

## **OPTYCZNE POMIARY ZARYSÓW POWTARZALNYCH Z WYKORZYSTANIEM TECHNIK PRZETWARZANIA OBRAZU**

**Borys STORCH<sup>\*</sup>, Izabela Wierucka<sup>\*</sup>**

<sup>\*</sup> Zakład Monitorowania Procesów Technologicznych, Wydział Mechaniczny,  
Politechnika Koszalińska, ul. Raławicka 15-17, 75-620 Koszalin

[borys.storch@tu.koszalin.pl](mailto:borys.storch@tu.koszalin.pl), [izabela.wierucka@tu.koszalin.pl](mailto:izabela.wierucka@tu.koszalin.pl)

**Streszczenie:** W niniejszej pracy przedstawiono metodykę pomiaru gwintów oraz monitorowania jakości wymiarowo-kształtowej przedmiotu obrabianego w świetle odbitym i przechodzącym. Wielkości wyznaczone z cyfrowej analizy obrazu wykorzystywane są w ocenie dokładności wykonania, która opisywana jest za pomocą tolerancji. Możliwe jest wyznaczenie parametrów zarysu oraz istotnych parametrów gwintu z określoną dokładnością pomiarową. Zostały zastosowane metody pomiaru na bazie transformaty Fouriera oraz widmowej gęstości mocy, jak również własne opracowane algorytmy.

### **1. WPROWADZENIE**

Rozwój technik przetwarzania obrazu oraz coraz większe zautomatyzowanie procesów produkcyjnych i kontroli jakości pozwala na stosowanie coraz nowszych metod pomiarowych. Jednym z opracowywanych zastosowań jest monitorowanie jakości wymiarowo-kształtowej przedmiotu obrabianego.

Metrologia wielkości geometrycznych to pomiary wymiarów opisujących postać geometryczną mierzonego elementu lub zespołu, pomiary odstępstw od teoretycznego kształtu powierzchni i linii (odchyłki kształtu), pomiary odstępstw od przyjętego wzajemnego położenia wyodrębnionych linii i powierzchni (odchyłka położenia), pomiary ilościowe struktury geometrycznej powierzchni (chropowatość i falistość powierzchni) oraz pomiary wymiarów wad struktury geometrycznej powierzchni (pęknięcia, rysy, wżery, plamy, itd.). Do pomiarów wielkości geometrycznych stosuje się przyrządy pomiarowe w skład, których wchodzi przyrządy suwmiarkowe, przyrządy mikrometryczne, czujniki, maszyny pomiarowe, przyrządy do pomiarów kątów, interferometry, przyrządy do pomiaru chropowatości i falistości powierzchni (profilografometry), przyrządy do pomiarów odchyłek kształtu i położenia (kształtografy), przyrządy do pomiaru kół zębatach oraz inne przyrządy pomiarowe (Adamczak, Makiela 2000, Białas 1999, Humienny 2004).

Pomiary gwintów zewnętrznych i wewnętrznych, walcowych oraz stożkowych, które są przedmiotem badań autorów, można przeprowadzić na mikroskopie pomiarowym, metodą trójwałeczkową lub na współrzędnościowej maszynie pomiarowej (Malinowski, Jakubiec 1996). Zastosowanie sond optyczno-dotykowych we współrzędnościowych maszynach pomiarowych umożliwia pomiary z dokładnością rzędu 0,35  $\mu\text{m}$  (Ratajczak 1994).

W optycznych metodach pomiarów wymiarów i kształtów dokonywane są pomiary kształtu obiektów trójwymiarowych (pomiary objętościowe) bazujące na cyfrowych projektorach światła i sprzęcie komputerowym, badania mikroelementów przy pomocy optycznych systemów pomiarowych interferometrii siatkowej, optycznych systemów ekstensometrów warsztatowych, układów elektronicznej interferometrii plamkowej, a także badania mikrostruktury obiektów trójwymiarowych interferometrią heterodynową (Kujawińska 2001).

Metrologiczne wykorzystanie metod wizyjnych do pomiaru wielkości geometrycznych wyrobów w procesie produkcji umożliwia realizację zdalnego i szybkiego pomiaru. Pozwala to na wyeliminowanie wielu niedogodnień metod dotykowych (Demant i in. 1999).

