

Barbara Juras, Danuta Szewczyk ¹⁾

DOKŁADNOŚĆ POMIARÓW REALIZOWANYCH SKANEREM OPTYCZNYM

Streszczenie: W referacie przedstawiono problem opracowania wyników pomiarów realizowanych skanerem laserowym z wykorzystaniem oprogramowania 3DReshaper. Na podstawie zrealizowanych pomiarów zaprezentowano możliwości wyznaczania wymiaru i błędu kształtu wybranych elementów.

Słowa kluczowe: pomiary współrzędnościowe, systemy mobilne, pomiary optyczne.

WSTĘP

Punktowa identyfikacja całych obiektów wykorzystywana we współrzędnościowej technice pomiarowej umożliwia kontrolę jakości z szybkością i dokładnością dostosowaną do konkretnych systemów produkcyjnych wielu gałęzi przemysłu. Zaletą współrzędnościowych systemów pomiarowych jest możliwość dowolnego ustawienia mierzonego elementu na stole pomiarowym, dla którego w sposób rachunkowy maszyna zdefiniuje układ współrzędnych.

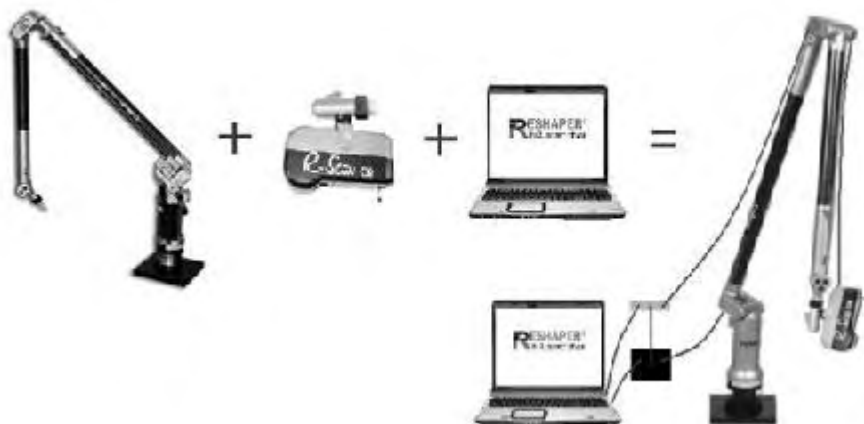
Postęp naukowy skutkuje nowymi rozwiązaniami techniki komputerowej i optoelektronicznej stwarzającymi możliwości zastosowania do rejestracji obrazów cyfrowych kamer oraz udoskonalaniem metod analizy obrazów. Współrzędnościowe ramiona pomiarowe wyposażone w laserowe głowice skanujące łączą zalety pomiarów współrzędnościowych z zaletami pomiarów optycznych [1, 5].

RAMIĘ Z GŁOWICĄ SKANUJĄCĄ JAKO NARZĘDZIE DO SZYBKICH POMIARÓW

W zrealizowanych badaniach wykorzystano kompletne rozwiązanie przeznaczone do wykonywania szybkich pomiarów, w postaci: ramienia pomiarowego Omega 2025, głowicy skanującej R-SCAN RX2 i oprogramowania 3D Reshaper (rys. 1). Ważną cechą wykorzystanego w pomiarach ramienia serii Omega jest możliwość współpracy z różnymi głowicami, zarówno stykowymi jak i bezstykowymi w trybie punktowym i skaningu. Pomiar z użyciem głowicy R-Scan RX2, sondy z przetwornikiem laserowym pracującej bezstykowo, polega na lokalizacji punktów pomiarowych w oparciu o zasadę wyznaczania odległości zacierpniętej bezpośrednio z geometrii. Podstawą do wyliczania powierzchni pomiarowych jest wykorzystanie metody triangulacji polegającej na projekcji płam-

¹ Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej.

ki lasera na powierzchni pomiarowej i jej obserwacji za pomocą układu optycznego przy użyciu sensorów CCD działających jako detektor natężenia światła [2, 4, 7]. Wybrane parametry charakteryzujące pracę głowicy, zaczerpnięte ze specyfikacji producenta, przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 1. System pomiarowy
Fig. 1. Measurement system

