

## ZASTOSOWANIE METOD INŻYNIERII ODWROTNEJ DO IDENTYFIKACJI OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

### Streszczenie

*W artykule przedstawiono metodę identyfikacji geometrii obiektów technicznych opartą na technologii skanowania 3D oraz procesach fotogrametrycznych. Inżynieria odwrotna a w szczególności skanowanie 3D pozwala na opracowanie cyfrowego modelu przestrzennego na podstawie odpowiednio wykonanych zdjęć obiektu rzeczywistego. W trakcie procesu skanowania wykorzystywane są różnego rodzaju znaczniki, umieszczane na obiekcie oraz kalibrowane wzorce długości. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów z wykorzystaniem trzech różnych metod, (metoda pomiaru punktów bazowych, metoda skanowania 3D oraz metoda skanowania 3D w połączeniu z pomiarem geometrii punktów charakterystycznych) kilku różnych obiektów technicznych – uszkodzonych jak i nie uszkodzonych. Weryfikację opracowanych metod pomiarowych przeprowadzono w oparciu o proces odtworzenia geometrii rzeczywistych obiektów trójwymiarowych. Opracowane modele trójwymiarowe mogą być wykorzystywane do tworzenia modeli symulacyjnych, oceny stopnia deformacji obiektu rzeczywistego w stosunku do modelu CAD a także do tworzenia modeli cyfrowych obiektów rzeczywistych dla których nie są dostępne modele CAD. Oceniono przydatność poszczególnych metod w konkretnych zastosowaniach.*

### WSTĘP

Wie współczesnych procesach produkcyjno – eksploatacyjnych oraz podczas oceny uszkodzeń obiektów technicznych bardzo często zachodzi potrzeba odtworzenia eksploatowanego, badanego lub uszkodzonego wyrobu. Uszkodzenia obiektów technicznych powodują lokalne zmiany kształtu wyrobu a ich rozmiar i charakter jest bezpośrednio związany z oddziaływaniem w wyniku, którego nastąpiło uszkodzenie. Na ogół stan początkowy obiektu można określić na podstawie dokumentacji produkcyjnej lub pomiarów nowych obiektów. Jednak, aby można było ocenić głębokość uszkodzeń, zakwalifikować obiekt do dalszej naprawy, dobrać odpowiednio metody i technologie naprawy konieczna jest dokładna znajomość stanu obiektu po uszkodzeniu. Taką możliwość dają techniki inżynierii odwrotnej [5].

Pomiarowa inżynieria odwrotna ma wiele zastosowań między innymi w eksploatacji urządzeń technicznych, kontroli jakości produkcji, symulacjach komputerowych, wzornictwie przemysłowym, rzeźbiarstwie oraz wielu innych dziedzinach wymagających znajomości wymiarów przestrzennych. Modele bryłowe w postaci cyfrowej pozwalają na odtworzenie dokumentacji aktualnie istniejącego obiektu, umożliwiają oszacowanie stopnia jego uszkodzenia lub zużycia. Metody inżynierii odwrotnej coraz częściej są stosowane podczas oceny dokładności wykonania elementów w procesie produkcji, podczas oceny stopnia zużycia maszyn i ich elementów oraz różnego rodzaju obiektów technicznych.

Najprostszą z technik inżynierii odwrotnej jest wykonanie pomiarów z użyciem klasycznych mechanicznych narzędzi pomiarowych, a następnie stworzenie modelu cyfrowego na podstawie tych pomiarów. W przypadku, gdy kształt obiektu jest skomplikowany zwykle narzędzia pomiarowe nie są w stanie dostarczyć odpowiedniej liczby danych do budowy adekwatnego modelu [5], dlatego bardzo często zachodzi konieczność zastosowania innej, bardziej dokładnej metody odwzorowania powierzchni. Do odtworzenia kształtu obiektów technicznych coraz częściej stosuje się metody skanowania optycznego światłem strukturalnym (białym lub niebieskim) oraz skanowanie laserowe [2, 3]. Są to metody bardzo precy-

zyjne, umożliwiające uzyskanie dokładności odwzorowania poniżej 0,001mm, w zależności od zastosowanej technologii i wielkości mierzonego obiektu. Wynikiem pomiaru jest zbiór elementów powierzchniowych, który odwzorowuje kształt badanego obiektu.

