

**Marcin SIDZINA, Ireneusz WRÓBEL**

AKADEMIA TECHNICZNO-HUMANISTYCZNA W BIELSKU-BIAŁEJ, KATEDRA PODSTAW BUDOWY MASZYN

## Wykorzystanie robota przemysłowego do precyzyjnego skanowania tłoczników

Dr inż. Marcin SIDZINA

Absolwent Wydziału Automatyki Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Od 2004 roku zatrudniony w Katedrze Podstaw Budowy Maszyn na stanowisku naukowo-dydaktycznym. Pracę doktorską obronił na Wydziale Automatyki Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach w 2008 r. W pracy zawodowej zajmuje się analizą rozproszonych systemów sterowania czasu rzeczywistego. Interesuje się programowaniem w szczególności sterowników PLC oraz robotów przemysłowych.

e-mail: msidzina@ath.bielsko.pl



Dr inż. Ireneusz WRÓBEL

Absolwent Wydziału Budowy Maszyn Filii Politechniki Łódzkiej w Bielsku-Białej. Od 1995 roku zatrudniony w Katedrze Podstaw Budowy Maszyn. Pracę doktorską obronił na Wydziale Budowy Maszyn Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej w 2002 roku. W swojej pracy zawodowej zajmuje się modelowaniem Metodą Elementów Skończonych, systemami komputerowego wspomagania CAD oraz technikami inżynierii odwrotnej.

e-mail: iwrobel@ath.bielsko.pl



### Streszczenie

W ramach niniejszej pracy przedstawiono układ skanujący w skład którego wchodził robot przemysłowy oraz urządzenie do skanowania powierzchni narzędzi – tłoczników. Do tego celu zastosowano robot przemysłowy FANUC LR Mate 100iB oraz skaner laserowy Optix firmy 3ddigital Corp.

**Słowa kluczowe:** inżynieria odwrotna, tłocznik, skanowanie, sterowanie robotem przemysłowym, inne zastosowania robotów.

### Use of an industrial robot for precise scanning of dies

#### Abstract

The paper presents a scanning system consisting of an industrial robot and a laser scanner. The system was built to scan working surfaces of dies. In order to build a CAD die model, three-dimensional scanning of an object must be performed. For a small dimension die, scanning does not cause many difficulties. A problem appears when the die has bigger dimensions i.e. of over 80cm. Big objects should be scanned at several stages and next, point clouds obtained from each stage should be combined into one reflecting the scanned object shape. The combination is made by means of specialist algorithms which in the case of some shapes generate errors of the copied shape. There are plans to use an industrial robot for scanning in order to eliminate the errors. Basing on the coordinate system of the industrial robot, there will be eliminated automatic search of the subsequent scan shifts which occurs during the point clouds combination. The authors used the FANUC LR Mate 100iB industrial robot and Optix laser scanner manufactured by 3ddigital Corp. The robot program took a start point and next determined the end point of the measurement. After determining the distances between these points, intermediate points were determined. With this data, it was possible to calculate the shifts of subsequent scans. The shifts were used in the algorithm which calculated new locations of point clouds in subsequent displays. As a result, a point cloud reflecting the shape of the scanned die was obtained.

**Keywords:** reverse engineering, die tool, 3D scanning, industrial robot.

### 1. Wstęp

Do projektowania tłoczników powszechnie wykorzystuje się systemy CAD. Projektuje się część kształtującą tłocznika bazując na geometrii wytłoczki. Po wykonaniu tłocznika zaczyna się proces jego testów w trakcie, których bada się jakość wytłoczki pod względem dokładności kształtowo-wymiarowej. Pomimo dużego doświadczenia konstruktorów tłoczników, po wykonaniu próbnych wytłoczek okazuje się, że geometria tłocznika nie pozwala na wykonanie wytłoczek o żądanej dokładności kształtowo-wymiarowej. Należy dokonać odpowiednich poprawek na istniejącym tłoczniku – polegających na zmianie geometrii kształtującej części tłocznika. W praktyce do tego celu stosuje się ręczne narzędzia skrawające – w postaci szlifierek i pilników. Po wykonaniu poprawek wykonuje się kolejne testy sprawdzające. Jeśli