Tabela 1. Wybrane parametry głowicy R-Scan RX2 [8]

Table 1. R-Scan RX2 probe selected parameters [8]

	Jednostka	Wartość
Waga	[g]	600
Wymiary	[mm]	156×72×50
Dokładność kamery	[mm]	0,07
Odległość kamera/mierzona powierzchnia	[mm]	124<d<224
Maksymalna prędkość skanowania	Ilość linii/s	20
Maksymalna liczba punktów na linię		640
Maksymalna długość linii lasera	[mm]	110

Przedstawione parametry techniczne głowicy świadczą o możliwości szybkiego i dokładnego pozyskania chmury punktów zlokalizowanych na mierzonej powierzchni. Głowica współpracuje z ramieniem pomiarowym posiadającym system nieograniczonego obrotu, adapter mocujący, dużą sztywność oraz stabilność konstrukcji dzięki wykorzystaniu włókna węglowego, które to cechy ułatwiają manipulację głowicą i obserwację obiektów z różnych stron w jednym zamocowaniu [3]. Zakres pomiarowy użytego ramienia wynosi 2500mm, przy dokładności pomiaru długości $\pm 0,068\text{mm}$ [8]. Zatem dwa podstawowe elementy wpływające na dokładność realizowanych pomiarów to kamera i system nośny w postaci ramienia. Integralną częścią prezentowanego systemu pomiarowego jest oprogramowanie do obróbki chmury punktów.

OPROGRAMOWANIE DO OBRÓBKII CHMURY PUNKTÓW 3DRESHAPER

Prace nad doskonaleniem współrzędnościowych systemów pomiarowych nieustannie trwają. Nie stałyby się one nowoczesnym i kompleksowym narzędziem, bez postępu w technice komputerowej. Na rynku są dostępne coraz nowsze programy służące do pracy z chmurą punktów, do których należą między innymi: Mesh 3D 4.2, Catia, Poliworks V11, NX Unigraphics. Użyty w pomiarach system współpracuje z oprogramowaniem 3DReshaper. Pobiera ono dane z urządzenia skanującego, a następnie służy do obróbki chmury punktów, rekonstrukcji powierzchni, uzyskania kształtów geometrycznych lub szeroko rozumianej kontroli. Jedną z istotnych cech oprogramowania jest brak ograniczeń dotyczących liczby punktów w procesie digitalizacji.

Chmura punktów 3D, która służy do tworzenia modelu 3D może pochodzić z każdego systemu lub technologii wykorzystywanych do pomiarów: skanery 3D, CMM lub lasery punktowe. Po zaimportowaniu danych do komputera, pierwszy etap opracowania wyników polega na zaznaczeniu chmury i usunięciu obszarów, które wydają się odbiegać od całości, a zarazem mogą mieć negatywny wpływ na wynik przyszłych filtracji. Oprogramowanie umożliwia filtrowanie punktów na różne sposoby.

Zalecane jest wykonanie redukcji szumów (noise reduction) i usunięcie najgorszych punktów (explode with distance). W sytuacji, gdy liczba punktów, które pozostały jest na tyle duża, aby uniemożliwić pracę w innym programie należy skorzystać z przypadkowej redukcji punktów do ich wskazanej liczby.