Jednakże nie zawsze jest konieczne odtworzenie pełnej geometrii badanego obiektu. W wielu przypadkach wystarczy znajomość wzajemnego położenia charakterystycznych punktów decydujących o działaniu obiektu i mocowaniu innych zespołów, czyli tzw. punktów bazowych.

Celem prezentowanej pracy było przedstawienie zastosowań metod inżynierii odwrotnej do identyfikacji kształtów dużych obiektów technicznych z zastosowaniem różnych metod optycznych takich jak metoda pomiaru punktów bazowych, metoda skanowania 3D oraz metoda skanowania 3D w połączeniu z pomiarem geometrii punktów charakterystycznych obiektów. Oceniono przydatność poszczególnych metod w konkretnych zastosowaniach takich jak wspomaganie procesu remontowego pojazdu specjalnego, czy tworzenie modelu przestrzeni ładunkowej samolotu C-130 Herkules do badań symulacyjnych

### 1. METODY INŻYNIERII ODWROTNEJ

Uszkodzenia obiektów technicznych są związane z destrukcyjnym oddziaływaniem energii na obiekt, co powoduje zmianę jego wymiarów geometrycznych. Postępujący rozwój metod numerycznych umożliwia coraz dokładniejszą analizę procesów fizycznych oraz zmian strukturalnych obiektów w przestrzeni trójwymiarowej w czasie rzeczywistym. Wymaga to przetworzenia wymiarów i kształtów obiektów rzeczywistych na trójwymiarowy obraz przestrzenny. Wykorzystując trójwymiarowy obraz cyfrowy można prowadzić analizy wymiarowe i symulacyjne.

Obecnie istnieje kilka metod optycznych wykorzystywanych podczas odwzorowywania kształtów obiektów technicznych. Do najczęściej stosowanych należy zaliczyć:

- metoda pomiaru punktów charakterystycznych (bazowych) z wykorzystaniem techniki fotogrametrycznej,
- metoda skanowania 3D z wykorzystaniem światła strukturalnego,

- metoda skanowania 3D z wykorzystaniem lasera,
- metoda kombinowana, która łączy ze sobą metodę skanowania 3D oraz metodę fotogrametryczną.

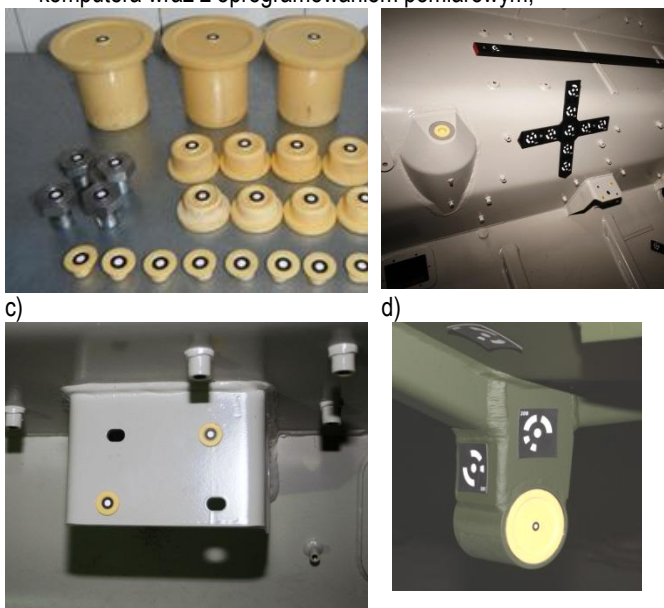
## 1.1. Technika fotogrametryczna – punkty bazowe

W wielu sytuacjach podczas identyfikacji obiektów technicznych nie zachodzi konieczność określenia geometrii całego obiektu a jedynie wyznaczenie geometrii (zależności geometrycznych) poszczególnych punktów charakterystycznych. W zależności od rodzaju urządzenia kontroli mogą podlegać całe obiekty lub tylko jego elementy np. tylko płyta podłogowa podczas pomiarów geometrii pojazdu.

W trakcie realizacji badań do pomiarów geometrii punktów bazowych wykorzystano system fotogrametryczny TRITOP firmy GOM mBh.

