



Wojskowa
Akademia
Techniczna



Inżynieria odwrotna, pomiar i geometryczne odwzorowanie powierzchni swobodnych. Urządzenia pomiarowe i oprogramowanie do obróbki chmury punktów.

ppłk dr inż. Paweł Płatek

WYDZIAŁ MECHATRONIKI, UZBROJENIA I LOTNICTWA, semestr letni 2024/2025

**ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa,
pawel.platek@wat.edu.pl**

Jeszcze 20 lat temu na pytanie, co kryje się pod pojęciem Inżynierii Odwrotnej (**Reverse Engineering**) zdecydowana większość inżynierów nie potrafiłaby udzielić poprawnej odpowiedzi, a tylko niewielki odsetek widziało urządzenia do skanowania przestrzennego. Nawet obecnie istnieje spora grupa inżynierów, konstruktorów która nie spotkała się z tą techniką i nie posiada doświadczenia w zakresie jej wykorzystania.



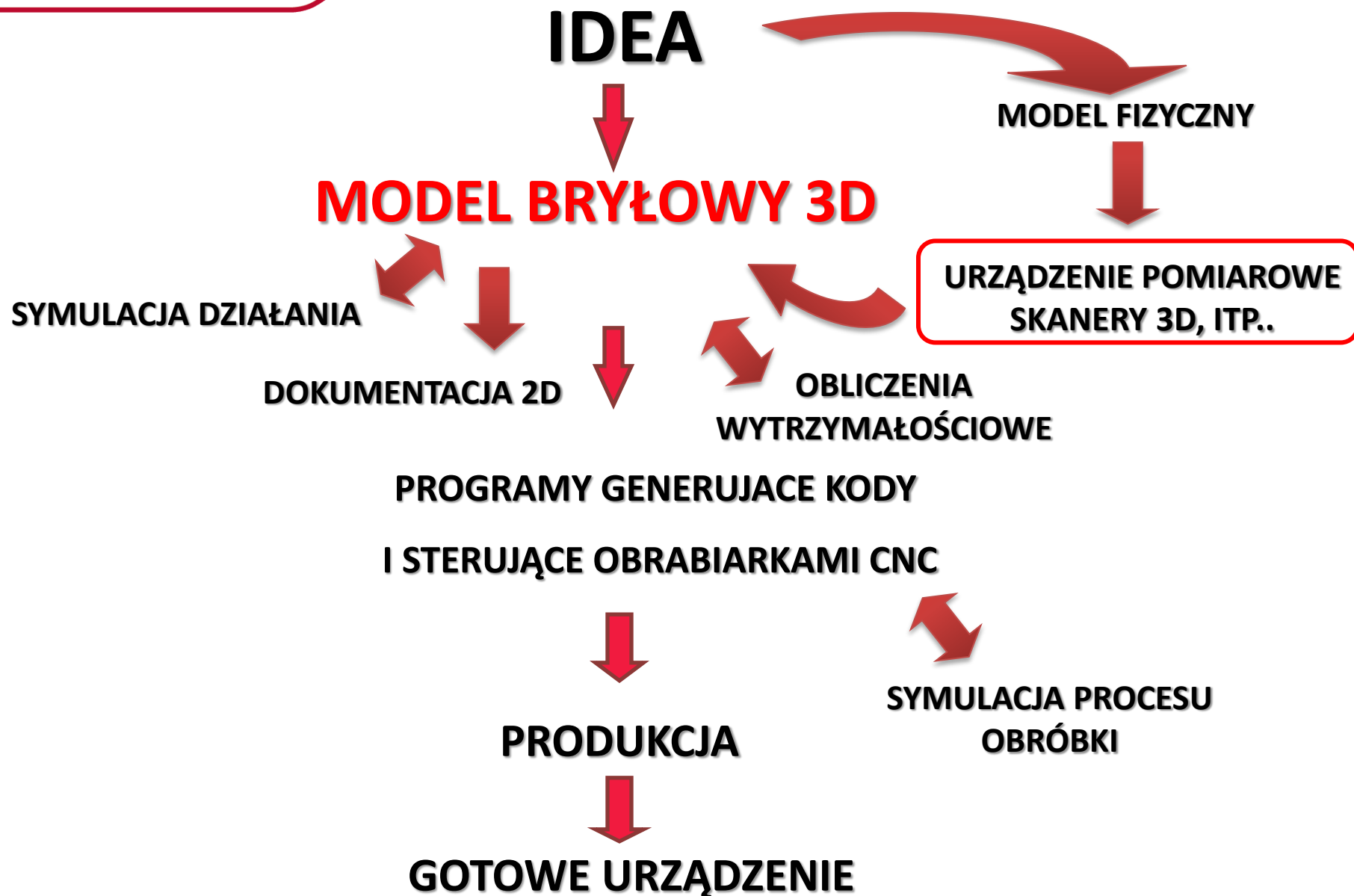
Czym zatem są skanery 3D, do czego służą, jak działają i czy faktycznie są one użyteczne ?



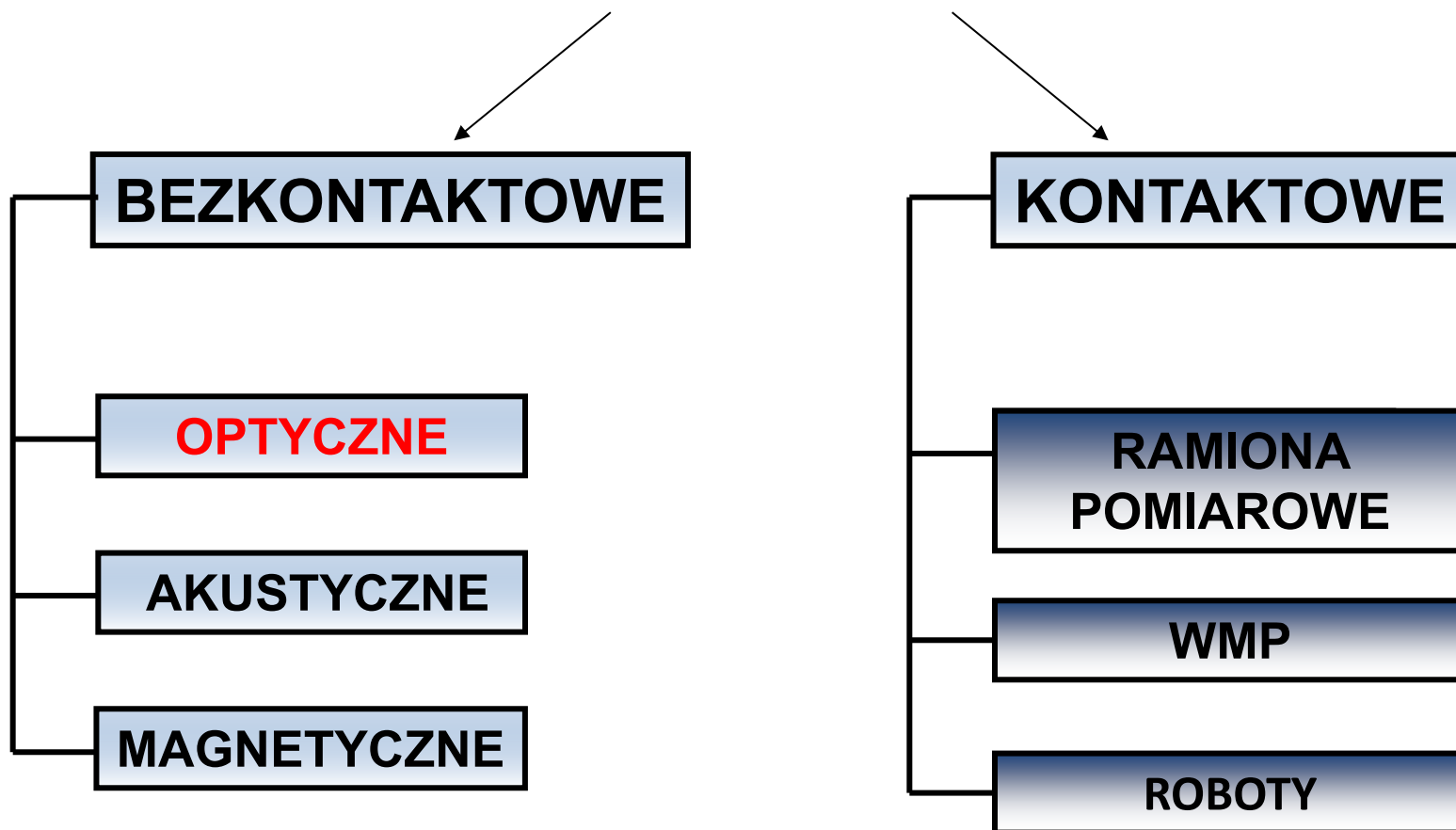
Dlaczego inżynieria odwrotna?

Nazwa ta wynika z kolejności w jakiej wykonywany jest projekt inżynierski. W przypadku zastosowania narzędzi **Reverse Engineering** najpierw mamy do czynienia z obiektem rzeczywistym, a dopiero później przy użyciu różnego rodzaju urządzeń do przestrzennego pomiaru kształtu (np. skanerów 3D) otrzymywany jest komputerowy model wirtualny, czyli **odwrotnie w porównaniu do tradycyjnego procesu projektowania w systemach CAD**.

