

Damian Śmierchalski ¹⁾, Tomasz Danyluk ²⁾

WERYFIKACJA WYMIAROWA PIERWSZEJ WYPRASKI W SYSTEMIE SKANOWANIA 3D

Streszczenie: W pracy skupiono się na uzyskaniu pełnej informacji wymiarowej o wyprasce wtryskowej. Omówiono szczegółowo wpływ czynników zewnętrznych na dokładność pomiaru, wskazano również cechy wyrobu niekorzystnie z metrologicznego punktu widzenia. W dalszej części opisano zagadnienia modelowania, które pozwala skrócić czas opracowania narzędzi. Podsumowanie uzupełniono perspektywą rozwoju optycznych systemów skanowania 3D.

Słowa kluczowe: skanowanie, 3D, pomiar optyczny.

WSTĘP

Skanowanie przestrzenne jest metodą pomiarową, która służy do wymiarowania przedmiotów o złożonej geometrii, wymagających najczęściej długotrwałego procesu mierzenia innymi technikami. Najlepiej zalety systemów opartych na tej zasadzie uwypuklają obiekty o wielu powierzchniach swobodnych, których sprawdzenie klasycznymi technikami jest pracochłonne i wymaga wysoko wykwalifikowanej kadry inżynierów. Bezpośrednim wynikiem procesu skanowania jest chmura punktów opisująca powierzchnię przedmiotu, a na jej podstawie tworzy się figury geometryczne, których cechy opisują część [2].

Pozyskanie wymiarów poszczególnych elementów obiektu stanowi przykład najprostszego sposobu wykorzystania metody, bardziej złożonym jest pełna weryfikacja całej części i przełożenie wyniku na kształt narzędzia do późniejszego wykonania poprawionej wersji prototypu. Równie interesujące jest wirtualne złożenie kilku części ze spasowaniem otworów montażowych określeniem potencjalnych kolizji w gotowym zespole.

PODSTAWY SKANOWANIA PRZESTRZENNEGO

Skanowanie przestrzenne, w przeciwieństwie do skanowania dwuwymiarowego, nie polega na analizie światła odbitego, choć system pomiarowy składa się z projektora i kamery CCD. Światło białe, a w najnowszych rozwiązaniach niebieskie, emitowane jest w kierunku obiektu przez siatkę interferencyjną o budowie zapewniającej uzyskanie prążków mora (moiré). Taki referencyjny

¹ Politechnika Poznańska, Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych Instytutu Technologii Mechanicznej.

² ITA – K. Pollak, M. Wieczorowski Sp.j.

układ prążków załamuje się na powierzchniach mierzonej części, a częściowo odbity trafia jako nowy układ do analizatora obrazu poprzez matrycę CCD. Aby proces przebiegał prawidłowo, natężenie prążków musi być dostosowane do wymogów przesunięcia fazowego, co wyraża się w zapisem [3]:

$$I_p(x, y) = I_0(x, y)[1 + \gamma(x, y)\cos(\phi(x, y) + \Delta)] \quad (1)$$

przy czym I_0 jest natężeniem średnim, $g(x, y)$ unormowaną widzialnością prążków, a D względną fazą, którą należy zmierzyć.

Aby możliwe było przejście od układu prążków do rzeczywistych wymiarów, należy wprowadzić wielkość $h(x, y)$, która opisuje wysokość obiektu:

$$h(x, y) = \frac{\lambda}{2\pi}(\phi_{1p} + 2m\pi) \quad (2)$$

gdzie f_{1p} natężenie dla pierwszego układu prążków i m kolejność prążków w pierwszej siatce.

