

Michał Wieczorowski, Piotr Znaniecki <sup>1)</sup>

## ROBOTYZACJA POMIARÓW WYKONYWANYCH SKANEREM OPTYCZNYM

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono wykorzystanie robotyzacji w automatyzacji pomiarów przeprowadzanych za pomocą skanerów optycznych. Umożliwia ona obniżenie kosztów wykonywania pomiarów dzięki skróceniu czasu ich wykonywania. Zbierane informacje o kształcie powierzchni badanych przedmiotów pozwalają na ich późniejsze wykorzystywanie do analizy jakości produkowanych elementów. Automatyzacja procesu pomiaru z wykorzystaniem robota przemysłowego umożliwia wyeliminowanie błędów przypadkowych popełnianych przez obsługujących go pracowników. Sposób przeprowadzania pomiarów jest niewrażliwy na błędy pozycjonowania manipulatora, co wynika z lokalizowania poszczególnych pomiarów za pomocą punktów referencyjnych, a nie pozycji skanera względem badanej części.

**Słowa kluczowe:** skaner optyczny, robotyzacja, prąжки, optymalizacja, pomiary.

### WSTĘP

Konieczność zapewnienia wydajnego procesu kontroli jest obecnie niezbędna w każdym nowoczesnym przedsiębiorstwie produkcyjnym, a eliminacja czynnika ludzkiego jest pożądanym kierunkiem prac badawczo-rozwojowych [1]. Skanery optyczne są silnie rozwijającą się gałęzią współrzędnościowej techniki pomiarowej. Technologia ta wykorzystywana jest w przemyśle w inżynierii odwrotnej, w zastosowaniach analizy i kontroli jakości [2]. W przypadku wykonywania pomiarów manualnie, istnieje niebezpieczeństwo popełnienia dodatkowego błędu wynikającego z zawodności czynnika ludzkiego.

### PODSTAWY TEORETYCZNE

Opisywany system pomiarowy bazuje na zasadzie triangulacji [3]: głowica dokonuje projekcji prążków na obiekt mierzony, a skaner obserwuje ich przebieg dwoma kamerami. Jednostka przetwarzająca automatycznie oblicza współrzędne 3D dla każdego piksela kamery. Zależnie od rozdzielczości kamery, wynikiem pojedynczego pomiaru jest większa lub mniejsza chmura punktów. Znaczniki umieszczone na przedmiocie lub na jego otoczeniu służą skanerowi jako punkty referencyjne. Po dopasowaniu obliczane są odchyłki wszystkich pojedynczych punktów pomiarowych w odniesieniu do zarysu nominalnego. Odchyłki te mogą

---

<sup>1</sup> Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych.

być wizualizowane jako kolorowy wykres, przydatny do analizy przedmiotu w czasie kontroli pierwszej sztuki i do pomiarów w trakcie produkcji, jak również do sprawdzania procesu [4].

## KONCEPCJA AUTOMATYZACJI POMIARÓW OPTYCZNYCH

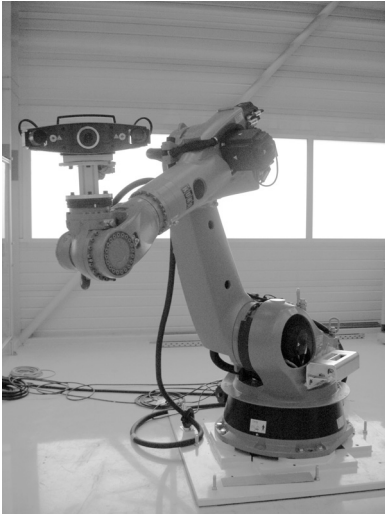
Pomysłem, który został zrealizowany, było wykorzystanie robota przemysłowego do automatyzacji procesu pomiarowego wykonywanego przy użyciu skanera optycznego. W trakcie prac koncepcyjnych przygotowano plan wykorzystania stacji pomiarowej do prowadzenia badań w sposób powtarzalny, umożliwiający w dłuższej perspektywie wykorzystanie opracowanego rozwiązania do seryjnej kontroli jakości w wielu gałęziach przemysłu.

Wybór parametrów urządzeń podyktowany był dostępnymi rozwiązaniami umożliwiającymi wykonanie stawianych przed nimi zadań. Ponadto wykorzystano dostępną powierzchnię laboratoryjną i sprawdzone rozwiązania techniczne w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa obsłudze pracującej w strefie niebezpiecznej. Takie planowanie prac projektowych przy wdrażaniu koncepcji w warunkach przemysłowych ma szereg zalet, a mianowicie: obniżenie kosztów opracowania dokumentacji technicznej, możliwość przetestowania rozwiązania w oparciu o dostępne komponenty, jeśli występują w magazynach działów technicznych, obniżenie kosztów uruchomienia podzespołów dzięki doświadczeniu pracowników służb utrzymania ruchu, obniżenie kosztów szkoleń specjalistycznych, zapewnienie dostępności części zamiennych, przewidzianych wcześniej do wykorzystania w innych urządzeniach.