Inżynieria odwrotna obejmuje swym zakresem zagadnienia związane z akwizycją danych, (czyli wszelkie techniki przestrzennego pomiaru wielkości geometrycznej wraz z urządzeniami pomiarowymi), rekonstrukcją geometrii mierzonych obiektów oraz przetwarzanie danych do postaci akceptowalnej przez systemy CAD. Stanowi ona wstęp do modelowania w systemach CAD, przyspieszając proces projektowania, testowania i przygotowania produkcji.



Urządzenia do przestrzennego pomiaru kształtu



Kontaktowe (stykowe) urządzenia pomiarowe

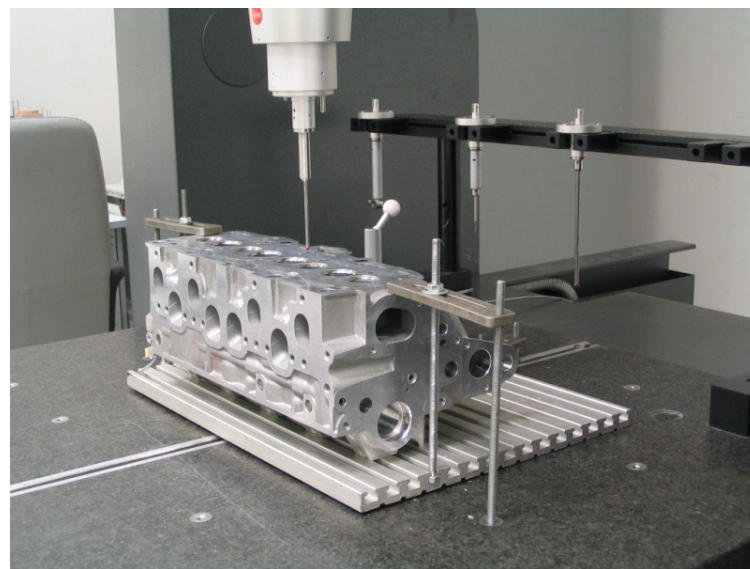
Kontaktowe urządzenia pomiarowe **wykorzystują technikę mechanicznego przesuwania końcówki głowicy skanującej po powierzchni przedmiotu** (analogicznie jak w przypadku współrzędnościowych maszyn pomiarowych). Współrzędne punktów pomiarowych otrzymywane są w czasie rzeczywistym podczas pomiaru i wynikają z położenia ramion urządzenia w przestrzeni pomiarowej. Skanery te najczęściej budowane są jako ramiona pomiarowe o 6-ciu stopniach swobody, natomiast rzadziej o układzie typowym dla współrzędnościowej techniki pomiarowej.



Ramię pomiarowe CimCore Infinite 2.0

Kontaktowe (stykowe) urządzenia pomiarowe

Skanery 3D kontaktowe (stykowe) zazwyczaj posiadają napęd ręczny, ich główną wadą jest, **długotrwały i pracochłonny proces akwizycji danych**. Dlatego też w przypadku tej techniki pomiaru nie dokonuje się akwizycji danych z całej powierzchni obiektu, a jedynie punktowo, w pewnych charakterystycznych obszarach. Ponadto ze względu na nacisk głowicy pomiarowej na powierzchnię obiektu, **niemożliwy jest pomiar elementów podatnych, łatwo odkształcalnych** wykonanych np. z gumy czy wszelkiego typu tkanin. Zakres pomiarowy tych urządzeń zależy od wielkości ramion pomiarowych i wynosi zazwyczaj od kilkuset milimetrów do nawet kilku metrów. Dokładność pomiarowa w zależności od zakresu pomiarowego wynosi od 0,3 mm do 0,005 mm. Zależy ona od klasy układów pomiarowych zastosowanych w urządzeniu jak również od dokładności wykonania i sztywności urządzenia.



Proces pomiaru geometrii – ramię FARO



Kontaktowe (stykowe) urządzenia pomiarowe

Ramiona pomiarowe firmy FARO

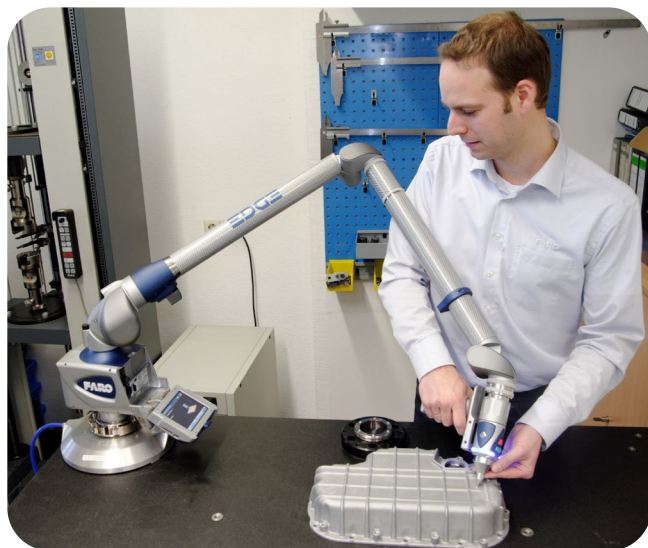
Zakres pomiarowy	Wg testu pojedynczego punktu	Wg testu przestrzennego	Masa
1,8 m	$\pm 36 \mu\text{m}$ $\pm 46 \mu\text{m}$	$\pm 51 \mu\text{m}$ $\pm 64 \mu\text{m}$	9,3 kg 9,5 kg
2,4 m	$\pm 43 \mu\text{m}$ $\pm 51 \mu\text{m}$	$\pm 61 \mu\text{m}$ $\pm 86 \mu\text{m}$	9,5 kg 9,75 kg
3,0 m	$\pm 74 \mu\text{m}$ $\pm 89 \mu\text{m}$	$\pm 104 \mu\text{m}$ $\pm 124 \mu\text{m}$	9,75 kg 9,98 kg
3,7 m	$\pm 104 \mu\text{m}$ $\pm 124 \mu\text{m}$	$\pm 147 \mu\text{m}$ $\pm 175 \mu\text{m}$	9,98 kg 10,21 kg

Ramiona pomiarowe firmy Romer

Model	Zakres pomiarowy	Wg testu pojedynczego punktu	Wg testu przestrzennego	Masa
7520	2,0 m	$\pm 16 \mu\text{m}$	$\pm 23 \mu\text{m}$	7,7 kg
7525	2,5 m	$\pm 20 \mu\text{m}$	$\pm 29 \mu\text{m}$	8,0 kg
7530	3,0 m	$\pm 30 \mu\text{m}$	$\pm 44 \mu\text{m}$	8,3 kg
7535	3,5 m	$\pm 40 \mu\text{m}$	$\pm 57 \mu\text{m}$	8,6 kg
7540	4,0 m	$\pm 55 \mu\text{m}$	$\pm 69 \mu\text{m}$	8,9 kg
7554	4,5 m	$\pm 70 \mu\text{m}$	$\pm 82 \mu\text{m}$	9,2 kg



<https://www.machinery.co.uk/content/news/ec-g-gauging-introduces-the-tomelleri-range-of-portable-measuring-arms-to-the-uk/>



<https://www.attinc.com/rentals/cmm-equipment/>

1. Kontrola jakości
2. Badania i rozwijanie produktów:
3. Przemysł lotniczy i kosmiczny:
4. Przemysł motoryzacyjny:
5. Przemysł metalurgiczny:
6. Odlewnictwo i przemysł formowania:
7. Branża lotnicza: W branży lotniczej, gdzie tolerancje są bardzo małe, współrzędnościowe ramiona pomiarowe są nieocenionym narzędziem do kontroli jakości i pomiaru skomplikowanych kształtów i powierzchni.



<https://www.trimos.com/3d-metrology/portable-measuring-arms/what-is-a-measuring-arm>



<https://media.defense.gov/2023/Jan/31/2003153220/-1/-1/0/221208-N-IV689-0002.JPG>

Bezkontaktowa metoda pomiaru polega na określaniu współrzędnych punktów odzwierciedlających geometrię modelu przy pomocy czujnika, wykorzystującego do akwizycji danych **sygnał informacyjny w postaci fali świetlnej, akustycznej, bądź magnetycznej.**