Składa się on z następujących zasadniczych elementów:

- pełnoklatkowego aparatu cyfrowego ze specjalizowanym obiektywem wysokiej o minimalnej aberracji chromatycznej, sferycznej dystorsji oraz minimalnym astygmatyzmie,
- zestawu punktów kodowanych służących do integracji poszczególnych zdjęć w procesie obróbki,
- kompletu adapterów pomiarowych mocowanych w poszczególnych punktach kadłuba i ramy,
- zestawu wzorców długości,
- komputera wraz z oprogramowaniem pomiarowym,



**Rys. 1.** Pomiar punktów bazowych obiektu technicznego a) zestaw adapterów do wyznaczania punktów bazowych, b) wzorzec długości, punkty kodowane – umieszczone w mierzonym obiekcie, c, d) sposób mocowania punktów bazowych.

System może być wykorzystywany do oceny stopnia deformacji struktury mierzonego obiektu po uszkodzeniu, jak również do oceny dokładności montażu poszczególnych elementów. Dla większości punktów pomiarowych urządzenie pozwala na dość szybkie otrzymanie wyników pomiarów.

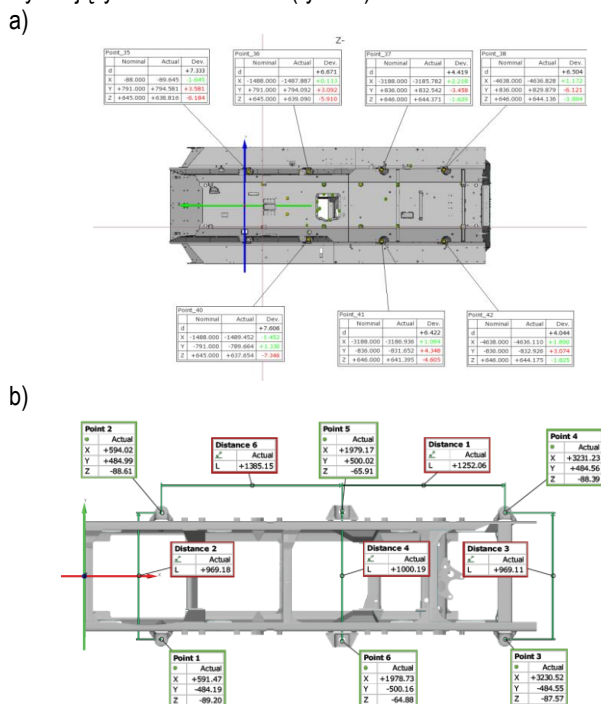
Za pomocą systemu fotogrametrycznego można wykonać pomiary metodą fotografowania przedmiotów z odległości do 10 m fotografując położenia punktów bazowych (rys. 1a). Dane pomiarowe można przetwarzać i ocenić za pomocą systemu „Inspect” [7] (porównanie z modelem CAD, kontrola itd.) lub przesłać do kolejnych systemów, jak np. ATOS, z pomocą którego można wykonać pełne skanowanie 3D.

Po właściwym zdefiniowaniu punktów pomiarowych (odniesienia) dla pomiaru długości, szerokości oraz wysokości należy umie-

ścić poszczególne adaptory (rys. 1.a) w punktach charakterystycznych w celu zdefiniowania właściwych punktów pomiarowych.

Wszystkie istotne punkty obiektu są oznaczone znacznikami, a następnie obiekt jest fotografowany pod różnym kątem za pomocą cyfrowego aparatu fotograficznego. Na podstawie zdjęć oprogramowanie oblicza współrzędne 3D poszczególnych punktów bazowych, tworząc przestrzenną szkieletową strukturę trójwymiarową. Obiekt wielkości samochodu ciężarowego wymaga wykonania dużej liczby zdjęć. W przypadku badanego obiektu, wykonano 164 ujęcia, które następnie zostały poddane analizie fotogrametrycznej. Podczas wykonywania zdjęć szczególną uwagę należy zwrócić, aby podczas kadrowania obiektu widoczna była możliwie duża liczba znaczków kodowych, co ułatwia połączenie danych uzyskanych z różnych ujęć.

W wyniku analizy zdjęcia zostają połączone na podstawie znaczników kodowanych. W wyniku obróbki zostały wyodrębnione zbiór 24 punktów bazowych (punkty charakterystyczne badanego obiektu), które zostały przeskalowane na podstawie odległości zadeklarowanej przy pomocy wzorców długości (podczas badań zastosowano dwa wzorce 2,5 m oraz dwa wzorce 1 m). W oparciu o utworzoną geometrię oraz model CAD badanego obiektu stworzono „inspekcję”, która zawiera informacje o położeniu poszczególnych punktów oraz odchyłce tych punktów od modelu CAD w płaszczyznach X, Y, Z. W przypadku zadeklarowania dokładności – tolerancji można określić w sposób automatyczny przydatność obiektu do dalszej eksploatacji poprzez zdefiniowanie maksymalnych różnic pomiędzy współrzędnymi punktu mierzonego oraz współrzędnymi wynikającymi z modelu CAD (rys. 2a).