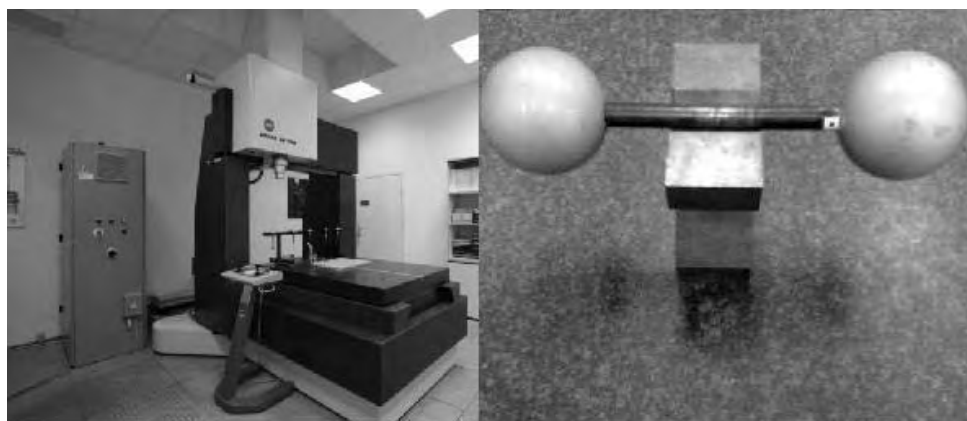
Dalsza praca z chmurami punktów polega na umiejscowieniu ich w odpowiednim układzie współrzędnych. Dokonuje się tego nawiązując do geometrii na przykład symetryczne ściany, osie lub w oparciu o teoretycznie istniejące geometrie, tak dzieje się, gdy model jest porównywany lub przerabiany w oparciu o istniejący model odniesienia. Program 3DReshaper zapewnia szereg opcji do tworzenia modeli w wyniku budowy sieci z chmur punktów. Możliwe jest również porównanie dwóch obiektów, na przykład model CAD z odpowiednim modelem zbudowanym z chmury punktów lub dwa obiekty zbudowane w odstępach czasowych.

Rozległe spektrum możliwości oprogramowania 3D Reshaper sprawia, że jest ono stosowane w szeroko pojętym przemyśle: elektrownie jądrowe, biżuteria, elektronika, górnictwo, medycyna, dentystyka, dziedzictwo kulturowe, rzeźba i inne [6].

POMIARY WZORCÓW KULOWYCH

Końcowy wynik pomiarów realizowanych skanerem laserowym uzależniony jest od wielu czynników. Obok wspomnianych przednio dokładności poszczególnych elementów systemu pomiarowego istotny jest stan mierzonej powierzchni, a w szczególności jej refleksyjność. Najlepsze wyniki uzyskuje się w przypadku

pomiarów powierzchni matowych. Powierzchnie błyszczące należy pokrywać odpowiednimi proszkami zmniejszającymi ich refleksyjność. Błędne punkty, będące skutkiem refleksów na powierzchni mogą być eliminowane w wyniku właściwie prowadzonego procesu filtracji danych pomiarowych. W prezentowanej pracy jako obiekt badań wykorzystano wzorzec zbudowany z dwóch umieszczonych na sztywnym pręcie kul. Powierzchnie kul poddane zostały obróbce w celu zmatowienia (rys. 2).



Rys. 2. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa PMM 12106 i wzorzec kulowy
Fig. 2. Coordinate Measuring Mashine PMM 12106 and sphere standard

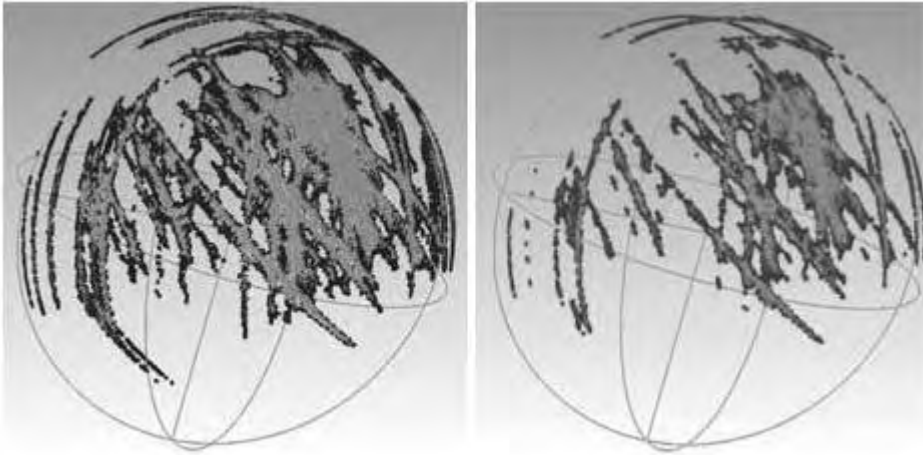
Pierwszym etapem prowadzonych badań było wykonanie pomiarów wzorcujących w Laboratorium Metrologii Współrzędnościowej Politechniki Krakowskiej, posiadającym akredytację PCA. Pomiary zrealizowano na maszynie PMM 12106 firmy Leitz przy wykorzystaniu oprogramowania QUIDOS. Otrzymane wyniki ze współrzędnościowej maszyny pomiarowej wykazały dla badanej kuli błąd kształtu na poziomie 0,0034mm oraz wartość średnicy 69,853mm dla 242 punktów pomiarowych.