Rozwiązanie oparte na połączeniu sześciooosiowego manipulatora ze stołem obrotowym, na którym mocuje się badany obiekt, wydaje się najbardziej korzystnym z punktu widzenia optymalizacji projektu, ponieważ umożliwia badanie przedmiotów przestrzennych o znacznych gabarytach. Części pojedyncze, wyprodukowane na przykład przy pomocy tłoczenia blachy, można badać poprzez skanowanie powierzchni z jednej strony. Jednak badając złożenia wielu części pojedynczych zmuszeni jesteśmy skanować powierzchnię z każdej strony zespołu. Mocując taki złożony przedmiot na stole obrotowym otrzymujemy dostęp do wielu powierzchni, jeśli tylko nie są przesłonięte przez przyrząd pomocniczy ustalający ich pozycję. Koncepcja ta skraca pomiar o czas potrzebny na zmianę pozycji ocenianego elementu oraz umożliwia pełną automatyzację procesu pomiaru.

## ZAUTOMATYZOWANA STACJA POMIARÓW OPTYCZNYCH

Przetestowane rozwiązanie techniczne bazuje na sześcioościowym robocie przemysłowym marki KUKA (rys. 1) i optycznym skanerze pomiarowym ATOS II firmy GOM mbH (rys.2).



**Rys. 1.** Robot przemysłowy z optycznym skanerem pomiarowym



**Rys. 2.** Adapter mocujący skaner optyczny na ramieniu robota

Przygotowano i sprawdzono poprawność rozwiązań dodatkowych elementów zestawu, takich jak mocowanie manipulatora do podłoża, adapter mocujący skaner optyczny na ramieniu robota, uniwersalny przyrząd ustalający położenie badanych części w przestrzeni pracy robota.

W celu zwiększenia zakresu badań poprzez możliwie najszerszy dostęp do badanych powierzchni, do sterowania systemem zaprojektowano i wykonano dedykowany stół obrotowy, na którym ustawiane są kontrolowane przedmioty. Aby ułatwić podłączenie i sterowanie dodatkową osią systemu, zastosowano identyczny napęd, jak wykorzystywany w robocie przemysłowym. Takie rozwiązanie skraca czas potrzebny na uruchomienie tej części systemu pomiarowego, ułatwiając ponadto dostęp do części zamiennych w przypadku wystąpienia awarii, bez konieczności gromadzenia dodatkowych kosztownych części zamiennych, zarówno mechanicznych, jak i elektrotechnicznych. Zastosowane rozwiązania techniczne zostały przetestowane w próbnym badaniu części wykonanych z blach tłoczonych. Zaowocowało to wprowadzeniem wielu ulepszeń i modyfikacji. Badania potwierdziły ponadto przydatność stacji pomiarowej zarówno do analiz laboratoryjnych, jak i masowych pomiarów przemysłowych. Sposób przeprowadzania pomiarów przez skaner ATOS jest niewrażliwy na błędy pozycjonowania manipulatora, co wynika z lokalizowania poszczególnych pomiarów za pomocą punktów referencyjnych, a nie pozycji skanera względem badanej części. Umożliwia to w praktyce przemysłowej wykorzystanie używanego i częściowo wyeksploatowanego manipulatora, jeśli taki jest do dyspozycji, a także prowadzenie badań i testów przed podjęciem decyzji o realizacji inwestycji.

Jak już wspomniano, punkty referencyjne umożliwiają zlokalizowanie na części pomiarowej pozycji zeskanowanego fragmentu powierzchni. W trakcie prac

konceptyjnych podjęto próbę wyeliminowania konieczności naklejania punktów referencyjnych na powierzchniach badanych części w celu skrócenia czasu przygotowywania części do pomiaru oraz ich późniejszego oczyszczania. W tym celu rozmieszczono te punkty wokół mierzonej części, bezpośrednio na przyrządzie pomiarowym. Po wprowadzeniu pozycji punktów referencyjnych do oprogramowania pomiarowego trzeba tak zaprojektować przebieg badania, by w każdym zebrany obrazie były widoczne co najmniej trzy takie punkty. W trakcie testów okazało się, że w rozwiązaniu tym jedynym ograniczeniem jest wielkość pola pomiarowego skanera. Jeśli zatem posiadana wielkość pola pomiarowego umożliwia jednoczesne pokrycie pola części mierzonej i zebranie punktów referencyjnych, to otrzymujemy możliwość wymiany części w przyrządzie mocującym bez konieczności naklejania dodatkowych markerów na powierzchni.