**Rys. 2.** „Inspekcja” - wyniki punktów bazowych obiektu technicznego a) kadłub pojazdu specjalnego, b) rama pojazdu specjalnego [4].

Na rys 2.a przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów punktów bazowych pojazdu specjalnego. Podano aktualne położenie punktu od początku układu współrzędnych oraz różnicę między wartością zmierzona a wynikającą z modelu CAD.

Zależnie od wybranego trybu pracy wyniki pomiarów mogą mieć postać wymiarów rzeczywistych, odnoszonych od ustanowionych przez punkty bazowe płaszczyzn (rys. 2b) lub postać różnic między wymiarem rzeczywistym a wynikającym ze specyfikacji producenta (rys. 2a).

Na rys 2.b przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów punktów bazowych ramy podwozia pojazdu specjalnego. Podano aktualne położenie punktu od początku układu współrzędnych bez porównywania ich z wartościami nominalnymi, taka sytuacja zachodzi bardzo często, gdy ważna jest znajomość poszczególnych wymiarów obiektu bez konieczności odnoszenia ich do konkretnych wartości np. podczas pomiarów obiektów o nieznanym wymiarach.

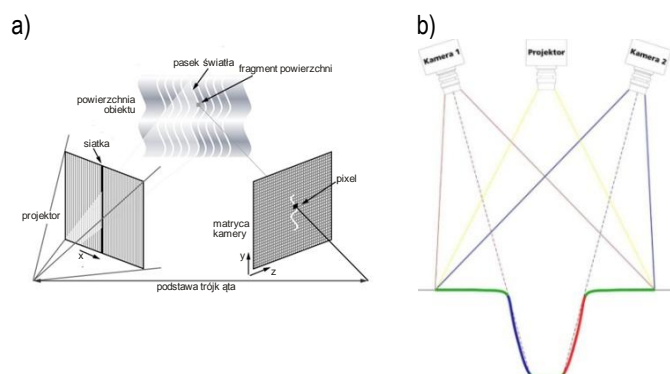
## 1.2. Metoda skanowania z wykorzystaniem światła strukturalnego

W wielu wypadkach pomiar geometrii punktów bazowych nie jest wystarczający do poprawnej identyfikacji deformacji badanego obiektu. W takim przypadku należy zastosować skanowanie 3D całej powierzchni obiektu

Spośród różnych systemów bezdotykowego skanowania trójwymiarowego obiektów technicznych do badań wykorzystywano system skanowania ATOS firmy GOM mBh. Technologia zastosowana w tym systemie optycznym służy do digitalizacji obiektów głównie w przemyśle samochodowym, w inżynierii odwrotnej, w zastosowaniach analizy i kontroli jakości, do celów archiwizacji oraz wizualizacji dzieł sztuki i innych obiektów technicznych.

Zespół przetwarzający obiekt składa się z projektora rzutującego na badany obiekt szereg prążków, których obraz na nierównej powierzchni ulega zniekształceniu odpowiednio do kształtu tej powierzchni (rys. 3a). Współrzędne punktów na mierzonej powierzchni są wyznaczane na zasadzie triangulacji. Obraz prążków na skanowanym obiekcie jest rejestrowany za pomocą dwóch kamer umieszczonych stereoskopowo zamocowanych na wspólnej belce, stanowiącej podstawę trójkąta. Wierzchołki trójkąta stanowią: punkt na płaszczyźnie (rzutowany z projektora) oraz kamery obserwacyjne, które mierzą kąt, pod jakim widać dany punkt. Z zależności geometrycznych można wyznaczyć współrzędne punktu X, Y, Z. Wynikiem takiego postępowania jest chmura do 12 milionów punktów w zależności od rozdzielczości zastosowanych kamer, dla każdego pojedynczego pomiaru wykonywanego w czasie 1 sekundy [5].