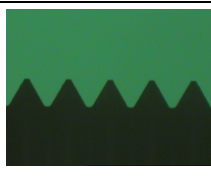
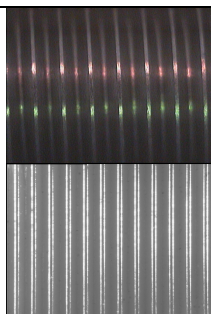
Pomiar optyczny wielkości geometrycznych gwintu powinien łączyć w sobie oczekiwanie dokładności porównywalnej z dotykowymi technikami pomiaru metodą trójwałeczkową, mikroskopową oraz na CMM współrzędnościowych maszynach pomiarowych (Ratajczak 1994). Dodatkowo, pomiar wymiarów w jednym, losowo wybranym przekroju, budzi wątpliwości wszystkich, którzy zajmują się metodyką pomiaru gwintu. Rozwiązaniem jest metoda statystycznej oceny poprawności wykonania gwintu na całej jego długości. Dotychczas stosowane metody pomiaru gwintów niosą z sobą również ogromny niedostatek, jeśli chodzi o trójwymiarowy pomiar gwintu. Polega to na tym, że w wymienionych powyżej metodach pomiaru, odczytuje się umowne wielkości dla gwintów, ale tylko w jednej tworzącej. Wynik jest uśredniany i odczytywany z dość dużą tolerancją. Techniki komputerowe umożliwiają przeprowadzenie tego pomiaru w układzie obwodowym z odczytem dla dowolnej liczby przekrojów gwintu.

Do monitorowania wielkości geometrycznych proponowana jest identyfikacja obrazów cyfrowych gwintu

z wykorzystaniem metod przetwarzania obrazów. Przyjęto, że pomiary wykonywane będą w świetle odbitym i przechodzącym przy optymalizacji parametrów źródła światła. W przypadku tych badań kwalifikacji podlega tylko część gwintowana śruby (wymiary i geometria zarysu gwintu).

Z definicji niskiego poziomu wizji wynika, że dla rozpoznania elementów nie jest potrzebna dodatkowa wiedza ani oprogramowanie. Wystarcza jedynie wyróżnić metodami segmentacji krawędź obiektu. Wysoki poziom wizji dotyczy pozyskiwania dodatkowej wiedzy o oglądanych elementach, rozumienia przez system rzutów w przestrzeni trójwymiarowej, wykorzystania do zagadnienia metrologii itp. (Woźnicki 1996). Analiza omówionych zastosowań pozwoliła na pewne uogólnienie problemów możliwych do rozwiązania, które zestawiono w tabeli 1.

**Tab. 1.** Charakterystyka zagadnienia badawczego

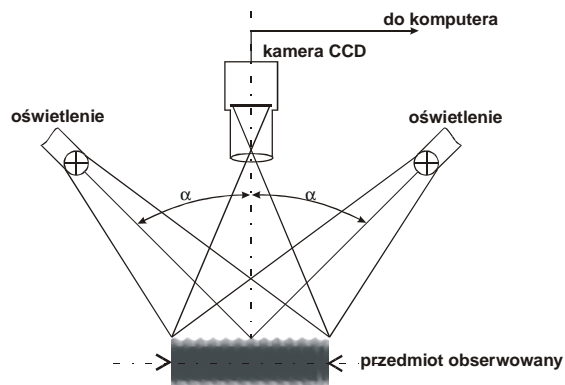
Objekt badań o kształcie regularnym powtarzalnym (np. gwint, koło zębate)		
W świetle przechodzącym	Skok gwintu, średnica podziałowa, średnica wewnętrzna i zewnętrzna, kąt gwintu, wielkość występu i bruzdy gwintu	
W świetle odbitym (światło halogenowe, diody LED)	Skok gwintu, skok gwintu na replice z duracrylu w miejscach trudno dostępnych do pomiaru, np. nakrętki	

## 2. METODA POMIAROWA

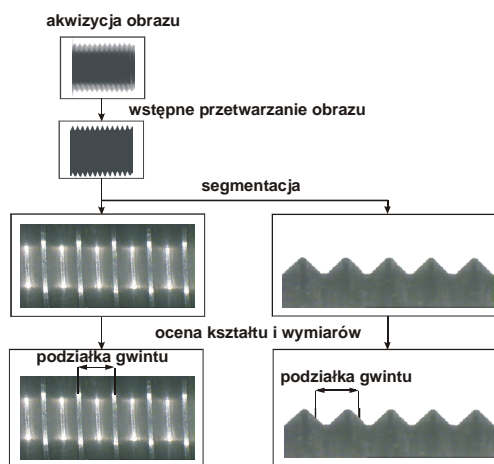
Kontrola geometrii wytwarzanego przedmiotu jest przede wszystkim kontrolą powykonawczą w czasie, której mierzona jest określona liczba cech, jedna po drugiej lub w kilku etapach produkcji. Produkcja i kontrola mogą być prowadzone równolegle, zatem kontrola jakości staje się częścią składową procesu produkcji (Borzykowski 2004).