Przystępując do pracy ze skanerem optycznym, jeśli sytuacja tego wymaga, pracownik obsługujący przeprowadza proces kalibracji: w przypadku skanera ATOS II przy pomocy krzyża, a w przypadku skanera ATOS III przy użyciu tablicy kalibracyjnej. Bez względu na rodzaj stosowanego wzorca jest to proces wymagający od operatora pewnego doświadczenia, a także czasu na jego wykonanie. W testowanej stacji zrobotyzowanej udało się ten proces w pełni zautomatyzować. Obsługujący urządzenie wywołuje jedynie zapisany wcześniej program pomiarowy, następnie manipulator ustawia skaner przed wzorcem i proces kalibracji przebiega automatycznie we wszystkich wymaganych pozycjach.



**Rys. 3.** Krzyż do kalibracji skanera optycznego

W trakcie prac projektowych oraz testowania zastosowanych koncepcji i znajdowania rozwiązań napotykanymi trudnościami powstała odpowiednia dokumentacja techniczna. Środków finansowych i czasu zainwestowanego w jej wytworzenie nie można uznać za stratę w chwili uruchomienia stacji pomiarowej. Dokumentacja umożliwia bowiem powielenie części bądź całości urządzenia kontrolno-pomiarowego, znacznie obniżając koszty kolejnych wdrożeń. Nie bez znaczenia są również doświadczenia praktyczne zebrane przez personel wdrażający

pierwszą stacją pomiarową. Pozwalają one przeprowadzić kolejne uruchomienia szybciej i ze zmniejszoną liczbą błędów - warto uczyć się na błędach popełnionych przez innych.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa pracownikom obsługującym nowy system pomiarowy, zaprojektowano i wykonano wygrodzenie części hali pomiarowej zabezpieczające przed przebywaniem osób w strefie pracy manipulatora w trakcie jego działania. Zastosowane ograniczenie dostępu wraz z zabezpieczeniami elektrotechnicznymi i elektronicznymi stanowi gotowy do powielenia projekt zabezpieczający strefę niebezpieczną zgodną z przepisami prawa. Przy projektowaniu zwrócono również uwagę na łatwość dostępu do obszaru robota i wygodę jego użytkowania.

Opracowanie koncepcji uniwersalnego przyrządu pomiarowego najkorzystniej jest przeprowadzić przy pomocy oprogramowania CAD. Producenci elementów do konstruowania tego typu konstrukcji coraz chętniej udostępniają bazy danych pojedynczych elementów. Umożliwia to przygotowanie kilku koncepcji rozwiązań i wybór najkorzystniejszego ze względu na przyjęte kryterium oceny. Wspomagane komputerowo projektowanie mocowań umożliwia ponadto wygodną edycję gotowego projektu, gdyby konieczne były poprawki, których nie udało się zidentyfikować w trakcie opracowywania dokumentacji.

Optyczna współrzędnościowa technika pomiarowa w wielu przypadkach jest jedynym rozwiązaniem umożliwiającym przeprowadzanie stuprocentowej kontroli jakości części, często bezpośrednio na stanowiskach produkcyjnych. Dzięki manipulatorowi, jakim jest robot przemysłowy, możliwe jest wkomponowanie procesu pomiaru bezpośrednio do procesów produkcyjnych. Takie rozwiązanie umożliwia zmniejszenie ilości produktów nie spełniających kryteriów wymiarowych poprzez natychmiastową informację o problemie w procesie wytwarzania.

## **ZALETY ZROBOTYZOWANYCH STACJI POMIAROWYCH**

Wykorzystanie skanerów optycznych do kontroli jakości produkcji ma ogromną zaletę w postaci możliwości archiwizowania informacji o kształcie przedmiotu do późniejszych analiz. W przypadku zastosowania stykowych współrzędnościowych maszyn pomiarowych, po przeprowadzeniu badania zawierającego określoną ilość zmierzonych cech geometrycznych, nie ma możliwości przeprowadzenia dodatkowej analizy, jeśli zebrane punkty pomiarowe nie zawierają potrzebnych informacji. W przypadku archiwizowania zeskanowanych obrazów całych części, w razie potrzeby można z nich uzyskać dodatkowe informacje, które wcześniej nie były niezbędne.