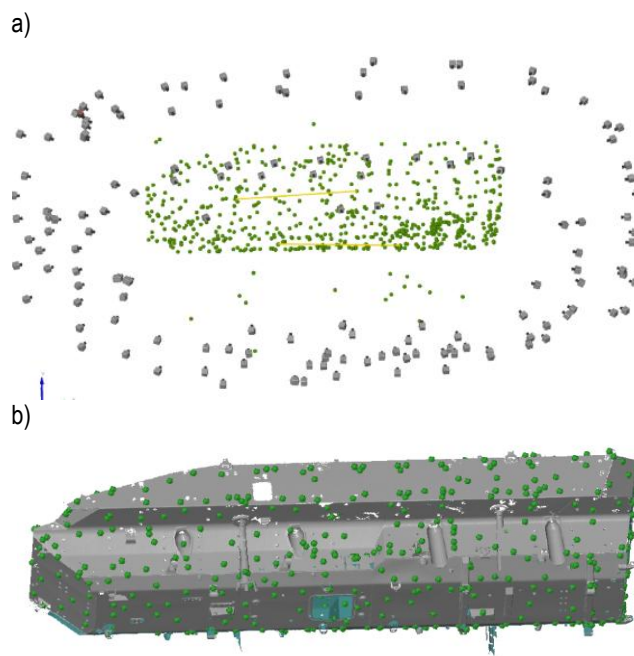
Dokładność z jaką skaner pozwala mierzyć kształt powierzchni wynosi do 0,001 mm. Dokładność tę uzyskuje się przez zastosowanie dwóch kamer, co pozwala na uzyskanie dużej dokładności skanowania dzięki efektowi stereoskopowemu. Dokładność skanowania zależy od wymiarów powierzchni oraz zastosowanej konfiguracji skanera. Im mniejsza jest przestrzeń skanowania, tym większa jest dokładność obrazu.



**Rys. 3.** Zasada skanowania trójwymiarowego: a) zasady triangulacji w skanowaniu trójwymiarowym, b) skanowanie za pomocą dwóch kamer [6].

Ponieważ skanowanie obiektu polega na kilkukrotnym pomiarze z różnych stron i pod różnym kątem, na obiekt nanoszone są punkty referencyjne, które umożliwiają orientację powierzchni w przestrzeni oraz łączenie obrazów ze sobą. Punkty referencyjne niekodowane pozwalają na łączenie zachodzących na siebie prze-

strzeni skanowania (w przypadku, gdy jest dodatkowo wykonywane skanowanie 3D) i umożliwiają pomiary z dużą dokładnością kształtu powierzchni, których wymiary przekraczają znacznie wymiary przestrzeni skanowania wynikające z możliwości skanera. Do pomiarów położenia punktów referencyjnych na badanym obiekcie stosowany jest opisany wcześniej system fotogrametryczny TRITOP. Obrazy powierzchni są przedstawiane w odcieniach szarości, co pozwala na odtworzenie głębi obrazu. Skanowanie rozpoczyna się rozmieszczeniem znaczników w postaci białych krążków (punktów) na skanowanej powierzchni lub powierzchniach przyległych, do których trwale przymocowany jest skanowany przedmiot. Znaczniki te służą jako punkty referencyjne, umożliwiające łączenie obrazów uzyskanych podczas wielokrotnego skanowania obiektu pod różnymi kątami lub łączenie obrazów podczas częściowego skanowania obiektów wielowymiarowych, których skanowanie wymaga łączenia wielu obrazów. Znaczniki są naklejane w losowo wybieranych dowolnych punktach, jednakże ich ilość musi być tak dobrana, aby podczas skanowania w polu skanera znajdowały się przynajmniej trzy takie znaczniki.



**Rys. 4.** Wyniki skanowania pojazdu specjalnego: a) punkty referencyjne uzyskane w wyniku pomiarów fotogrametrycznych, b) widok kadłuba po skanowaniu z punktami referencyjnymi [4].

Przy skanowaniu dużych powierzchni lub brył, za pomocą systemu fotograficznego wykonywane są zdjęcia bryły przygotowanej do skanowania z dużą ilością punktów referencyjnych (rys. 4a). Na rysunku w centrum widoczne są punkty referencyjne, a na zewnątrz znajdują się miejsca położenia przestrzennego aparatu fotograficznego, za pomocą którego wykonywano zdjęcia punktów referencyjnych. Tworzą one szkielet rozpięty na skanowanej powierzchni, który następnie jest „wypełniany” pojedynczymi „skanami”, łączonymi w dużą bryłę skanowanego obiektu [5].