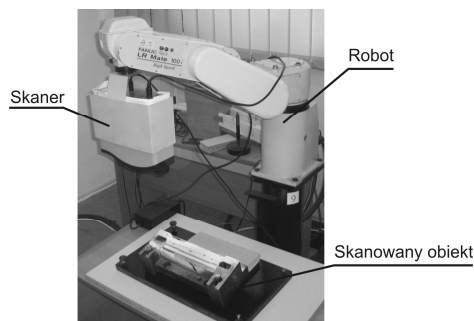
wytłoczka dalej nie spełnia wymogów, co do dokładności kształtowo-wymiarowej następuje kolejna zmiana geometrii tłocznika za pomocą ręcznych narzędzi – i tak aż do skutku. Ostatecznie otrzymuje się tłocznik, którego geometria części kształtującej znacznie odbiega od tego, co zaproponował konstruktor. Ale tłocznik taki wytwarza wypraski o wymaganej dokładności. Istnieje potrzeba zarchiwizowania tej doświadczalnie uzyskanej geometrii na potrzeby wykonania kolejnego takiego samego tłocznika. Dyspozycja modelem CAD tłocznika, który przeszedł już fazę testów i ręcznego poprawiania geometrii – pozwala na zaoszczędzenie czasu i kosztów testów.

Pomocnym narzędziem w tym przypadku okazuje się Inżynieria Odwrotna. Aby uzyskać model CAD tłocznika należy wykonać trójwymiarowe skanowanie tłocznika. A następnie odbudować geometryczny model CAD – bazując na wynikach skanowania.

Gdy tłocznik ma nieduże wymiary – skanowanie nie sprawia większych trudności. Problem pojawia się, gdy tłocznik ma większe gabaryty – pow. 80cm. Problemy te wynikają z metodologii skanowania. Duże przedmioty należy skanować w kilku etapach następnie łączyć uzyskane z każdego etapu chmury punktów w jedną chmurę punktów, która opisuje kształt skanowanego przedmiotu. Połączenie dokonywane jest za pomocą specjalistycznych algorytmów, które w przypadku niektórych kształtów generują w wyniku błędy. Jeżeli istnieje potrzeba połączenia kilku chmur punktów, powoduje to zwiększenie liczby operacji połączeń i kumulowania błędów sumowania, co w wyniku daje dość duży błąd całkowity. Aby wyeliminować opisane wyżej błędy automatycznego łączenia kolejnych skanów planuje się wykorzystać do skanowania robot przemysłowy. Uzyskane w kolejnych zobrazeniach skany łączyć wykorzystując układ współrzędnych robota. Omija się wtedy specjalistyczne oprogramowanie, które wprowadza błędy łączenia. Autorzy referatu zastosowali do tego celu robot przemysłowy FANUC LR Mate 100iB. Jest to urządzenie dedykowane do zadań paletyzacji. Posiada wbudowane standardowe funkcje sterowania oraz dodatkowe funkcje związane z paletyzacją oraz depaletyzacją. Jest to robot przemysłowy o udźwigu 50N oraz zasięgu maksymalnym wynoszącym 620 mm, posiada 5 stopni swobody. Każda z osi robota napędzana jest serwonapędem. Do serwonapędu podłączone są enkodery, których zadaniem jest przesyłanie informacji do kontrolera o aktualnym położeniu osi robota. Ważnym elementem robota są układy współrzędnych. Należy tu rozróżnić układ współrzędnych osiowych (ang. *joint coordinate system*) oraz układ współrzędnych kartezyjskich (ang. *cartesian coordinate system*) w którym to ustawienie robota określane jest w przestrzeni przez współrzędne X, Y, Z. W rozważanym przypadku stwierdzono, że dokładność informacji o położeniu uzyskana z układu współrzędnych kartezyjskich, nadaje się do przeprowadzenia skanowania tłocznika. Odczyt współrzędnych układu kartezyjskiego wykonywany był po zatrzymaniu ruchu ramienia z dokładnością do 0,001 mm.