3D Skanner firmy Smarttech



HandyScan Creaform

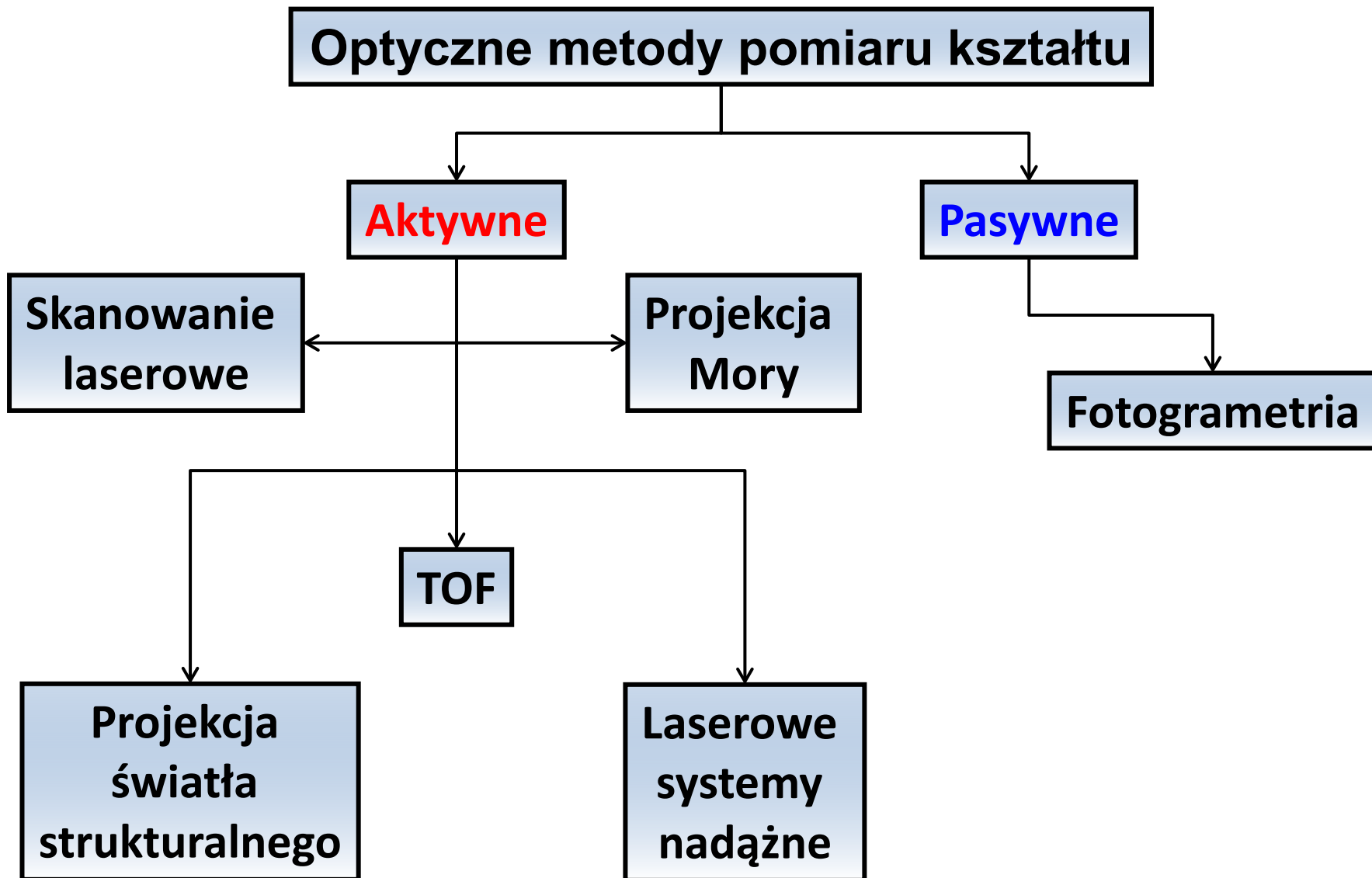


Tomograf 3D firmy METRIS



Na przestrzeni ostatnich 20 lat miał miejsce wielki postęp w rozwoju bezstykowych metod pomiaru wielkości geometrycznej. Wiodącą rolę odgrywają wśród nich techniki wykorzystujące światło jako nośnik informacji o mierzonych wielkościach. Jest to możliwe dzięki szybkiemu rozwojowi elektroniki, a zwłaszcza – optoelektroniki.

Istnieje szereg metod optycznych służących do mierzenia współrzędnych obiektów 3D i wiele sposobów ich kwalifikacji. Generalnie dzielą się one na **aktywne i pasywne**. Podział ten wynika z faktu, że **pasywne techniki pomiarowe nie wymagają dodatkowych sztucznych źródeł światła**, pracują w warunkach naturalnego, niekontrolowanego światła, podczas gdy **metody aktywne wykorzystują dodatkowe źródła światła**, niekoherentne (projektory, rzutniki, itp.) lub koherentne (lasery). Bazują one na projekcji różnego rodzaju struktur światła tj. punktów, linii, prążków, siatki, zakodowanych wzorów.



Zastosowanie skanerów laserowych 3D

Laserowe skanery 3D to urządzenia, które wykorzystują promieniowanie laserowe do dokładnego pomiaru trójwymiarowych kształtów, powierzchni i obiektów. W wyniku pomiaru uzyskiwana jest tzw. chmura punktów pomiarowych, która reprezentuje trójwymiarowy model obiektu. Laserowe skanery 3D są szeroko wykorzystywane w wielu dziedzinach, takich jak przemysł, architektura, medycyna, inżynieria, sztuka i wiele innych.



**Skaner laserowy 3D
ZScanner 700 PX
Z-Corp**



FARO FOCUS X130



**Skaner laserowy 3D
Picza LPX-60DS**



Skanowanie 3D z wykorzystaniem skanera laserowego





Skanowanie 3D z wykorzystaniem skanera laserowego



Skanowanie 3D z wykorzystaniem skanera laserowego





Laser Line Probe – głowica skanująca do pomiarów bezstykowych

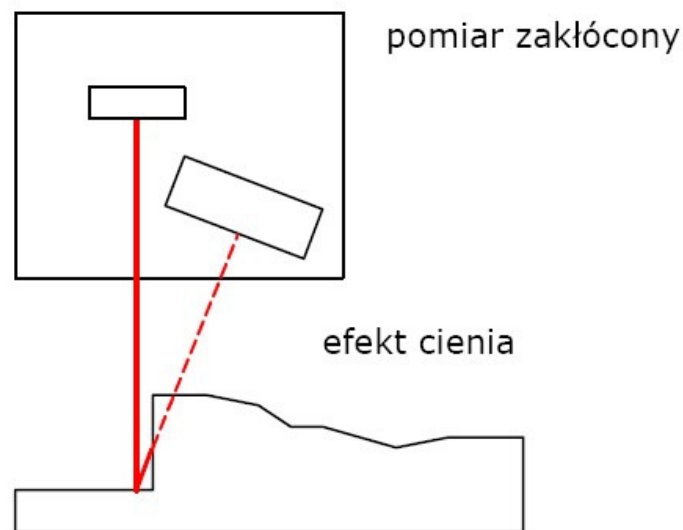
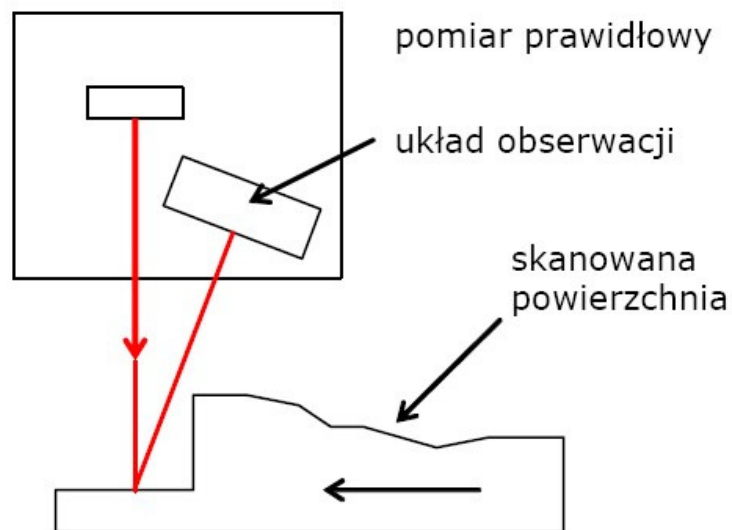


- głowica skanująca Laser Line Probe rejestruje do 45.000 punktów/sekundę
- Laser Line Probe firmy FARO może być zamocowana na stałe, nie przeszkadzając w regularnych procesach pomiarowych.
- Promień lasera o szerokości do 90 mm umożliwia zapis większej ilości danych za pomocą mniejszej ilości skanów.
- Brak oprzyrządowania zewnętrznego oraz kabli skutkują większą elastycznością urządzenia



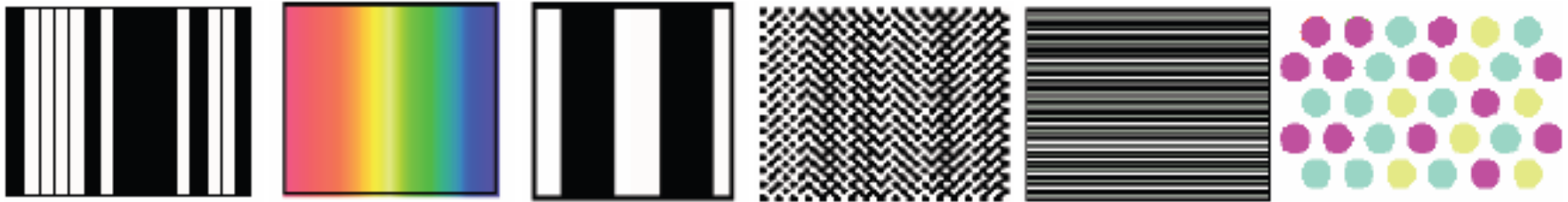
Ramiona pomiarowe z głowicą laserową skanującą

FARO®



Dokładność pomiaru zależy od własności rozpraszających, barwy oraz chropowatości powierzchni mierzonego przedmiotu. Jest to spowodowane tym, że pomiar bazuje na znalezieniu środka plamki świetlnej. Jeżeli tylko połowa plamki znajduje się na powierzchni, która dobrze odbija światło np. jasnej powierzchni, to środek plamki będzie przesunięty w kierunku jaśniejszej powierzchni. Taki sam efekt jest widoczny kiedy plamka biegnie wzdłuż krawędzi przedmiotu. Chropowatość powierzchni natomiast wprowadza przypadkowe zmiany w długości i kierunku ścieżki optycznej powodując powstanie interferencyjnych wzorów tzw. „speckle noise” widocznych jako ziarnista struktura na otrzymanym obrazie.