Rozważając podwójny układ prążków można wyznaczyć złożoną długość fali λ_{12} i przesunięcie fazowe ϕ_{12} , z których wyznacza się kolejność prążków niezbędną do wyznaczenia wysokości przedmiotu:

$$\lambda_{12} = \frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (3)$$

$$\phi_{12} = \frac{2\pi h}{\lambda_{12}} \quad (4)$$

$$m = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\lambda_{12}}{\lambda_1} \phi_{12} - \phi_{1p} \right) \quad (5)$$

$$h(x, y) = \frac{\lambda}{2\pi} \left(\phi_{1p} + \left(\frac{\lambda_{12}}{\lambda_1} \phi_{12} - \phi_{1p} \right) \right) \quad (6)$$

Teoria jest złożona, ale sam pomiar dzięki technikom komputerowym jest bardzo prosty i nie wymaga od użytkownika świadomości praw rządzących zjawiskiem. Podczas trwającej kilka sekund projekcji prążków współczesny skaner, zwany też digitizerem, zapamiętuje położenie do 8 milionów punktów pomiarowych, a dokładność wyrażana jest w setnych częściach milimetra (minimalna odległość między dwoma punktami pomiarowymi w modelu ATOS III Triple Scan firmy GOM mbH wynosi 0,01mm). Ograniczeniem dla użytkowania tej techniki są powierzchnie refleksyjne, ale można dokonać pomiaru takich obiektów po uprzednim zmatowieniu (np. przy pomocy napyłanej, cienkiej warstwy proszku kredowego). Utrudnieniem jest także nierównomierne oświetlenie, choćby intensywne światło słoneczne, które zmienia obraz prążków, zmniejszając

dokładność pomiaru. W obu przypadkach światło niebieskie projektora (zamiast białego) daje wyraźną poprawę jakości skanowania.

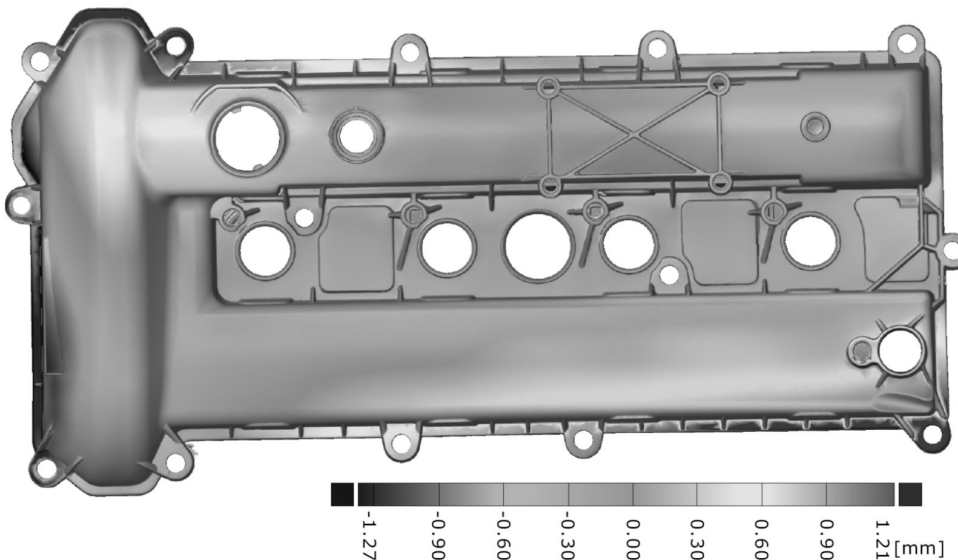
EKSPERYMENTALNA WERYFIKACJA WYMIAROWA

Do eksperymentu wykorzystano urządzenie ATOS II Triple Scan w następującej konfiguracji, przedstawionej w tabeli 1:

Tabela 1. Parametry systemu pomiarowego
Table 1. Digitizer parameters

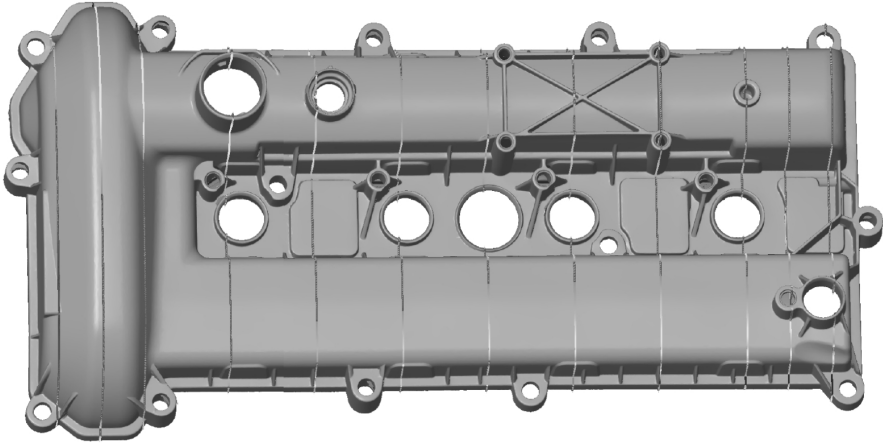
Parametr	Wartość
Rozdzielczość CCD	2 x 5 000 000
Pole pomiarowe	500 x 380 mm
Odległość punktów pomiarowych	0,02 – 0,62 „
Liczba punktów pomiarowych	5 000 000

Wybór podyktowany możliwością wykonania pomiaru bez nanoszenia proszku kredowego dzięki połączeniu technologii niebieskiego projektora z złożonym skanowaniem parami kamer. Podczas pomiaru w pomieszczeniu panowała temperatura 22°C, dodatkowo zmniejszono wpływ oświetlenia zewnętrznego zasłonami na oknach. Nie odnotowano wpływu przemieszczenia obiektu względem układu kamer. Jest to skutek stosowania punktów referencyjnych w tej technice – niezależnie od położenia obudowy złożenie chmury z szeregu obrazów następuje zawsze na skutek orientacji względem owych punktów [1].

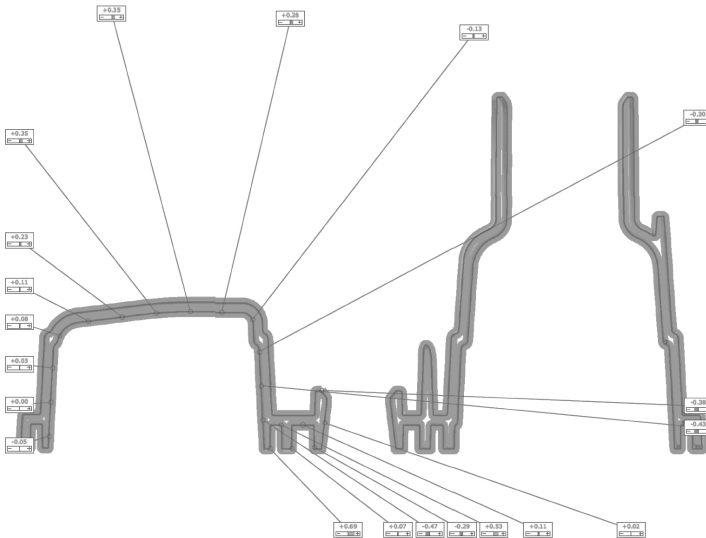


Rys. 1. Kolorystyczna mapa odchylek od modelu CAD
Fig. 1. Deviation from CAD model mapping (in color)

Podstawową formą prezentacji wyniku jest kolorystyczna mapa odchyłek, którą uzyskuje się łatwo pod warunkiem dostarczenia do systemu modelu CAD obiektu. Mapę dla zmierzonej obudowy przedstawiono na rys. 1. Ten wygodny sposób prezentacji rozbieżności między rzeczywistą częścią a ideałem trudno jest jednak interpretować liczbowo (mimo skali zamieszczonej przy mapie), dlatego istnieje możliwość opisu charakterystycznych punktów wartością odchylenia w mm. Na rys. 2 przedstawiono w postaci płaszczyzn sposób definiowania przekrojów.