Dodatkowym atutem przedstawianego robota była możliwość konfiguracji układów współrzędnych użytkownika (ang. *user coordinate system*), które mogą być definiowane dla każdej przestrzeni roboczej.

Na rys. 1 przedstawiono stanowisko badawcze.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe  
Fig. 1. Measurement stand

Na potrzeby doświadczenia wykonano specjalne oprzyrządowanie, które było odpowiedzialne za przymocowanie skanera do robota.

Do badań wykorzystano skaner laserowy. Zdecydowano się na zastosowanie skanera Optix 400S firmy 3D Digital Corporation (rys. 2).

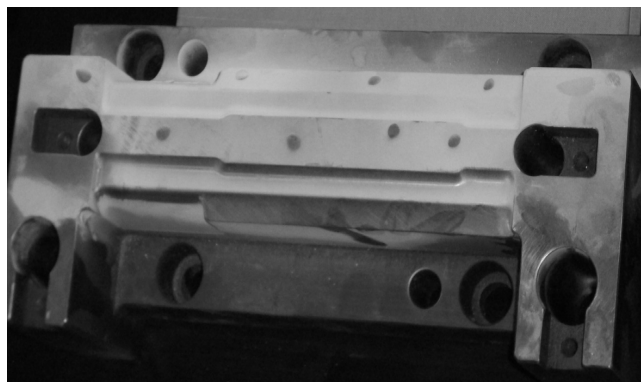


Rys. 2. Skaner Optix 400S  
Fig. 2. Scanner Optix 400S

Skanowanie przestrzenne stosuje się do rozwiązań z dziedziny inżynierii odwrotnej. Sama nazwa pochodzi od angielskiego zwrotu „Reverse Engineering” określającego techniki skanowania trójwymiarowego jak i metody obróbki powstałej w trakcie skanowania chmury punktów. Skanowanie trójwymiarowe jest to odwzorowanie kształtu elementu rzeczywistego i przetworzenie go do postaci cyfrowego modelu akceptowalnego przez systemy typu CAD. Zastosowany skaner wykorzystuje do pomiaru pojedynczą wiązkę światła lasera. Skanowany przedmiot oświetlany jest przesuwającą się w poziomie wiązką laserową, która ulega zniekształceniu w zależności od geometrii obiektu. Zniekształcenie to rejestruje matryca CCD a oprogramowanie odpowiednio przekształca obraz w chmurę punktów, która odwzorowuje skanowaną powierzchnię. Każdy pomiar może być realizowany w odpowiedniej rozdzielczości. Skaner Optix 400S potrafi skanować w maksymalnej rozdzielczości 1000x1000 punktów. Skanowanie jest dość szybkim procesem – jedno obrazowanie w rozdzielczości 1000x1000 punktów trwa około 8 sekund. Wynik skanowania może być dalej obrabiany w systemach CAD lub specjalistycznych programach do obróbki chmury punktów. Dokładność pomiaru skanerem Optix 400S wynosi 15 mikronów tj. 0,0006”.

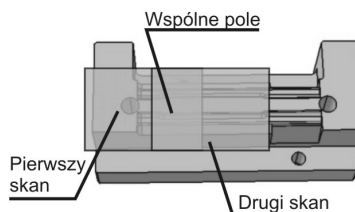
## 2. Metodologia skanowania

Do wykonania stosownych prób wykorzystano rzeczywisty tłocznik, używany w przemyśle samochodowym. Na rys. 3 przedstawiono zdjęcie tego tłocznika.