Do pomiarów parametrów gwintu zaproponowano algorytm, który dla oświetlenia przedmiotu obrabianego światłem przechodzącym (lub odbitym) wykorzystuje przetwarzanie obrazu 2D celem określenia jego dokładności wymiarowo-kształtowej. Na dokładność metody pomiarowej wpływają: rozdzielczość pozyskanego obrazu, metoda wstępnej obróbki danych, metoda segmentacji oraz dobór klasyfikatora zdolnego podać klasę dokładności wykonania.

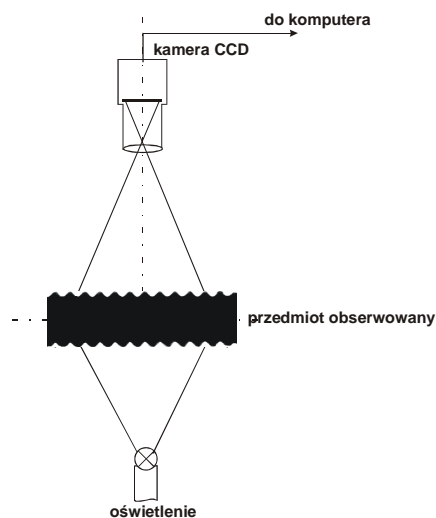
Na rysunkach 1 i 3 zaprezentowano schemat układu oświetleniowego, natomiast na rysunkach 2 i 4 metodykę pomiarową.



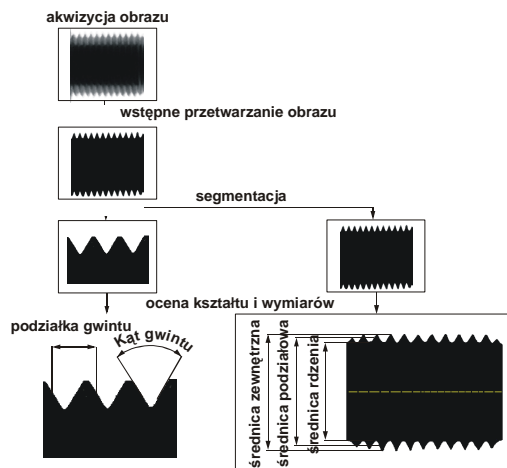
**Rys. 1.** Schemat układu oświetleniowego gwintu w świetle odbitym (Storch i Wierucka 2006)



**Rys. 2.** Metodyka pomiaru zarysów gwintu w świetle odbitym (Storch i Wierucka 2006)



**Rys. 3.** Schemat układu oświetleniowego gwintu w świetle przechodzącym (Storch i Wierucka 2006)



Rys. 4. Metodyka pomiaru zarysów gwintu w świetle przechodzącym (Storch, Wierucka 2006)

Wygenerowany w układzie wizyjnym obraz cyfrowy przetwarzany jest metodami przetwarzania sygnałów obrazowych w celu wyznaczenia charakterystyk pomiarowych. Zastosowane metody filtracji spłotowych i statystycznych poprawiają jego jakość, usuwają szumy i zakłócenia. Następnie wydzielany jest przedmiot obrabiany, w tym przypadku gwint, różnymi metodami segmentacji obrazu. Przy dobrej jakości obrazu wejściowego najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie segmentacji przez progowanie (Tadeusiewicz 1997).

W pracy proponuje się własny algorytm segmentacji oparty na metodzie obliczania punktu środka ciężkości zarysu gwintu opracowany w programie MATLAB. Obraz po segmentacji filtrowany jest filtrami krawędziowymi. Idealna krawędź rozpatrywana jest jako funkcja skoku jednostkowego określona w dziedzinie przestrzeni. W rzeczywistości obraz krawędzi otrzymany w systemie optycznym jest zniekształcony przez aberracje soczewek oraz zjawisko rozproszenia. Zjawiska te są odpowiedzialne za zniekształcenia geometryczne obrazu, jak i za efekty rozmycia krawędzi obiektów. W przypadku pomiaru położenia krawędzi efekt rozmycia krawędzi obiektów ma znaczący wpływ na dokładność pomiaru i jest uwzględniany w modelu matematycznym krawędzi.