W dalszej części badania realizowano ramieniem pomiarowym z głowicą skanującą wykorzystując różne sposoby obróbki danych pomiarowych. Porównanie otrzymanych wyników z danymi referencyjnym stanowi podstawę oceny dokładności uzyskanych rezultatów.

Wpływ filtracji i sposobu oceny na końcowe wyniki pomiarów

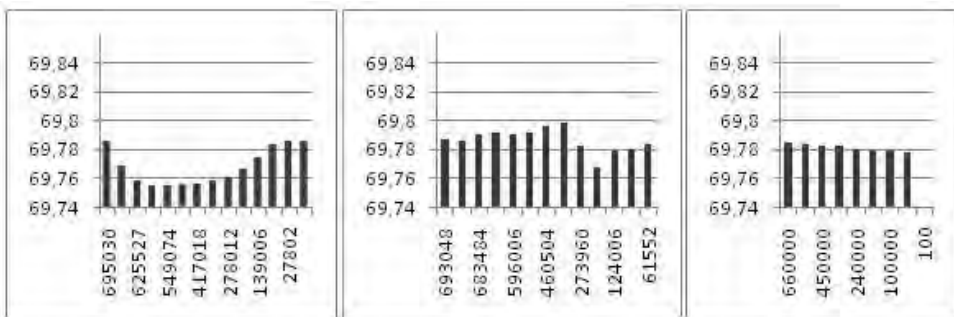
Zebrana ramieniem pomiarowym i zaimportowana do komputera chmura punktów została poddana wstępnej obróbce poprzez usunięcie obszarów, które odbiegały od całości. Punkty te mogły pochodzić z odbicia promienia lub z zeskanowania elementów mocujących obiekt badany czy też tła. Przed przystąpieniem do właściwej oceny obiektu dane należy poddać filtracji. Ten etap obróbki w sposób istotny wpływa na końcowy wynik pomiaru. Pierwszy i podstawowy

sposób filtracji to redukcja szumów. Kryterium filtracji jest wtedy zagęszczenie punktów. Usuwane są głównie punkty występujące w niewielkich skupiskach i najbardziej oddalone od punktów środkowych dla danych grup (rys.3.). Każda z operacji przedstawiona jest graficznie, a jako wynik działań podana zostaje liczba punktów wyeliminowanych oraz odległość punktu najgorszego w stosunku do średniej powierzchni.



Rys. 3. 106930 i 87448 punktów wytypowanych do usunięcia w wyniku redukcji szumów
Fig. 3. 106930 and 87448 points selected to elimination by noise reduction process

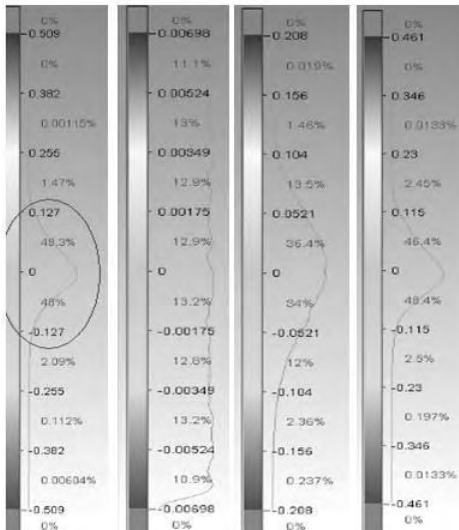
Innym sposobem eliminacji punktów jest działanie losowe. Stosowane jest w przypadku konieczności ograniczenia liczby punktów bez wyraźnego wskazania, które to powinny być elementy. Dla tak prowadzonego sposobu filtracji jej wpływ na wynik końcowy jest najmniejszy.