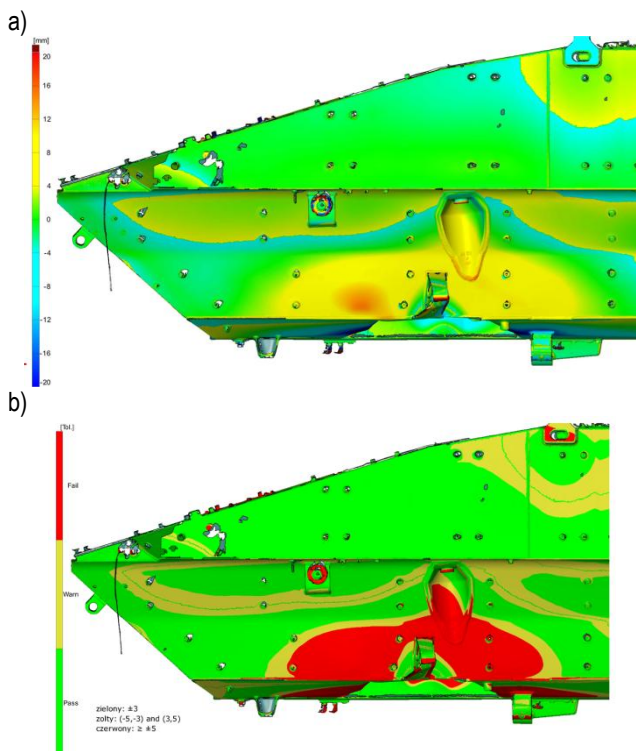
Ze względu na ograniczone pole pojedynczej powierzchni „widzianej” przez kamery (maksymalnie to 2000x1600 mm), konieczne jest wielokrotne skanowanie powierzchni za pomocą przesuwanej kamery, a także skanowanie pod różnymi kątami, umożliwiające likwidację obszarów niewidocznych dla kamer. Efektem tego skanowania jest obraz powierzchni obiektu (rys. 4b).

Efektem wielokrotnego skanowania kolejnych powierzchni bryły jest szereg obrazów, które są następnie łączone ze sobą. Skanowanie powierzchni połączone z przesuwaniem kamer i skanowa-



niem bryły pod różnymi kątami umożliwia likwidację obszarów pustych, które mogą być niewidoczne na skutek dużych odkształceń powierzchni (są one widoczne na zdjęciach, jako puste „przezroczyste” obszary).

Wynikiem skanowania jest szereg „chmur” punktów - jedna „chmura” dla każdego obrazu, które są przetransformowane do siatki wieloboków, która może być dalej edytowana. Odbywa się to poprzez poligonizację, czyli ich przetwarzanie i łączenie w jedną całość. Obszary zachodzące na siebie są usuwane, a następnie „zszywana” jest siatka wieloboków”. Tak obrobiona chmura punktów może być przekształcona w siatkę trójkątów, która następnie może być importowana do programów MES. Przy porównywaniu obrazów obiektów między sobą lub obrazów z danymi w postaci modeli CAD, generowana jest kolorowa mapa odchyłek.



**Rys. 5.** Ocena deformacji – porównanie obiekt rzeczywisty i model CAD a) mapa odchyłek, b) tolerancje odchyłek [4].

W wyniku skanowania mniejszych zespołów można utworzyć dokładne modele przestrzenne ich kształtów. Następnie z modeli takich zespołów można zbudować model przestrzenny obiektu z dokładnie odwzorowanym zarysem na przykład przestrzeni pod pojazdem, możliwe jest wykorzystanie kształtów tej przestrzeni do różnych badań symulacyjnych np. oddziaływania fal uderzeniowych na pojazd lub wyznaczania oporów pojazdu przez wodę podczas pokonywania przeszkody wodnej.