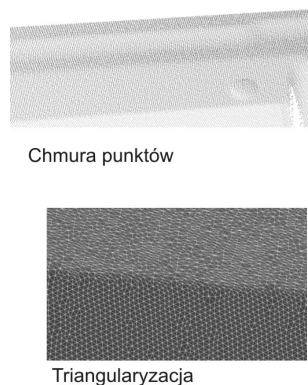
Rys. 3. Tłocznik wykorzystany do badań  
Fig. 3. Stamping die

Skanowanie odbywa się w kilku operacjach. Ponieważ zakres skanowania skanera jest mniejszy niż długość skanowanego elementu należy skanowanie podzielić na kilka etapów. Na rysunku 4 przedstawiono sposób podziału obszaru skanowanego przedmiotu na podobszary – pokazano także zasadę doboru wspólnego pola, który musi być taki sam dla dwóch następujących po sobie obrazowań.



Rys. 4. Sposób skanowania  
Fig. 4. Way of scanning

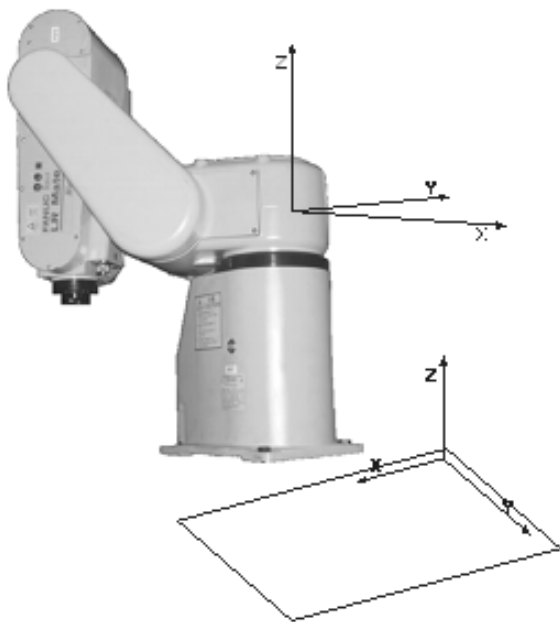
Każda operacja skanowania dawała w rezultacie chmurę punktów. Dla celów wizualnych taką chmurę poddaje się procesowi triangulacji. Przykładowy obraz chmury punktów pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Wynik pracy skanera  
Fig. 5. Scanning results

W rezultacie skanowania każda trójwymiarowa chmura punktów jest definiowana względem układu współrzędnych, który jest związany ze skanerem 3D. Każdy skaner posiada swój stały zdefiniowany układ współrzędnych.

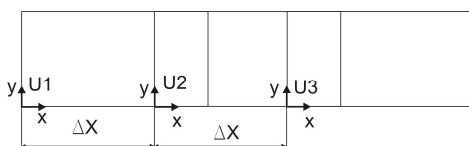
Podczas próby skanowania tłoczniaka z wykorzystaniem robota przemysłowego skanowanie podzielono na 7 kroków. W kolejnych krokach ramię robota było przesuwane o zadaną wartość względem osi X, wyznaczonej dla przestrzeni roboczej robota. Po dojechaniu do punktu skanowania wykonywano odczyt aktualnej wartości położenia na osi X, Y, Z (rys. 6). Robot przemysłowy był zaprogramowany tak aby po ustawieniu punktu pierwszego dla skanowania wykonywać ruch tylko względem jednej osi układu współrzędnych użytkownika (dostosowanego do płaszczyzny na której położony był tłoczniak). Ruch robota wykonywany był tak zwanym ruchem liniowym. Zapisany w robocie program pobierał punkt startowy i następnie wyznaczał punkt końcowy pomiaru. Po wyznaczeniu odległości pomiędzy tymi punktami wyznaczane były punkty pośrednie czyli punkty kolejnych skanów. Aktualne położenie ramienia robota względem układu współrzędnych było rejestrowane w pamięci roboczej urządzenia. Funkcje ruchu wykonywano na rejestrach pozycji dla których można podmieniać wartości przesunięcia względem wybranych osi. Takie podejście umożliwia praktycznie całkowite zautomatyzowane procesu skanowania.



