do monitorowania kalibracji. Przed każdym pomiarem system skanuje dyski wzorcowe o znanej średnicy i na podstawie tej informacji oblicza niezbędne współczynniki korekcji temperaturowej, kompensując w ten sposób zmiany termiczne otoczenia. Dzięki takiemu rozwiązaniu zapewniono zatem dokładność urządzenia w trudnych warunkach hali produkcyjnej.

W opisywanym zadaniu Opticline został zabudowany w linii produkcyjnej. Podajnik automatyczny po ostatniej operacji obróbkowej przemieszcza przedmiot na uchwyt pomiarowy. Schemat pomiaru i przedmiot w uchwycie stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 4. Po kilkunastu sekundach podajnik odbiera przedmiot, wykonywane są pomiary wymiarów wewnętrznych, a następnie robot przekazuje go do pakowania. Tak zbudowane stanowisko umożliwiło stuprocentowy pomiar zewnętrznych cech geometrycznych tulei w czasie kilkunastu sekund. Całe stanowisko pomiarowe zabudowane jest w oddzielnym pomieszczeniu.

Urządzenie pomiarowe posiada kurtynę świetlną wyłączającą je w momencie przecięcia wiązki świetlnej.



Rys. 4. Pomiar: a) tuleja w uchwycie przyrządu, b) schemat ideowy

## 4. Wyniki pomiarów

Po wykonaniu pomiaru jego wyniki pokazują się na monitorze. Obok wyników pomiaru pokazywany jest graficzny odnośnik w kształcie paska (rys. 6). Kolor zielony oznacza prawidłowe wymiary. Kolor żółty alarmuje, że wymiary zbliżają się do granicy pola tolerancji. Kolor czerwony choćby jednego wymiaru dyskwalifikuje produkt. Jest on wyrzucany na zewnątrz jako sztuka brakowa. Urządzenie pozwala na pomiary średnic z dokładnością 1  $\mu\text{m}$ , a pomiary długości około 3  $\mu\text{m}$ .

Id	Nazwa	Wymiar nominalny	Wartość zmierzona	Meas. value - Tol.-center	Grafika
1	27 R 1.3	1.3000	1.3113	0.0113	
2	46 R 0.5 O	0.5000	0.4660	-0.0340	
3	45 R 0.5 I	0.5000	0.4760	-0.0240	
4	37 L 1.7	1.7000	1.6687	-0.0313	
5	25 D 84	84.0000	83.9973	-0.0027	
6	49 G 0.5	0.5000	0.4894	0.0194	
7	26 D 81.28	81.2800	81.3101	0.0301	
8	64 L 2.87	2.8700	2.9814	0.1114	
9	20 L 12	12.0000	11.9485	-0.0515	
10	8 L 136.4	136.4000	136.2733	-0.1267	
11	102 L 3	3.0000	3.6199	0.6199	

Rys. 6. Wyniki pomiaru - zrzut z monitora

## 5. Wnioski

W artykule pokazano zastosowanie optycznego systemu pomiarowego do stuprocentowej kontroli cech geometrycznych tulei cylindrycznych. System został zbudowany w oparciu o urządzenie pracujące w systemie projekcyjnym, telecentrycznym. Analiza zdolności wykazała pełną przydatność urządzenia do postawionego zadania, zarówno pod względem dokładności jak i czasu trwania pomiaru.

## 6. Literatura

- [1] Wieczorowski M., Jackson G., *Coordinate measurements of small plastic workpieces*, Zeszyty Naukowe Akademii Techniczno – Humanistycznej w Bielsku Białej, 10, 2004, s. 355-360.
- [2] Wieczorowski M., *Industrial application of optical scanner*, Zeszyty Naukowe Akademii Techniczno – Humanistycznej w Bielsku Białej, 22, 2006, s. 381-390.
- [3] Wieczorowski M., *Future trends of surface morphology analysis*, Metrology and Measurement Systems, IX, 3, 2002, 221-234
- [4] Wieczorowski M., *Optical followers - their fidelity in surface topography measurements*, Strojnicki casopis. Journal of Mechanical Engineering, 1, 2001, s. 39-54.
- [5] Hillmann W., Kunzmann H., *Surface profiles obtained by means of optical methods, are they representations of the real surface?*, Ann.CIRP, 39, 1990, 581-584.
- [6] Wieczorowski M., *Opticline – szybkie i dokładne pomiary elementów obrotowo symetrycznych*, Oberon, 4, 2005, s. 6-7.