Rys. 4. Zmiany wartości średnicy w funkcji malejącej liczby punktów;
 od lewej: eliminacja wg elementu średniego, redukcja szumów, eliminacja losowa
Fig. 4. Changes in diameter size in function of decreasing number of points;
 explode with distance, noise reduction, reduce point cloud

Kolejnym z dostępnych sposobów filtracji jest odrzucenie punktów najbardziej odległych od elementu średniego. Jest to eliminacja, która powinna być stosowana szczególnie ostrożnie. Niewłaściwe wykorzystanie tego narzędzia może prowadzić do zafalszowania informacji o rzeczywistym kształcie digitalizowanego obiektu. Na rys.4. przedstawiono zmianę średnicy obliczonej kuli wraz z ograniczeniem liczby punktów omówionymi metodami.

Jak zmienia się rozłożenie punktów pomiarowych otrzymane w wyniku filtracji w stosunku do wyznaczonego w końcowym etapie obliczeń elementu średniego zobrazowano na wykresach przedstawionych na rys. 5. Rozkład odchyłek zbliżony do rozkładu normalnego w wyniku kolejnych eliminacji punktów najbardziej odległych od elementu średniego zbliżył się do rozkładu równomiernego (wykres drugi na rys. 5).



Rys. 5. Wykresy rozkładu odchyłek punktów od elementu Gaussa dla sytuacji początkowej, redukcji: punktów najgorszych, szumów i losowej

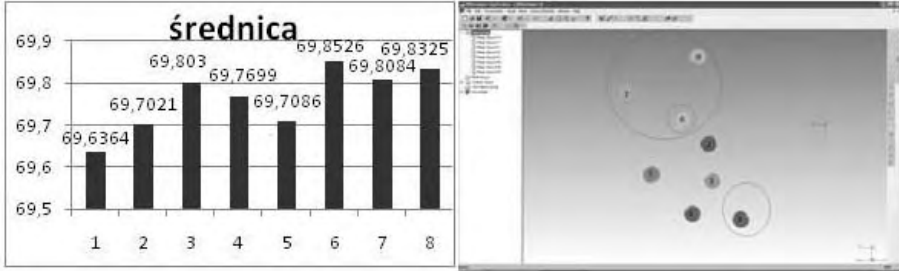
Fig. 5. Deviations distribution of Gauss element graphs for privent situation and reductions: explode with distance, noise reduction, reduce point cloud

Wyznaczenie wymiaru obiektu i jego różnicy od wymiarów rzeczywistych w przypadku pojedynczego pomiaru jest niewystarczające dla wnioskowania o dokładności innych pomiarów, jeśli nie posiadamy odpowiednio dużego doświadczenia i wiedzy na temat wpływu różnych czynników na wyniki pomiarów. W kolejnym kroku badań wykonano szereg pomiarów w celu określenia powtarzalności pomiarów.

Badanie powtarzalności pomiarów

Pomiar miał na celu sprawdzenie powtarzalności wyznaczenia w pomiarze wartości średnicy obiektu badań. Powierzchnia kulista, została zmierzona osiem razy w różnych położeniach w przestrzeni pomiarowej ramienia. Wykorzystując zbliżoną liczbę punktów oraz identyczny sposób opracowania wyników pomiarów wyznaczono średnicę elementu. Wyniki pomiarów zebrano na wykresie,