Rys. 6. Kartezjański układ współrzędnych robota oraz wyznaczona przestrzeń robocza użytkownika

Fig. 6. Robot coordinate system and robot working space

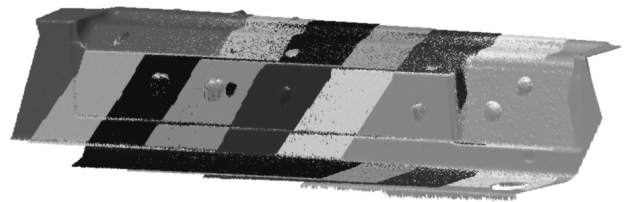
Układ współrzędnych definiujący układ roboczy ramienia robota był przypisywany do chmury punktów uzyskanej z kolejnego skanowania (rys. 7). Mając te dane można było policzyć przesunięcia kolejnych ujęć.



Rys. 7. Układy współrzędnych związane z kolejnymi ujęciami oraz obliczone przesunięcia układów

Fig. 7. Coordinate systems connected with subsequent scanning stages

Obliczenie przesunięć układów pozwoliło na dokładne pozycjonowanie kolejnych zobrażeń względem siebie (dokładność odczytu do tysięcznych części mm). W efekcie całego procesu uzyskano siedem chmur punktów opisujących kształt kolejnych obszarów skanowanych w kolejnych krokach. Na podstawie danych otrzymanych ze sterownika robota obliczono sześć kolejnych przesunięć ramienia robota. Przesunięcia te wykorzystano do obliczenia nowych położenia chmur punktów – dodając poprawki do współrzędnych punktów tworzących te chmury. W dalszej kolejności wczytano te zbiory do systemu CATIA – wykorzystując moduł Digitized Shape Editor. Na rys.8 przedstawiono uzyskane rezultaty.



Rys. 8. Wynik kolejnych zobrażeń – po uwzględnieniu przesunięć układów współrzędnych

Fig. 8. Final scanning results – with moved CS

### 3. Podsumowanie

Przedstawiona w referacie metodologia skanowania z wykorzystaniem robota przemysłowego, jest możliwa do wykorzystania w praktyce przemysłowej. Należy stworzyć odpowiednie oprogramowanie komputerowe które automatycznie przeliczałoby nowe koordynaty punktów opisujących kształt skanowanego przedmiotu – uwzględniające przesunięcie układu współrzędnych ramienia robota. Gdyby zastosować robot z większą liczbą stopni swobody można skanować z dużą dokładnością przedmioty o bardziej złożonym kształcie. Autorzy mają zamiar rozwijać zaproponowaną metodologię i w efekcie końcowym otrzymać system do precyzyjnego skanowania form przemysłowych.

*Autorzy dziękują firmie Evatronix S.A.za udostępnienie skanerów do badań.*

### 4. Literatura

- [1] Strona internetowa, [www.evatronix.com.pl](http://www.evatronix.com.pl)
- [2] FANUC Robotics, SYSTEM R-J2 Mate Controller, LR TOOL Setup and Operations Manual, B-80694EN-11/01.
- [3] Janusz J., Kłosiński J., Majewski L., Sidzina M.: Analysis of vibrations of industrial robot, *Mechanica Slovaca* 2006 R.10 [nr] 4-B s.213-218.
- [4] Wyleźół M.: Digitalizacja powierzchni z zastosowaniem skanera optoelektronicznego, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska, 2008.
- [5] Rysiński J., Wróbel I.: Oszacowanie rozmiaru pittingu w przekładni zębatej przy wykorzystaniu skanera 3D, *PAR*, nr 12, 2008.

*otrzymano / received: 29.12.2009*

*przyjęto do druku / accepted: 03.02.2010*

*artykuł recenzowany*