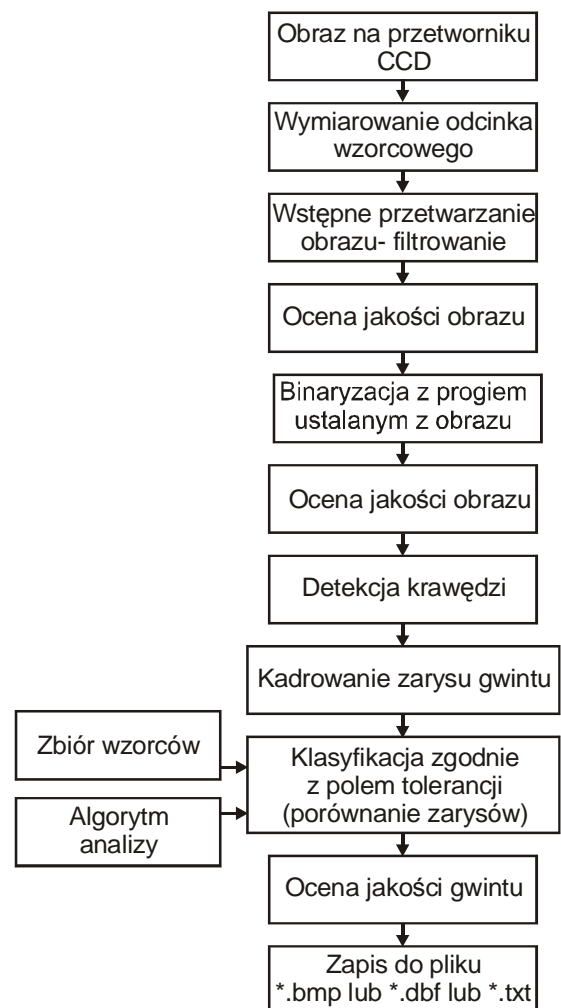
W wyniku tych przekształceń uzyskiwany jest obraz zarysu gwintu. Powstały w ten sposób obraz porównywany jest z zarysem wzorcowym w celu jego oceny i wyznaczenia klasy dokładności gwintu przy uwzględnieniu pól tolerancji.

### 3. ALGORYTM KLASYFIKOWANIA ZARYSU GWINTU

Klasyfikacja zarysu gwintu oznacza tworzenie mapy klasyfikacji obrazu wejściowego, gdzie każdy obszar identyfikowany jest z klasą zarysu, do której należy. Klasyfikator składa się z algorytmów wyznaczających zależne komponenty sygnału, z mechanizmu do przetwarzania tych komponentów i z mechanizmu dyskryminacji do klasyfikowania na bazie tych informacji (Kurzyński 1997), jak przedstawiono na rysunku 5.

Procedura przetwarzania obrazów do określenia parametrów gwintu składa się z dwóch etapów:

1. Etap ustalania wartości klasyfikatora (KWALIFIKACJA GWINTU)
  - wstępna obróbka obrazu gwintu,
  - zastosowanie segmentacji do wydzielenia obiektów na obrazie proponowaną metodą obliczania punktu środka ciężkości zarysu gwintu,
  - wyznaczenie charakterystyk geometrycznych gwintu z wyznaczeniem skoku gwintu, wysokości zęba, długości podstawy gwintu, górnej podstawy oraz kąta z pomocą funkcji autokorelacji, widmowej gęstości mocy oraz transformaty Fouriera,
  - synteza klasyfikatora wyznaczającego klasę wykonania gwintu.
2. Etap klasyfikowania gwintu (KLASYFIKACJA GWINTU).
  - wyznaczenie według zoptymalizowanej strategii pomiarów charakterystyk pomiarowych gwintu wraz z dokładnością wykonania,
  - wyznaczenie klasy dokładności gwintu przy uwzględnieniu pól tolerancji.



Rys. 5. Algorytm kwalifikacji i klasyfikacji zarysów gwintu

Kwalifikację gwintu przeprowadzano przez porównanie rzeczywistych zarejestrowanych zarysów z ich wzorcami z PN-83/M-02113, które podane są w postaci funkcji dyskretnej jednej zmiennej. Klasyfikacja następuje od zadanej przez operatora górnej