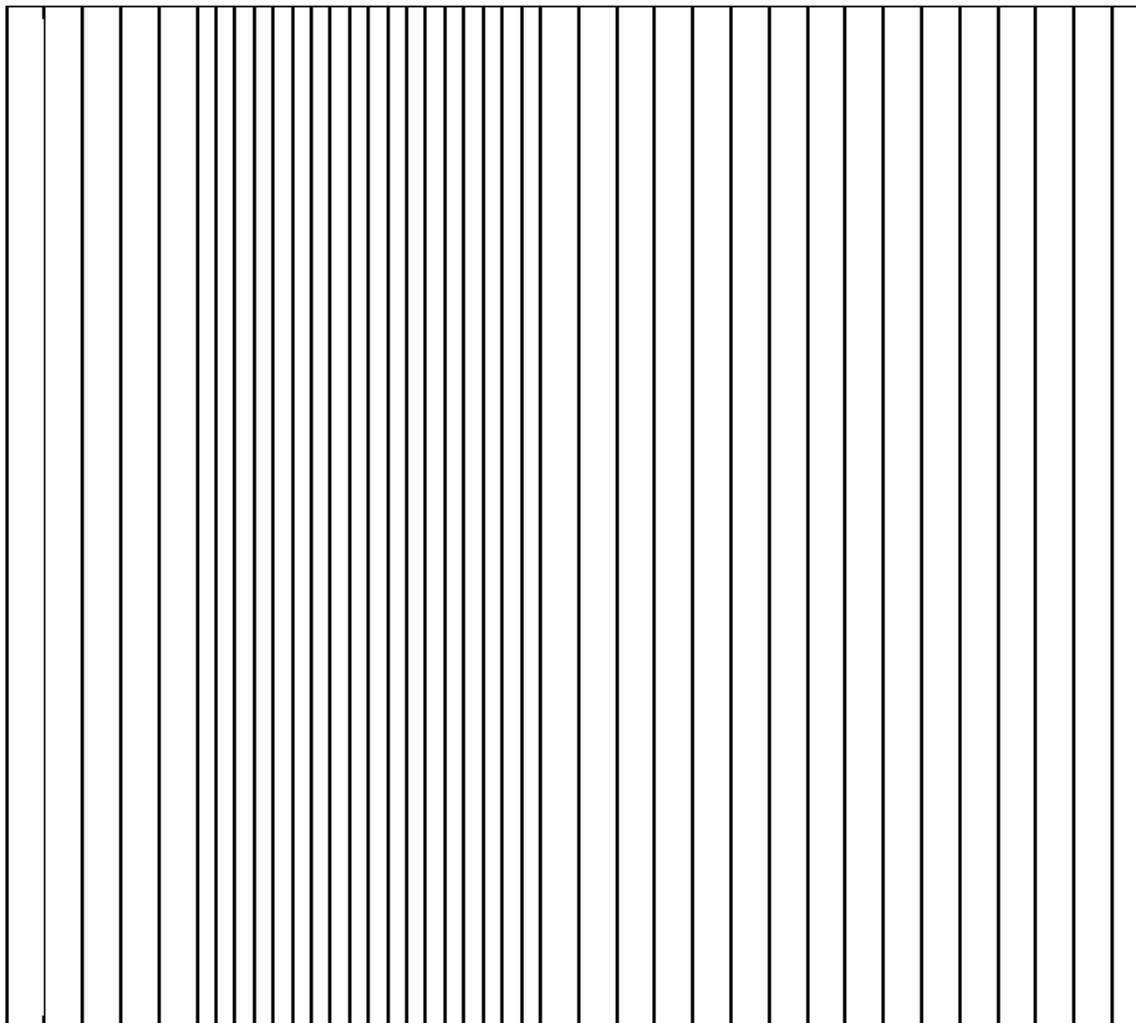
Główną zaletą tej metody jest szybka akwizycja obrazu oraz proces przetwarzania. Istotą metody z oświetleniem strukturalnym jest projekcja obrazów rastrowych przez projektor lub laser z odpowiednim układem optycznym oraz obserwacja przez co najmniej jedną kamerę deformacji tych obrazów na powierzchni badanej. Zniekształcone wzory są następnie analizowane i poprzez zastosowanie różnych metod kalibracji wyznaczana jest geometria powierzchni badanej.



Dla tej metody opracowano wiele technik umożliwiających jednoznaczne określenie położenia lokalizowanych punktów w przestrzeni pomiarowej. Najczęściej spotykaną jest projekcja obrazów prążkowych, przesuniętych w fazie oraz kodów Gray'a.

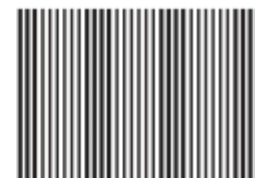
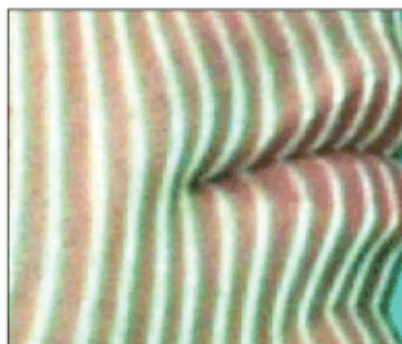


Przykładowy raster

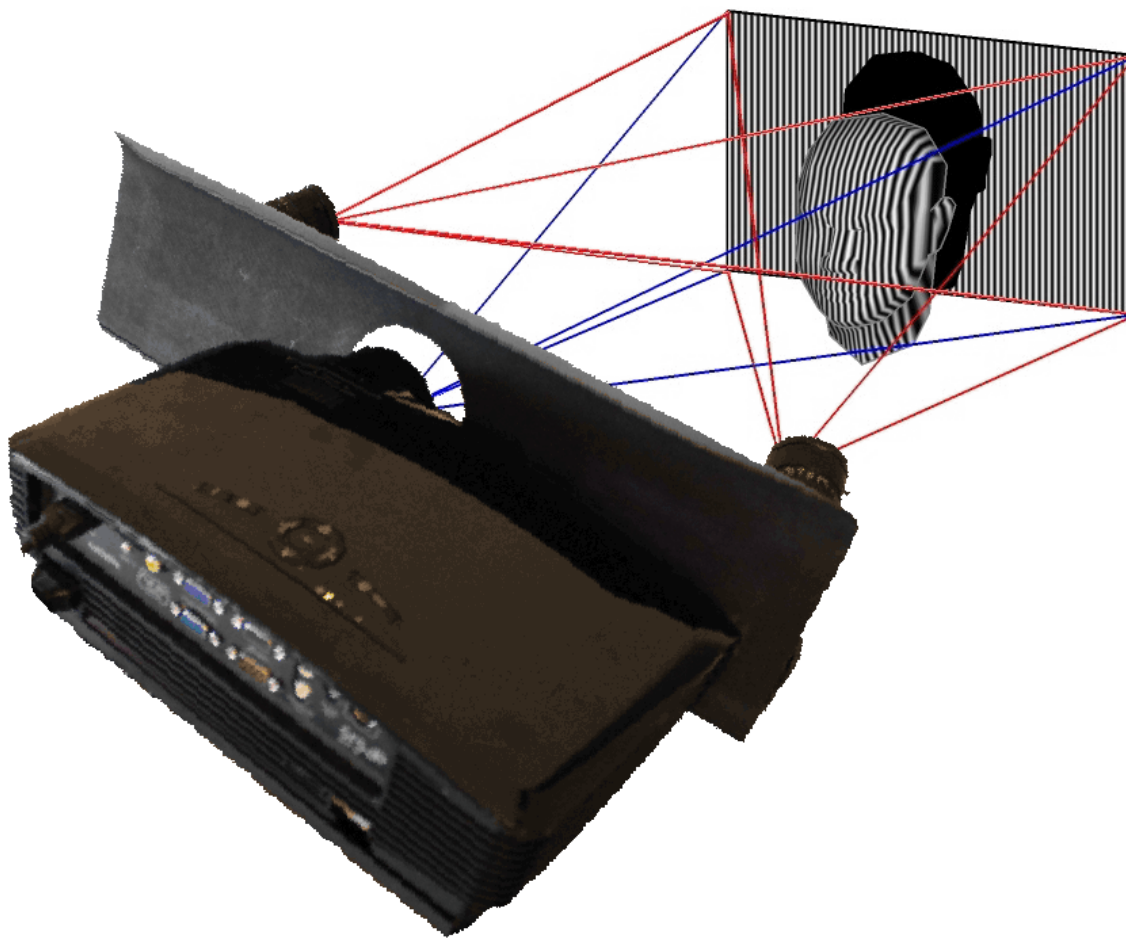


Przedmiot mierzony oświetlany jest rastrem o znanych parametrach (zestaw linii o znanej gęstości). Linie proste ulegają zniekształceniu adekwatnie do wielkości deformacji powierzchni mierzonego obiektu. Obraz oświetlonego przedmiotu, przechwytywany jest przez kamerę i analizowany w komputerze. Ustawienie lasera lub rzutnika względem kamery jest znane i ustalane w procesie kalibracji głowicy pomiarowej. Położenia punktów leżących na powierzchni obiektu wyznaczane są na podstawie trójkąta powstałego między źródłem światła, kamerą i powierzchnią mierzonego obiektu (najczęściej kamera ustawiona jest pod kątem 45° względem osi oświetlacza).

Najprostszy układ wykorzystujący tę metodę można zbudować z projektora multimedialnego i aparatu cyfrowego.