Rys. 2. Definiowanie przekrojów obiektu
Fig. 2. Object cross-sections definition



Rys. 3. Odchyłki w charakterystycznych punktach przekroju
Fig. 3. Deviations in specific cross-section points

Wskazując właściwy przekrój wprowadza się punkty w charakterystycznych miejscach przekroju, aby odczytać kierunek i wartość odchylenia względem modelu utrzymanego w wartościach nominalnych. Taką metodę prezentacji przedstawiono na rys. 3 – na zakończeniu każdej linii odniesienia wpisana jest odchyłka danego punktu.

Nim uzyskano wyniki jak na rys. 1-3, chmurę punktów zamieniono na siatkę trójkątów, uzupełniając niewielkie braki na powierzchniach płaskich wirtualnie. Procedura nie wpływa na dokładność pomiaru, ponieważ nie dotyczy charakterystycznych elementów obiektu, a algorytm wypełniania oparty jest na rozkładzie punktów w otoczeniu. W ten sposób uzyskano model stereolitograficzny (format *.stl, powszechnie obsługiwany przez dostępne systemy komputerowego wspomagania projektowania). Po ustaleniu punktów bazowych względem modelu CAD uzyskano mapę jak na rys. 1.

PORÓWNANIE Z INNYMI METODAMI

Skanowanie techniką prążków interferencyjnych nie jest jedyną metodą szybkiego zbierania dużej liczby punktów pomiarowych, choć daje ich zdecydowanie najwięcej [4]. Istnieją inne urządzenia o podobnym przeznaczeniu, jak na przykład współrzędnościowa maszyna pomiarowa wyposażona w głowicę skanującą dotykową lub laserową czy tomograf rentgenowski. Każde z tych urządzeń posiada zalety skłaniające do stosowania w specyficznych aplikacjach [8]:

- CMM (współrzędnościowa maszyna pomiarowa, ang. Coordinate Measuring Machine) – głowica skanująca jako uzupełnienie punktowej głowicy pomiarowej tam, gdzie większość pomiarów wykonuje się z dużą dokładnością, sprawdzając głównie charakterystyczne elementy części a czasem wynika konieczność zebrania większej liczby punktów z określonej powierzchni,
- ręczny skaner laserowy – do miejsc trudnodostępnych, w których duża głowica pomiarowa urządzeń skanujących nie może być zainstalowana w sposób zapewniający dostęp do punktów pomiarowych,
- tomograf rentgenowski – do analizy wymiarów niedostępnych dla urządzeń pracujących w paśmie światła widzialnego.

Biorąc pod uwagę czas pełnego zwymiarowania próbki i uzyskania modelu gotowego do wykorzystania poprzez re-engineering do produkcji nowych, ulepszonych produktów, skanowanie przy pomocy projektora prążków daje najszybszy pomiar o dokładności wystarczającej w przetwórstwie tworzyw sztucznych, z uwzględnieniem narzędzi do produkcji tworzyw, w tym opakowań. Digitizer może również posłużyć do sprawdzania pojedynczych wymiarów, bez konieczności modelowania całego obiektu, co w odniesieniu do złożonych produktów może być bardzo czasochłonne. Zamiast porównywania z wzorcem wirtualnym proponuje się wówczas szybkie zebranie punktów wokół interesujących użyt-

kownika miejsc na próbce i konstrukcję odpowiednich figur geometrycznych, z możliwością ustalenia zależności między nimi [5].

Dodatkową zaletą metody optycznej jest brak kontaktu z próbką, czyli ograniczenie ryzyka deformacji kształtu przed i w trakcie pomiaru. Jak w każdej technice pomiarowej również i tu bazowanie przedmiotu ma ogromne znaczenie, co szczególnie łatwo udowodnić przy obiektach o dużej smukłości lub przy cienkich blachach. W obu przypadkach część może odkształcać się pod własnym ciężarem, a kontrolować to zjawisko można jedynie stosując konsekwentnie w tych samych miejscach punkty podparcia.