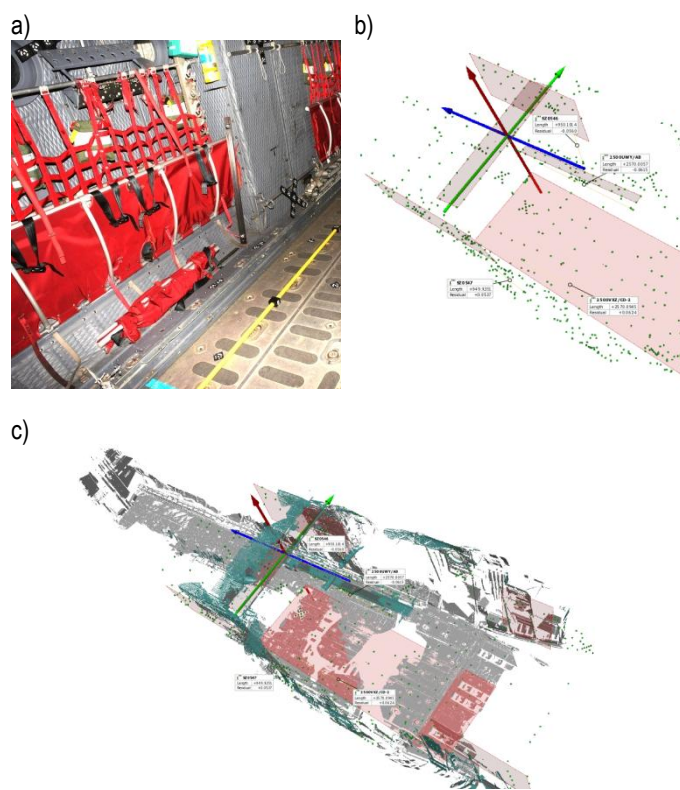
Skanowanie dużych powierzchni pozwala na odtworzenie pełnej zewnętrznej bryły pojazdu. W przypadku odpowiedniego rozmieszczenia znaczników wewnątrz obiektu możliwe jest określenie takich wielkości jak grubość blach z jakich wykonano obiekt. Grubość elementów z jakich wykonano obiekt może być także wprowadzona oddzielnie do programu.

Odkształcenie powierzchni blach, spowodowane różnorodnymi oddziaływaniami może być oceniana poprzez przyjęcie płaskości pojedynczej płyty i obliczenia odchyłek między zeskanowanym obiektem i „przyłożoną” do niego płaszczyzną (rys. 5a). Na rysunku widoczne jest wgniecenie skośnej płyty dennej do środka pojazdu. Możliwe jest także porównanie odchyłek całej zeskanowanej powierzchni pojazdu z modelem CAD obiektu lub obrazem zeskanowa-

wanej powierzchni innego pojazdu, przyjętego jako obiekt wzorcowy. Może to być także uśredniony model ze skanowania kilku nowych obiektów

### 1.3. Metoda kombinowana – połączenie metody skanowania 3D oraz metody fotogrametrycznej

W wielu przypadkach nie ma możliwości lub konieczności wykonania skanowania całego obiektu w celu pomiarów jego geometrii, jednak do analizy niezbędne są określone wielkości – w postaci wymiarów jak i kształtów obiektu. W takim wypadku można zastosować metodę kombinowaną, w której część wymiarów zdejmowana jest na zasadzie skanowania powierzchni – skaner 3D, pozostałe wymiary (płaszczyzny) tworzone są na podstawie pomiaru punktów charakterystycznych z wykorzystaniem zestawu fotogrametrycznego.



**Rys. 6.** Metoda kombinowana pomiaru wymiarów wnętrza samolotu C-130 a) wnętrze samolotu C-130, b) płaszczyzny charakterystyczne wyznaczone z wykorzystaniem zestawu fotogrametrycznego, c) połączone obszary skanowane i płaszczyzny.

Przykładem takiego postępowania jest pomiar wymiarów ładowni samolotu C-130 Herkules w celu sprawdzenia możliwości załadunku samochodu ciężarowego. Zadanie to wymagało opracowania modeli przestrzeni ładunkowej samolotu. Model wnętrza samolotu C-130 został wykonany metodą skanowania optycznego 3D oraz metodą pomiaru punktów charakterystycznych i wyznaczenia na ich podstawie poszczególnych krzywizn. Na powierzchniach wnętrza przestrzeni ładunkowej naniesiono punkty referencyjne, które w trakcie skanowania zostały przeniesione do programu skanującego wraz z informacją o położeniu w przestrzeni oraz o położeniu powierzchni sąsiadujących. Pozwoliło to utworzyć model wnętrza z zachowanymi stosunkami wymiarowymi. Dokładność skanowania pozwala na pomiar położenia punktów wnętrza samolotu z dokładnością do dziesiątych części milimetra.