Przykładowy przebiegu procesu skanowania





Podstawą poprawnego pomiaru jest wyraźny kontrastujący obraz rzutowanych prążków, z tego też powodu występują **spore trudności w rejestracji obiektów refleksyjnych**, nieciągłych oraz niejednorodnych pod względem tekstury (ostre przejścia kolorów art. z białego na czarny). Na błędy pomiarowe mają też wpływ takie czynniki jak: niedokładne określenie geometrycznych parametrów układu projektor – detektor, mechaniczna lub termalna niestabilność, oświetlenie, jakość zastosowanego sprzętu (rozdzielczość, kontrast). Na dokładność wpływa również wzajemna odległość projektora i detektora. Im ta odległość jest większa tym bardziej widoczne przez detektor są zdeformowane prążki sinusoidalne, w tym wypadku jednakże zmniejsza się część wspólna widziana przez oba urządzenia, co wymusza wykonanie większej liczby pomiarów, a co za tym idzie wydłuża się czas trwania pomiaru. Polowe metody znajdują zastosowanie przy pomiarach obiektów o wymiarach nie przekraczających 2 [m] (typowa objętość pomiarowa znajduje się w zakresie od 1 [cm] do 1 [m] ze względu na dotychczas niską wydajność energetyczną źródeł światła w projektorach). Z uwagi na nieosiągalną przez inne techniki szybkość pomiaru stosowane są w przemyśle samochodowym i maszynowym.



Skanery optyczne – projekcja światła strukturalnego



Przykładowe rozwiązanie skanera działającego na zasadzie projekcji światła strukturalnego

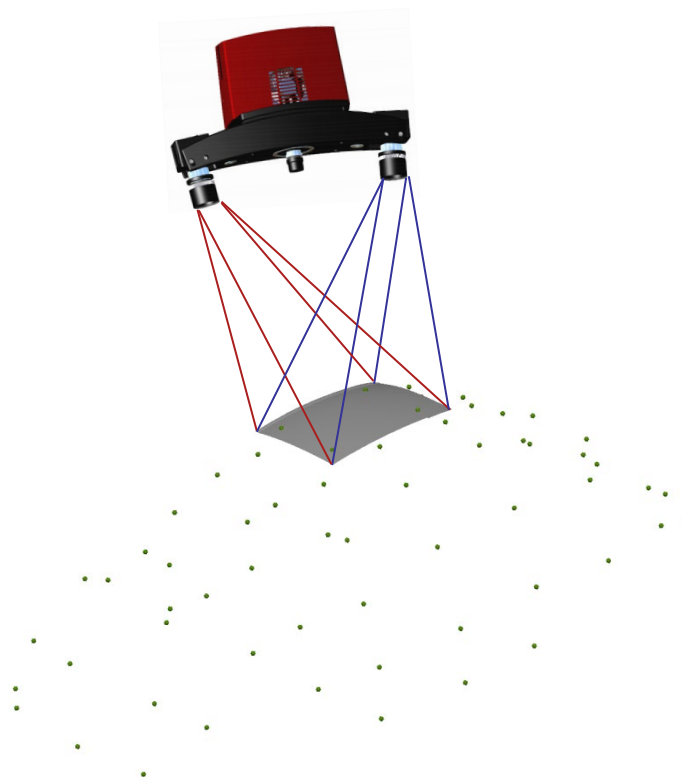
SKANER ATOS III Triple Scan

- Wykorzystanie światła niebieskiego do projekcji prążków,
- Czas realizacji pojedynczego pomiaru poniżej 1 sekundy
- Wykorzystanie dwóch kamer po 8 MPix
- Zintegrowany system sterowania procesem skanowania.



SKANER ATOS III Triple Scan

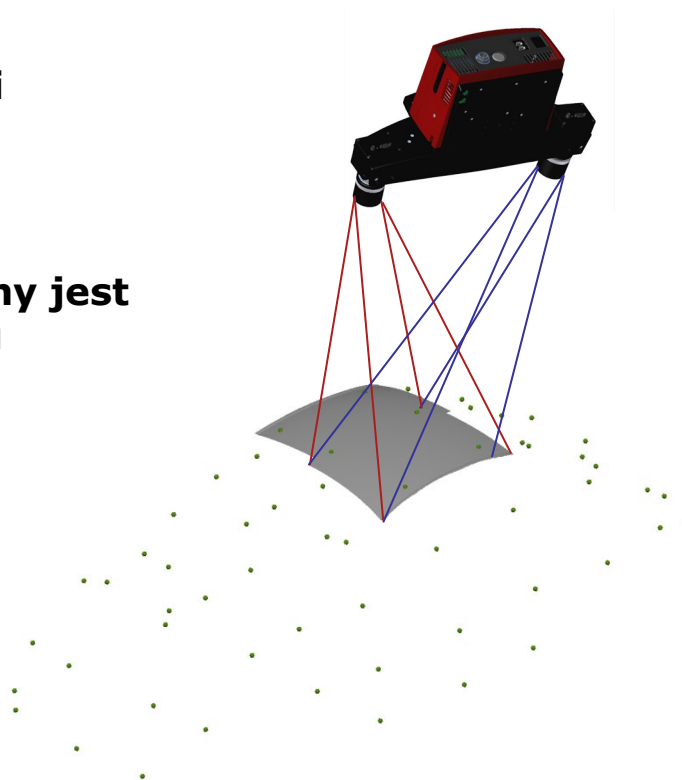
Projekcja prążków strukturalnych na powierzchni mierzonego obiektu
Etapy procesu digitalizacji



SKANER ATOS III Triple Scan

Projekcja prążków strukturalnych na powierzchni mierzonego obiektu Etapy procesu digitalizacji

- Umieszczenie głowicy pomiarowej w odległości bazowej od mierzonej powierzchni
- ↓
- Po wykonaniu pojedynczego pomiaru wykonywany jest pomiar kolejnego fragmentu powierzchni obiektu (względna zmiana pozycji skanera względem skanowanego obiektu)
- ↓
- Rejestracja kolejnych fragmentów odwzorowują powierzchnię mierzonego obiektu.

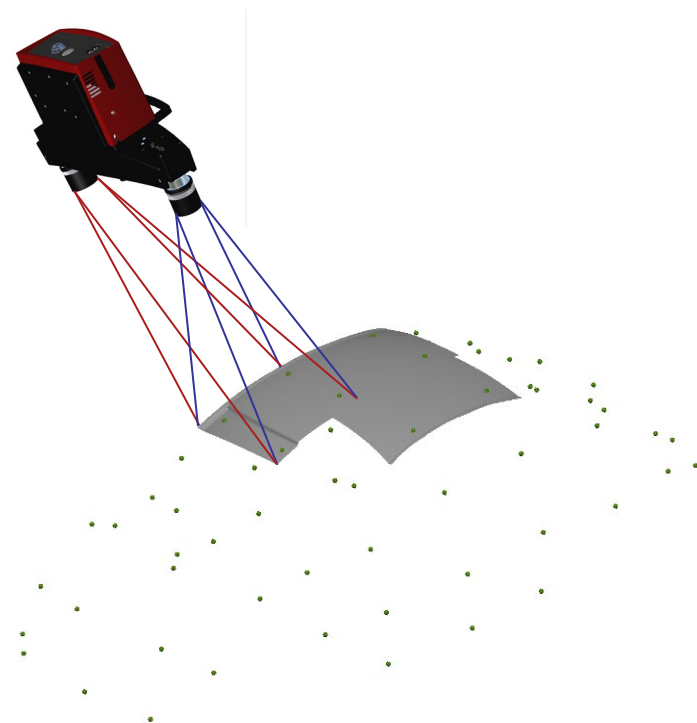


SKANER ATOS III Triple Scan

Projekcja prążków strukturalnych na powierzchni mierzonego obiektu

Etapy procesu digitalizacji

- Umieszczenie głowicy pomiarowej w odległości bazowej od mierzonej powierzchni
- ↓
- Po wykonaniu pojedynczego pomiaru wykonywany jest pomiar kolejnego fragmentu powierzchni obiektu (względna zmiana pozycji skanera względem skanowanego obiektu)
- ↓
- Rejestracja kolejnych fragmentów odwzorowujących powierzchnię mierzonego obiektu.
- ↓
- Kolejne fragmenty zeskanowanej powierzchni są ze sobą łączone w sposób automatyczny

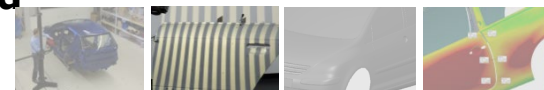


SKANER ATOS III Triple Scan

Projekcja prążków strukturalnych na powierzchni mierzonego obiektu

Etapy procesu digitalizacji

- Umieszczenie głowicy pomiarowej w odległości bazowej od mierzonej powierzchni



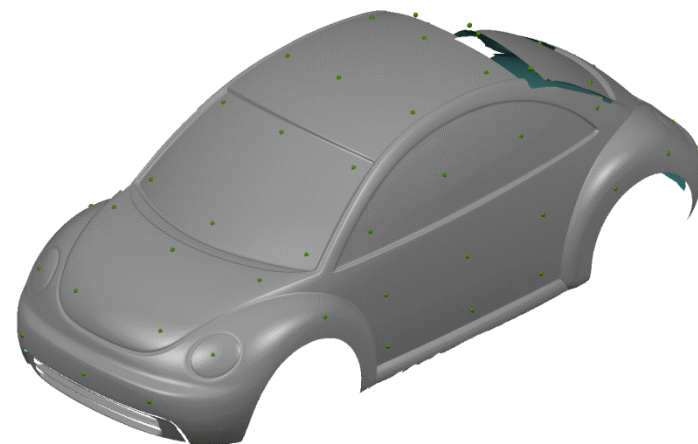
- Po wykonaniu pojedynczego pomiaru wykonywany jest pomiar kolejnego fragmentu powierzchni obiektu (względna zmiana pozycji skanera względem skanowanego obiektu)



- Rejestracja kolejnych fragmentów odwzorowujących powierzchnię mierzonego obiektu.