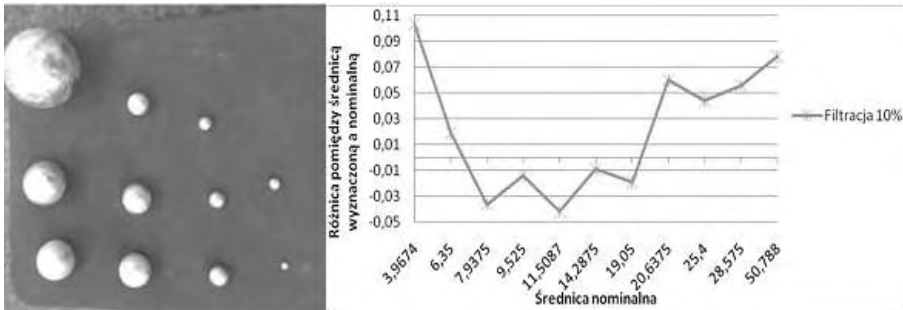
zamieszczonym na rys.6. Jedynie dla pięciu z ośmiu kul różnica w wymiarze mieści się w granicach błędów dopuszczalnych przyjętych jako suma algebraiczna błędów głowicy i ramienia. Uzyskany rozstęp dla wyznaczonego wymiaru charakterystycznego wyniósł 0,229mm.



Rys. 6. Wyniki badania powtarzalności
 Fig. 6. Repeatability researches results

Wpływ wymiaru obiektu na dokładność wyznaczenia średnicy

Dalsze badania miały na celu uzyskanie odpowiedzi na pytanie: czy dokładność tak realizowanych pomiarów zależy od wielkości mierzonego obiektu. W tym celu wykonano pomiary kilku kul o zróżnicowanych średnicach. Obiekty badań oraz zestawienie wyników przedstawiono na rys.7. Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że dokładność otrzymanych wyników zależy od wymiaru mierzonych elementów.



Rys.7. Pomiary obiektów o różnych średnicach
 Fig. 7. Different diameter size objects measure

WNIOSKI

Pomimo bardzo dużej liczby punktów pomiarowych pozyskanych ze skanera, filtracja może zmienić zarówno wymiary jak też położenie obiektów w sposób istotny. Powoduje ona zmiany w wartości średnicy, współrzędnych środka i naj-

większych odległości punktów od powierzchni odniesienia. Wykorzystanie jako obiektu odniesienia w trakcie oceny elementu referencyjnego zewnętrznego, na przykład modelu CAD, dodatkowo wymaga właściwego usytuowania układów współrzędnych.

Nadmierne stosowanie metody wyrzucania najgorszych punktów może przyczynić się do utraty informacji o faktycznych kształtach mierzonego przedmiotu. Zaleca się łączne stosowanie metod filtracji: począwszy od wyrzucenia najgorszych punktów, redukcji szumów i w razie konieczności redukcji liczby punktów.

Z otrzymanych wyników wynika, iż pomimo bardzo dużej liczby punktów i oczekiwanego związanego z tym faktem uśrednienia, końcowe wyniki pomiarów dla badanych obiektów przekroczyły oczekiwane zgodnie z dokładnością systemu wartości niepewności pomiarów.

W przypadku realizacji określonych zadań pomiarowych ocena niepewności pomiarów realizowanych skanerem powinna być wykonywana indywidualnie do danego zadania pomiarowego.

PIŚMIENNICTWO

1. Mc Cann D.: Mobile metrology. *Cutting Tool Engineering*, no. 10/2008, s. 60-63.
2. Ratajczyk E.: Ramiona pomiarowe. *Mechanik*, nr 12/2008.
3. Ratajczyk E., Woźniak A.: Nowe trendy w budowie bezstykowych głowic pomiarowych stosowanych w maszynach współrzędnościowych. *Mechanik*, nr 1/2005 str. 32-35. Warszawa 2005.
4. Śladek J., Sokal G., Ostrowska K., Kmita A.: Wzorcowanie współrzędnościowych ramion pomiarowych (WRP). *Acta mechanica et automatica*, Vol. 1, No. 2/2007.
5. Ratajczyk E.: Współrzędnościowa technika pomiarowa. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005.
6. Instrukcja oprogramowania 3DReshaper.
7. Strona internetowa: www.hexagonmetrology.pl.
8. Strona internetowa: www.romer.com.

ACCURACY OF MEASUREMENTS PERFORMED ON LASER SKANER

Summary:

The article presents a problem with operations on measurement effects from laser scanner working with 3D Reshaper software. Possibilities to dimension and shape error evaluation of an object based on performed measurements have been shown.

Keywords: coordinate measurements, mobile systems, optical measurements.