## PODSUMOWANIE

1. Przetastawione wyniki badań świadczą o przydatności skanowania trójwymiarowego do analizy odkształceń i wyznaczania wymiarów nawet bardzo dużych obiektów o skomplikowanych kształtach, których analiza za pomocą metod stykowych byłaby bardzo trudna lub niemożliwa. Metoda umożliwia porównania wartości nominalnych i rzeczywistych między pomiarem i danymi odniesienia takimi jak modele CAD i płaszczyzny.
2. Przetastawione wyniki badań świadczą o pełnej przydatności skanowania 3D do analizy odkształceń i wyznaczania wymiarów wielu obiektów o bardzo skomplikowanych kształtach i dowolnych wymiarach (od bardzo małych do obiektów dużych), których analiza za pomocą metod tradycyjnych byłaby bardzo trudna lub niemożliwa.
3. Dzięki opracowanemu i zastosowanemu zestawowi adapterów z punktami wzorcowymi metodę fotogrametryczną można wykorzystać do identyfikacji położenia punktów bazowych dużych obiektów.
4. Za pomocą prezentowanych metod może być realizowana kontrola jakości, pomiary odkształceń, błędy wykonania i naprawy, weryfikacja dokładności wzajemnego dopasowania elementów poprzez wirtualny montaż w oprogramowaniu, a także zmiany kształtu powierzchni spowodowane uszkodzeniami. Pomiary te można prowadzić podczas produkcji i eksploatacji pojazdów, nawet o dużych gabarytach w standardowych pomieszczeniach warsztatowych, umożliwiających tylko uniesienie badanego elementu. Utrzymanie właściwych wymiarów pojazdów jest podstawą ich bezpiecznej eksploatacji.
5. Metoda umożliwia porównania wartości nominalnych i rzeczywistych między pomiarem i danymi numerycznymi, takimi jak model CAD, chmury punktów lub dane STL.

## BIBLIOGRAFIA

1. Górski F., Kuczko W., Wichniarek R., Zawadzki P. Wykorzystanie metody projekcji znaczników w zastosowaniach fotogrametrycznych Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Nr 4 (14) 2010,
2. Karczewski M., Walentynowicz J, Polak F, Application of reverse engineering for identification of damage and support the reparation of the vehicles, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 20, No. 4 2013,
3. Nowak J., Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego. WKiŁ, Warszawa 2004.
4. Walentynowicz J, Hryciów Z., Karczewski M. Trawiński G, TUDYKA D. Sprawozdanie końcowe z realizacji projektu rozwojowego na temat „Opracowanie metod weryfikacji uszkodzeń bojowych kołowego transportera opancerzonego Rosomak oraz propozycji zmian zwiększających jego odporność przeciwwminową” WAT Warszawa 2013,
5. Wyleżoł M., Inżynieria odwrotna w modelowaniu inżynierskim – przykłady zastosowań, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska,
6. Karczewski M, Koliński K, Walentynowicz J, „Weryfikacja uszkodzeń bojowych kołowych transporterów opancerzonych”, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej, Numer 3/2013.
7. GOM application software V8, GOM 2015

## THE APPLICATION METHODS OF REVERSE ENGINEERING FOR THE IDENTIFICATION

**Abstract**

*In the article is presented a method to identify geometry of technical objects based on 3D scanning technology and photogrammetric processes. Reverse engineering, particularly, 3D scanning is used for developing a digital model based on adequately taken photos of real object. During the scanning process are used different types of markers and calibrated patterns of length, placed on the object. The article presents the results of measurements using three different methods (method of basis points measurement, 3D scanning method and the method of 3D scanning in conjunction with the measurement geometry characteristic points) a few different technical objects - damaged or not damaged. Verification of the developed measurement methods were based on the geometry of a real restoration process of three-dimensional objects. Developed three-dimensional models can be used to create simulation models, estimating degree of deformation of the real object relative to the CAD model and create digital models of real objects for which CAD models are not available. In the article appraised usefulness of particular methods for specific applications.*

*Keywords: reverse engineering, 3D scanning, identification of the strain*

Autor:

dr inż. **Mirosław Karczewski** – Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu, ul Gen S. Kaliskiego 2., 00-908 Warszawa, tel +48 261 83-77-54, e-mail: miroslaw.karczewski@wat.edu.pl,