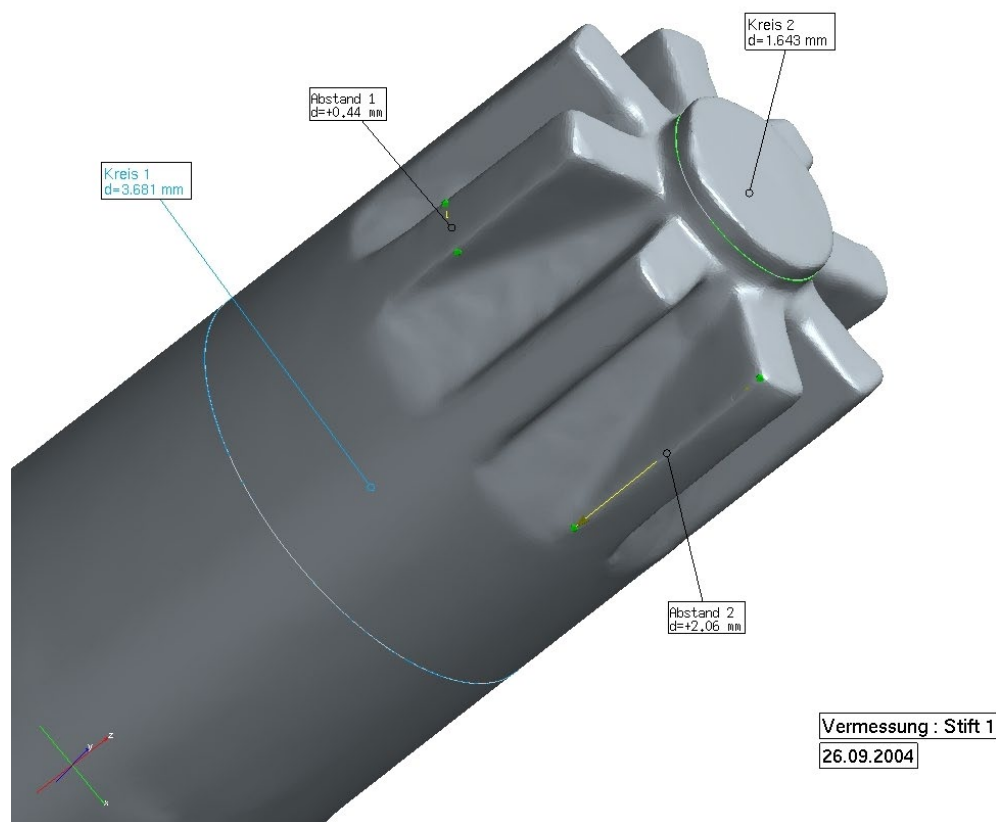
- Kolejne fragmenty zeskanowanej powierzchni są ze sobą łączone w sposób automatyczny.



SKANER ATOS III Triple Scan

Projekcja prążków strukturalnych na powierzchni mierzonego obiektu

Możliwość skanowania obiektów o małych wymiarach gabarytowych

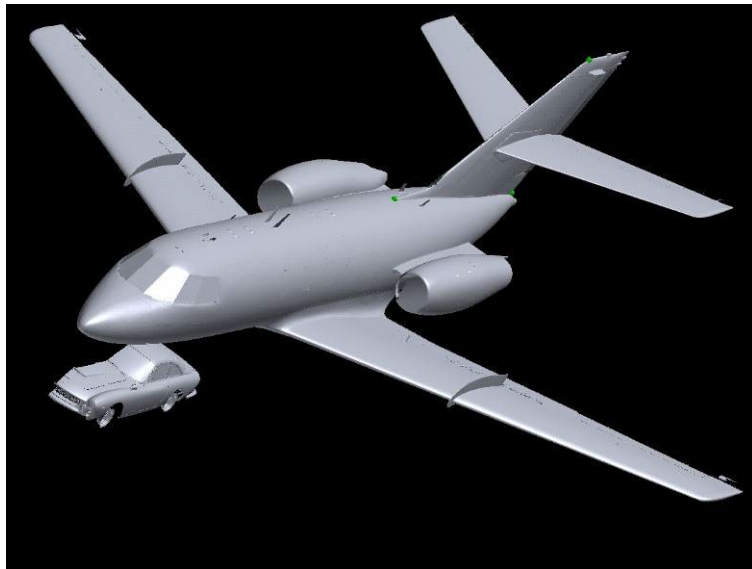


High precision: 0.01 mm (absolute)

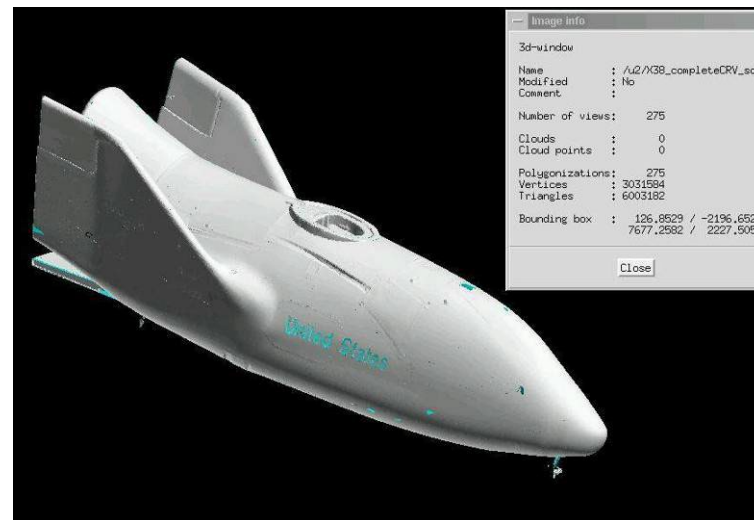
SKANER ATOS III Triple Scan

Projekcja prążków strukturalnych na powierzchni mierzonego obiektu

Możliwość skanowania obiektów o dużych wymiarach gabarytowych



Comparison between Ferrari 1:1 and Falcon F20



NASA X 38 space glider

Projekcja prążków strukturalnych na powierzchni mierzonego obiektu Możliwości zastosowania głowicy pomiarowej

Modular design



Simple to adjust and modify

One sensor head



Mobile measuring system
19" PC & industrial stand



Table-top system
Vertical lift & turntable



ATOS ScanBox
Robot & turntable

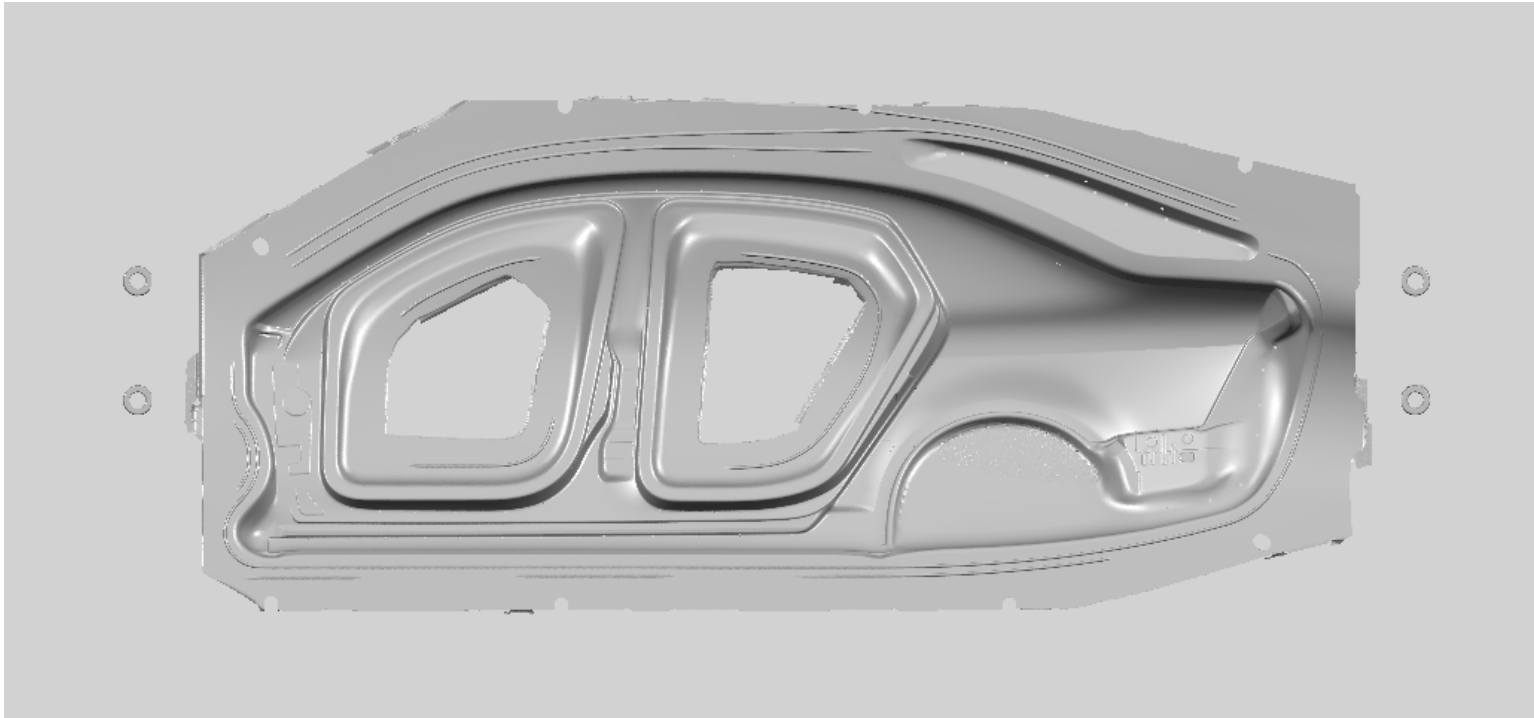
Przykłady zastosowania skanera ATOS

Pomiar elementów oprzyrządowania (tłoczników) prasy do obróbki plastycznej blachy