Automatyzacja procesu pomiaru z wykorzystaniem robota przemysłowego umożliwia wyeliminowanie błędów przypadkowych popełnianych przez obsługujących go pracowników. Zapis przebiegu pomiaru i jego cykliczne wykonywanie zabezpiecza zaś jakość otrzymywanych informacji. Ponadto umożliwia przeprowadzanie pomiarów przez osoby o niższych kwalifikacjach zawodowych. Jeśli

przebieg badania zostanie zaprojektowany i przetestowany przez doświadczonego specjalistę, czynności uruchamiania pomiaru i zmiany mierzonych elementów mogą być w sposób niezawodny i bezpieczny wykonywane przez osoby przeszkolone w podstawowym zakresie. Zapisywanie informacji pomiarowych i ich wstępna ocena mogą być w pełni zautomatyzowane i nie wymagają obsługi personelu. Dzięki temu, dla realizacji procesów nadzoru nad produkcją można ponieść niższe nakłady finansowe na wyszkolenie pracowników, z których tylko część musi posiadać wysokie kwalifikacje zawodowe.

Zautomatyzowany optyczny system pomiarowy swoje najkorzystniejsze zastosowanie znajduje w badaniach części o powtarzalnym przebiegu pomiarowym. W celu umożliwienia przeprowadzania pomiarów serii części należy przystosować stanowisko poprzez wyposażenie go w przyrząd mocujący badane elementy oraz odpowiednie zaprojektowanie przebiegu pomiaru w zastosowanym oprogramowaniu. Zastosowanie zrobotyzowanej stacji pomiarowej do przeprowadzania powtarzalnych procesów pomiaru skraca średni czas jednostkowy badania. Częste zmiany programów oraz tworzenie nowych programów to czynności czasochłonne. Przebieranie stacji pomiarowej pod zmieniające się przedmioty jest kolejnym procesem uniemożliwiającym skuteczne wykorzystanie dostępności urządzenia. Taka sytuacja powoduje wzrost realnych kosztów usługi pomiaru. Przy przeprowadzaniu pomiarów serii elementów wykorzystujących to samo oprzyrządowanie pomocnicze, przestoje urządzenia są powodowane jedynie przez wymianę badanych części.

## WNIOSKI

Badania przeprowadzone przy pomocy zrobotyzowanej stacji pomiarowej wykazały zalety rozwijającej się metody pomiarów, jaką jest technika bezstykowa, bazująca na wykorzystaniu źródła światła wyświetlającego na mierzonej powierzchni prążki. Badania potwierdziły ponadto przydatność stacji pomiarowej zarówno do analiz laboratoryjnych, jak i masowych pomiarów przemysłowych. Sposób przeprowadzania pomiarów jest niewrażliwy na błędy pozycjonowania manipulatora, co wynika z lokalizowania poszczególnych pomiarów za pomocą punktów referencyjnych, a nie pozycji skanera względem badanej części.

Wykorzystanie skanerów optycznych do kontroli jakości produkcji ma ogromną zaletę w postaci możliwości archiwizowania informacji o kształcie przedmiotów do późniejszych analiz.

Automatyzacja procesu pomiaru z wykorzystaniem robota przemysłowego umożliwia wyeliminowanie błędów przypadkowych popełnianych przez obsługujących go pracowników.

Dzięki temu mogą ją obsługiwać pracownicy przeszkoleni w stopniu podstawowym. Optymalizuje to koszty ponoszone na wyszkolenie pracowników, z których tylko część musi posiadać wysokie kwalifikacje zawodowe niezbędne do zaprogramowania stacji pomiarowej.

## PIŚMIENNICTWO

1. Wieczorowski M., Koterak R., Grzelka M., Gapiński B., Znaniecki P., Krasicki P., Radke M.: Automation of measurements using optical scanner / Możliwości automatyzacji pomiarów z zastosowaniem skanera optycznego. Book of Abstracts III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Manufacturing 2010 Współczesne problemy wytwarzania i zarządzania produkcją 24 – 26.11.2010, Poznań, Polska. s. 201-202.
2. Wieczorowski M.: Industrial application of optical scanner. Zeszyty Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsko Białej, 22, 2006, s. 381-390.
3. Galanulis K., Reich C., Thesing J., Winter D.: Optical Digitizing by ATOS for Press Parts and Tools. Publikacja wewnętrzna GOM, Braunschweig, 2005.
4. Wieczorowski M., Koterak R., Znaniecki P.: Wykorzystanie skanera optycznego w kontroli jakości karoserii samochodu, PAK, vol. 56, nr 1/2010 s. 40-41.

## ROBOTIZATION OF MEASUREMENTS WITH AN OPTICAL SENSOR

### Summary

In the paper use of robotization in the automation of measurements with optical scanners has been presented. It makes reduction of costs possible thanks to shortening of the time needed to perform the measurements. Captured data of the shape of examined surfaces may later be used for evaluating the quality of manufactured components. The automation of the measuring process employing an industrial robot makes it possible to eliminate random errors caused by the operators. The method of performing the measurements is insensitive to positioning errors of the manipulator because all individual measurements (scans) are located by the reference points and not by the position of the scanner in relation to the examined part.

**Keywords:** optical scanner, robotization, stripes, optimisation, measuring.