Pod względem szybkości procesu skanowanie 3-D zyskuje przewagę nad innymi technikami wraz z przyrostem liczby cech pomiarowych do określenia. Odległość dwóch otworów łatwo jest uzyskać przy pomocy ramienia pomiarowego, ale już pomiar złożonej geometrii, jak choćby obudowa z rys. 1-3, wymagałby godzin pracy, podczas gdy skanując dokładniejszy rezultat można osiągnąć już w kilka minut [6].

Na najwyższym miejscu pod względem liczby operacji do wykonania znajduje się zamodelowanie gotowej wypraski, do czego skanery są często wykorzystywane. Wkracza się w ten sposób w obszar projektowania wspomaganego komputerowo a w dalszym kroku w wytwarzanie wspomaganego komputerowo. Metodę inżynierii odwrotnej, prowadzącą od gotowego wyrobu do narzędzia służącego do jego wykonania stosuje się już na całym świecie, ponieważ wyraźnie obniża koszt wprowadzenia nowego wyrobu, modyfikacji już posiadane go oraz skraca czas potrzebny do przeprowadzenia tych procesów [7].

PODSUMOWANIE

Stosowność doboru metody skanowania do weryfikacji wymiarowej nie podlega wątpliwości, o ile uwzględni się dokładność oferowaną przez systemu optyczne i uzna ją za wystarczającą. W przypadku konieczności sprawdzenia odchyłek na poziomie $0,01 \div 0,05 \text{ mm}$, ta metoda pomiaru nie zapewnia właściwej dokładności. Mimo tego ograniczenia pole aplikacyjne jest bardzo szerokie, poczynając od implantów medycznych przez przemysł opakowań, motoryzację, lotnictwo, aeronautykę po kryminalistykę.

Dalsze prace zdążać będą w kierunku poprawienia dokładności pomiaru, co jeszcze powiększy obszar stosowania urządzeń, poprzez zmniejszenie zagęszczenia prążków, zastosowanie promieniowania niewrażliwego na światło słoneczne oraz multimetrię, w odróżnieniu od stereometrii, która wykorzystuje układ dwóch kamer, już dziś rozbudowany o trzecią.

PIŚMIENNICTWO

1. Juliano L., Minetola P.: Rapid manufacturing of sculptures replicas: a comparison between 3D optical scanners, CIPA 2005 XX international symposium, Turyn 2005, 384-393.
2. Weiss V., Andor L., Renner G., Varady T.: Advanced surface fitting in reverse engineering, *Computer-Aided Design* 2002, 19, 19-42.
3. Takasaki H.: Moire topography, *Appl. Opt.* 1970, 9, 1467-1472.
4. Barbero B.R., Ureta E.S.: Comparative study of different digitization techniques and their accuracy, *Computer-Aided Design* 2011, 43, 188–206.
5. Gao J., Chen X., Zheng D., Yilmaz O., Gindy N.: Adaptive restoration of complex geometry parts through reverse engineering application, *Advances in Engineering Software* 2006, 37, 592-600.
6. Yea X., Liua H., Chena L., Chenc Z., Panc X., Zhanga S., Reverse innovative design - an integrated product design methodology: *Computer-Aided Design* 2008, 40, 812-827
7. M. Sokovic M., Kopac J.: RE (reverse engineering) as necessary phase by rapid product development, *Journal of Materials Processing Technology* 2006, 175, 398–403.
8. Ratajczyk E., Jakubiec W.: Współrzędnościowa technika pomiarowa: problemy i zastosowania: praca zbiorowa, Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała 2008.

DIMENSIONAL REVISION OF THE FIRST MOULDED PIECE WITH 3D SCANNING SYSTEM

Summary

This paper is focused on gathering full geometrical information about molding specimen. Details about the influence of environment and external factors on measuring accuracy are given, so as specimen features disadvantageous from metrological point of view. Next part refers to the problem of modeling that makes time of new molding tool work out much shorter. To sum up a possible, future researches on optical 3-D scanning systems is described.

Keywords: scanning, 3-D, optical measurement.