Przykłady zastosowania skanera ATOS

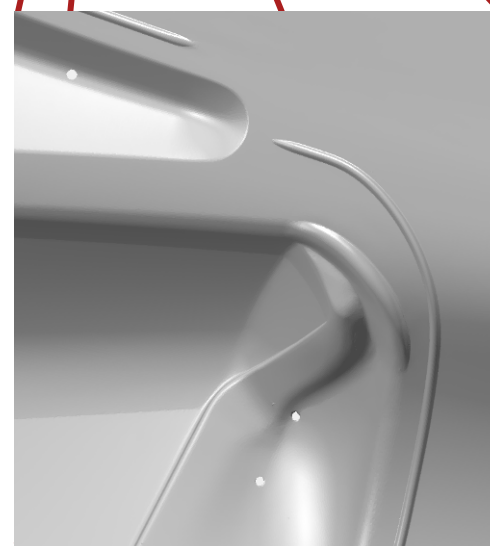
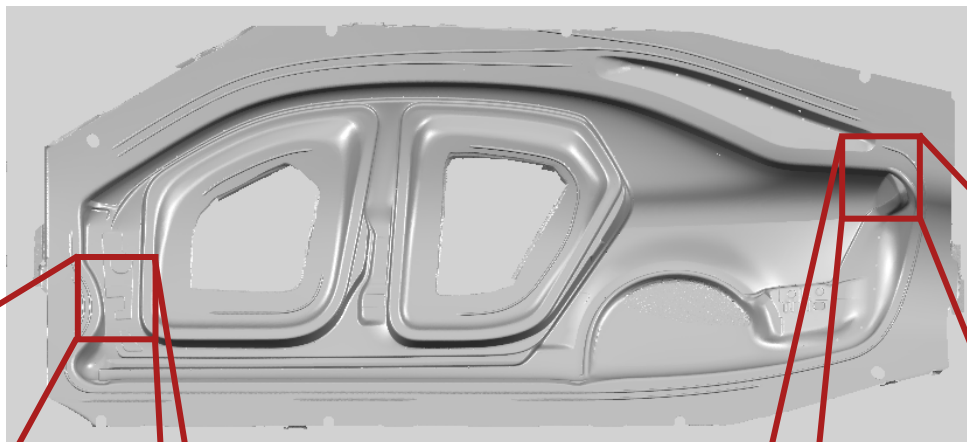
Pomiar elementów oprzyrządowania (tłoczników) prasy do obróbki plastycznej blachy



- Side panel of VW Phaeton
- Goal: Reverse engineering

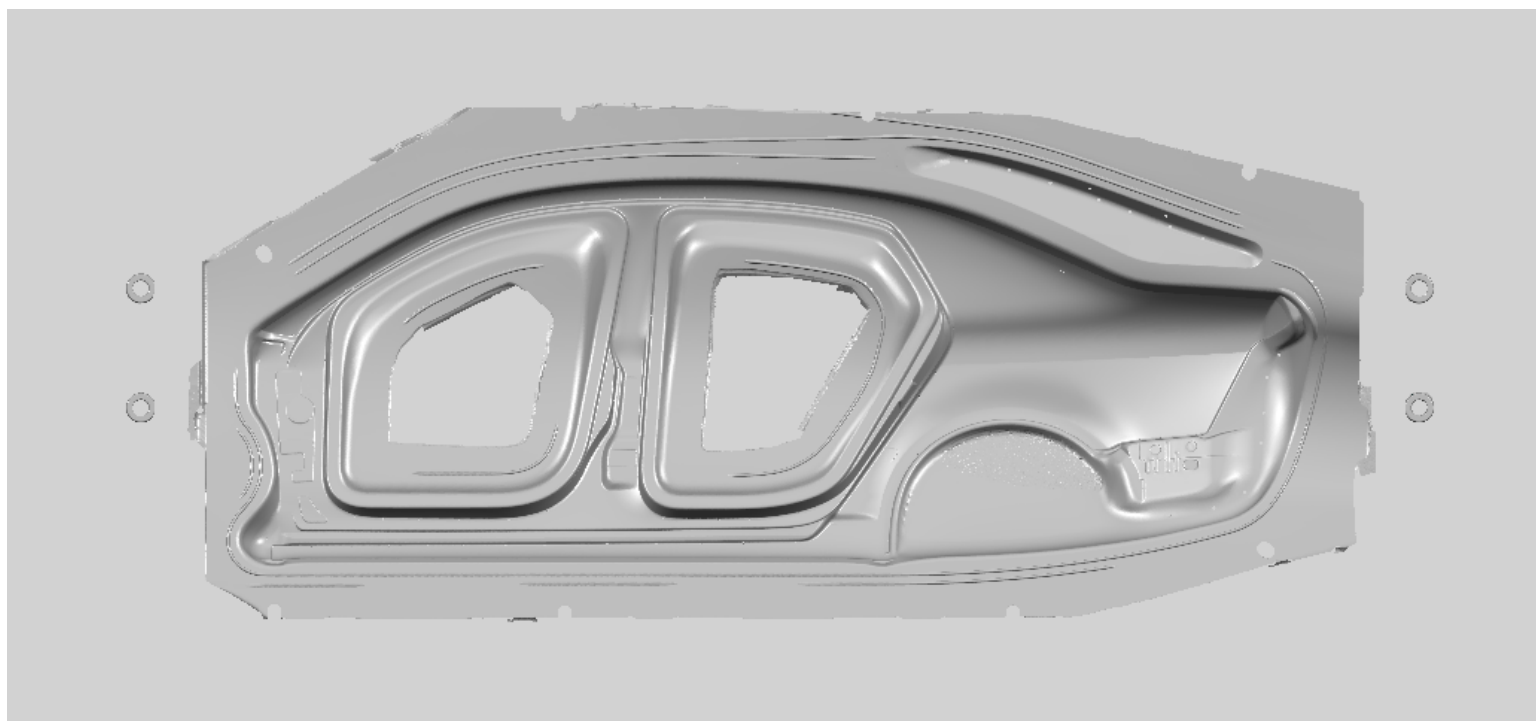
Przykłady zastosowania skanera ATOS

Pomiar elementów oprzyrządowania (tłoczników) prasy do obróbki plastycznej blachy



Przykłady zastosowania skanera ATOS

Pomiar elementów oprzyrządowania (tłoczników) prasy do obróbki plastycznej blachy