i dolnej odchyłki średnic gwintu zewnętrznego lub od wyboru skojarzonych z nimi pól tolerancji. Porównanie zarysów odbywa się dwuetapowo. Najpierw porównuje się zarysy: rzeczywisty min-mat i wzorcowy (z podaniem górnej odchyłki średnicy gwintu zewnętrznego). Zarys min-mat jest to geometrycznie idealny zarys gwintu odpowiadający najmniejszej możliwej ilości materiału gwintu. Zarys min-mat odpowiada dolnym wymiarom średnic gwintu zewnętrznego i górnym wymiarom średnic gwintu wewnętrznego. Wynik porównania TRUE, powoduje przejście do porównania zarysów max-mat i wzorcowego (z podaniem dolnej odchyłki średnicy gwintu zewnętrznego), natomiast FALSE - kończy obliczenia z wynikiem negatywnym dla tej zadanej klasy tolerancji. Zarys max-mat jest to geometrycznie idealny zarys gwintu odpowiadający największej możliwej ilości materiału gwintu. Zarys max-mat odpowiada górnym wymiarom średnic gwintu zewnętrznego i dolnym wymiarom średnic gwintu wewnętrznego. Operację powtarza się dla następnej klasy tolerancji. Gwint (a dokładniej oba jego zarysy rzeczywiste) jest zaakceptowany po pomyślnym przejściu obu etapów testu. Zasadą jest, że zarys rzeczywisty min-mat nie mógł nigdzie przeciąć zarysu wzorcowego min-mat, a zarys rzeczywisty max-mat - przeciąć zarysu wzorcowego max-mat.

Odpowiedzią klasyfikatora jest decyzja, czy gwinty jest DOBRY (TRUE) czy ZŁY (FALSE), czyli czy mieści się on w zadanej klasie dokładności oraz zapis odpowiedzi jakościowej oraz ilościowej do bazy danych.

#### 4. PODSUMOWANIE

Wielkości wyznaczone z cyfrowej analizy obrazu zarysów powtarzalnych można wykorzystać w ocenie dokładności wykonania, która opisywana jest za pomocą tolerancji. System monitorowania jakości wykonania gwintu, opisany w artykule, przetestowano zarówno na obrabiarce, jak też wykorzystano w dziale kontroli jakości wyrobu do oznaczania jakości wykonania gwintu.

Istotnym zagadnieniem w obu przypadkach było dążenie do ograniczenia liczby niezbędnych pomiarów, a także czasu ich trwania. W dalszych badaniach przewiduje się automatyzację stanowiska do akwizycji obrazu.

#### LITERATURA

1. **Adamczak A., Makiela W.** (2000), Monitorowanie i sterowanie procesem z wykorzystaniem współrzędnościowej techniki pomiarowej. Metrologia w Systemach Jakości, Kielce.
2. **Białas S.** (1999), Metrologia techniczna z podstawami tolerowania wielkości geometrycznych dla mechaników. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
3. **Humienny Z.** (2004), Specyfikacja geometrii wyrobów. WNT, Warszawa.
4. **Malinowski J., Jakubiec W.** (1996), Metrologia wielkości geometrycznych, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa.
5. **Ratajczyk E.** (1994), Współrzędnościowa technika pomiarowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
6. **Kujawińska M.** (2001), Rozwój technik fonicznych. Komputerowo wspomagane optyczne systemy pomiarowe. PAK nr 13.
7. **Demant Ch., Streicher-Abel B., Waszkewitz P.** (1999), Industrial Image Processing. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.
8. **Woźnicki J.** (1996), Podstawowe techniki przetwarzania obrazu. Wydawnictwo Łączności i Telekomunikacji, Warszawa.
9. **Borzykowski J.** (2004), Współczesna metrologia. WNT, Warszawa.
10. **Storch B., Wierucka I.** (2006), Optyczne pomiary zarysów powtarzalnych z wykorzystaniem technik przetwarzania obrazu w świetle odbitym i przechodzącym. V Sympozjum Naukowe, Techniki Przetwarzania Obrazu TPO, ISBN 82-7207-664-2.
11. **Tadeusiewicz R.** (1997), Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów. Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków.
12. **Kurzyński M.** (1997), Rozpoznawanie obiektów. Metody statystyczne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
13. Norma PN-83/M-02113 (Gwinty metryczne - tolerancje)

#### OPTICAL MEASUREMENTS OF REPEATABLE CONTOURS USING THE IMAGE PROCESSING TECHNIQUES

**Abstract:** Currently, many methods are used to determine the functional parameters of the objects with repeatable contours (e.g. thread parameters). The author tested the thread parameters measured in the reflected and passing light through optimization of the light source parameters. To perform 2D optical measurement of the thread with use of a microscope and CCD camera, various measuring methods were developed. The tested surface points of the object are optically registered and their data are transmitted to a PC and relevant functional object parameters are calculated using specially designed algorithms of image processing. Various algorithms shown in the block scheme were applied for image evaluation. It is possible to determine the contour parameters as well as important thread parameters with specific measurement accuracy. The methods based on the Fourier Transform as well as on the Spectral Power Density were applied, but the authors developed also some own methods.