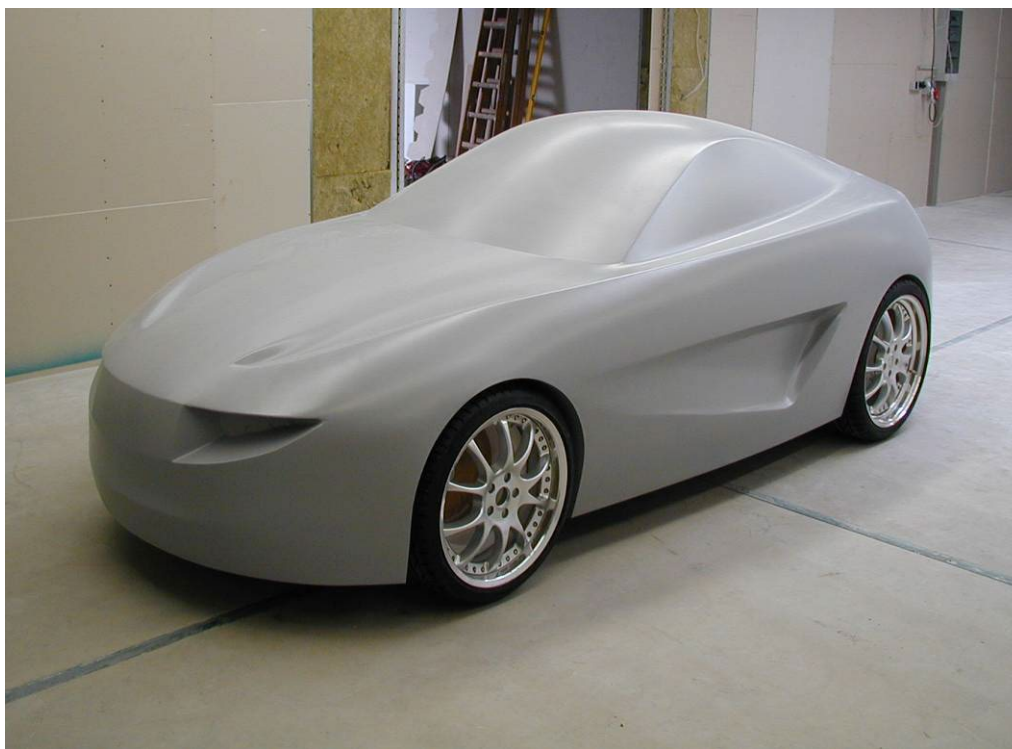


- Side panel of VW Phaeton
- Goal: Reverse engineering

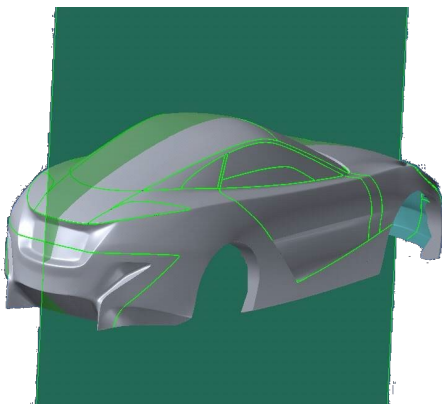
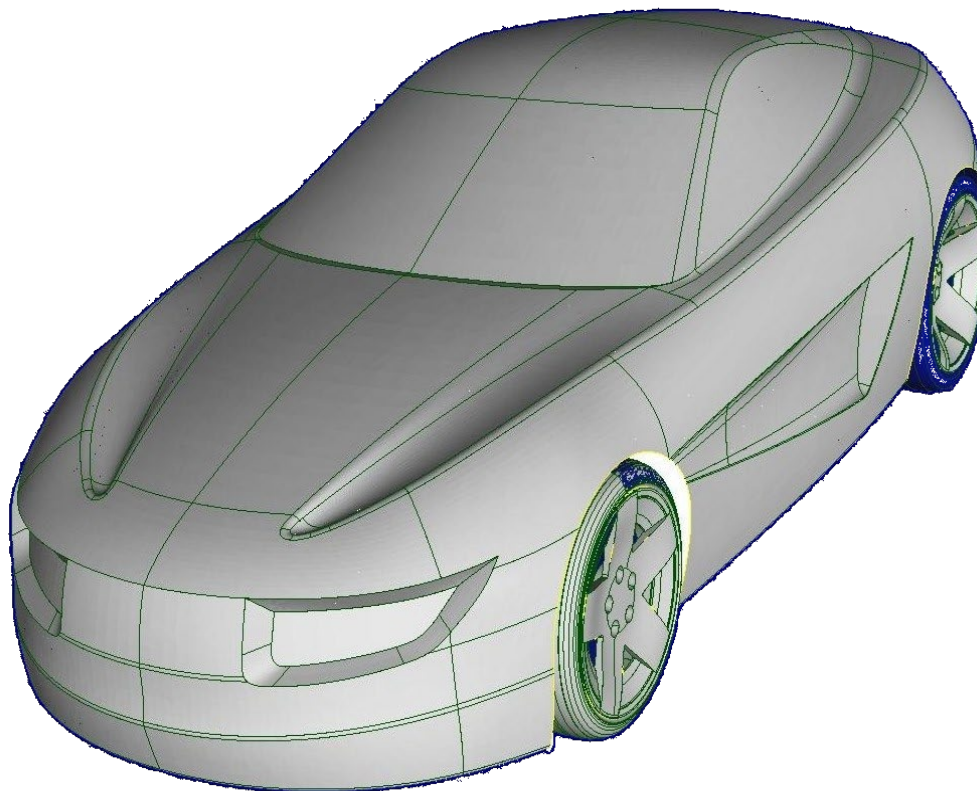
Przemysł motoryzacyjny – odwzorowanie modeli karoserii samochodów



Przemysł motoryzacyjny – odwzorowanie modeli karoserii samochodów



Przemysł motoryzacyjny – odwzorowanie modeli karoserii samochodów



- 3D scan
- Mirroring
- Reverse engineering

Zastosowanie praktyczne – kontrola jakości

Importing CAD data

Import inspection plan

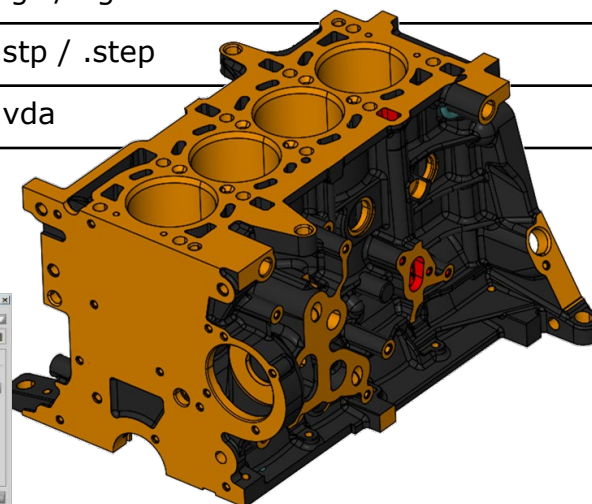
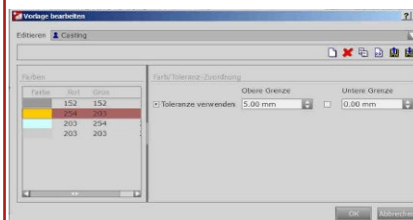
Scan surface

Align data to CAD

Inspection

Export data

CATIA v4	.dlv / .exp / .model
CATIA v5	.CATPart / .CATproduct / .cgr
Pro/Engineer	.neu
Unigraphics, Pro/Engineer	.prt
Parasolid	.x_t
JTOpen	.jt
IGES	.igs / .iges
STEP	.stp / .step
VDA	.vda



Import from CAD data with surface tolerances for single patches

Zastosowanie praktyczne – kontrola jakości

Importing CAD data

Import inspection plan

Scan surface

Align data to CAD

Inspection

Export data



Component measurement

Zastosowanie praktyczne – kontrola jakości

Importing CAD data

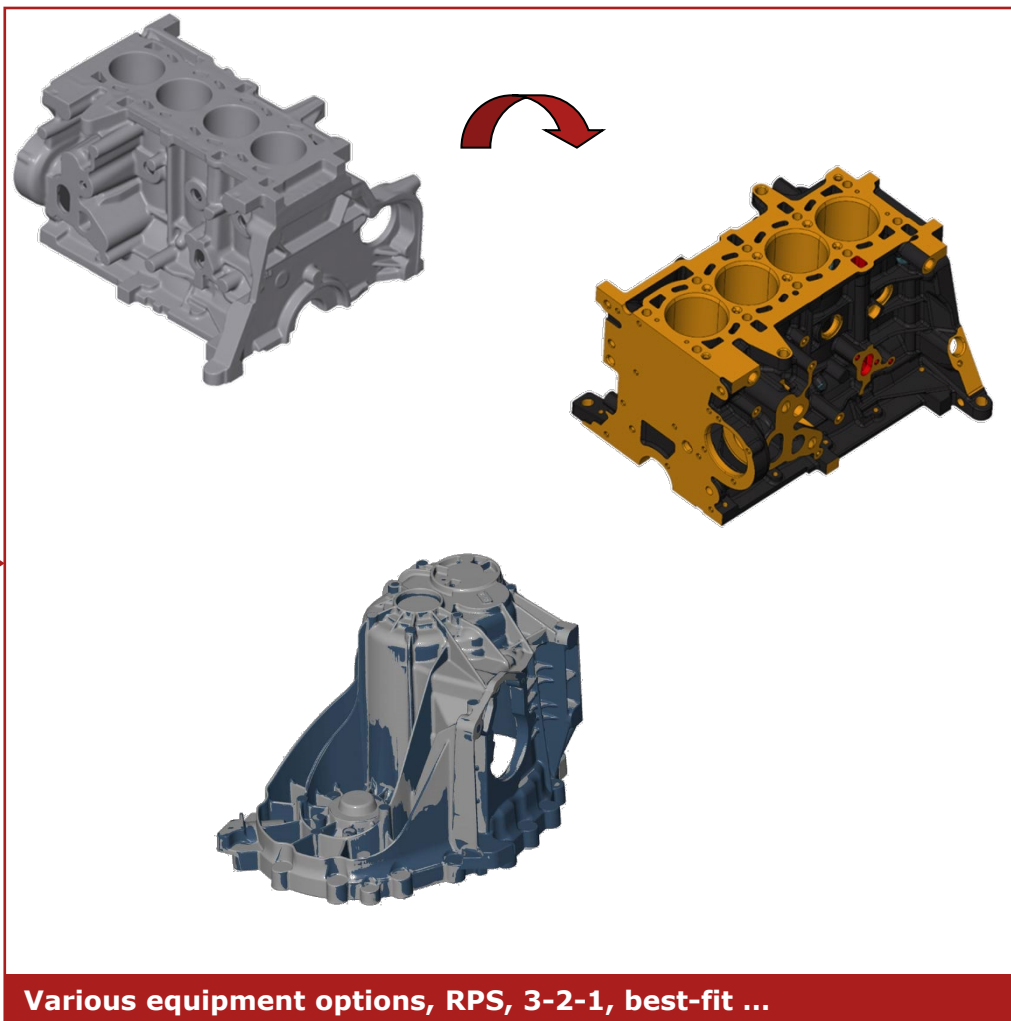
Import inspection plan

Scan surface

Align data to CAD

Inspection

Export data



Zastosowanie praktyczne – kontrola jakości

Importing CAD data

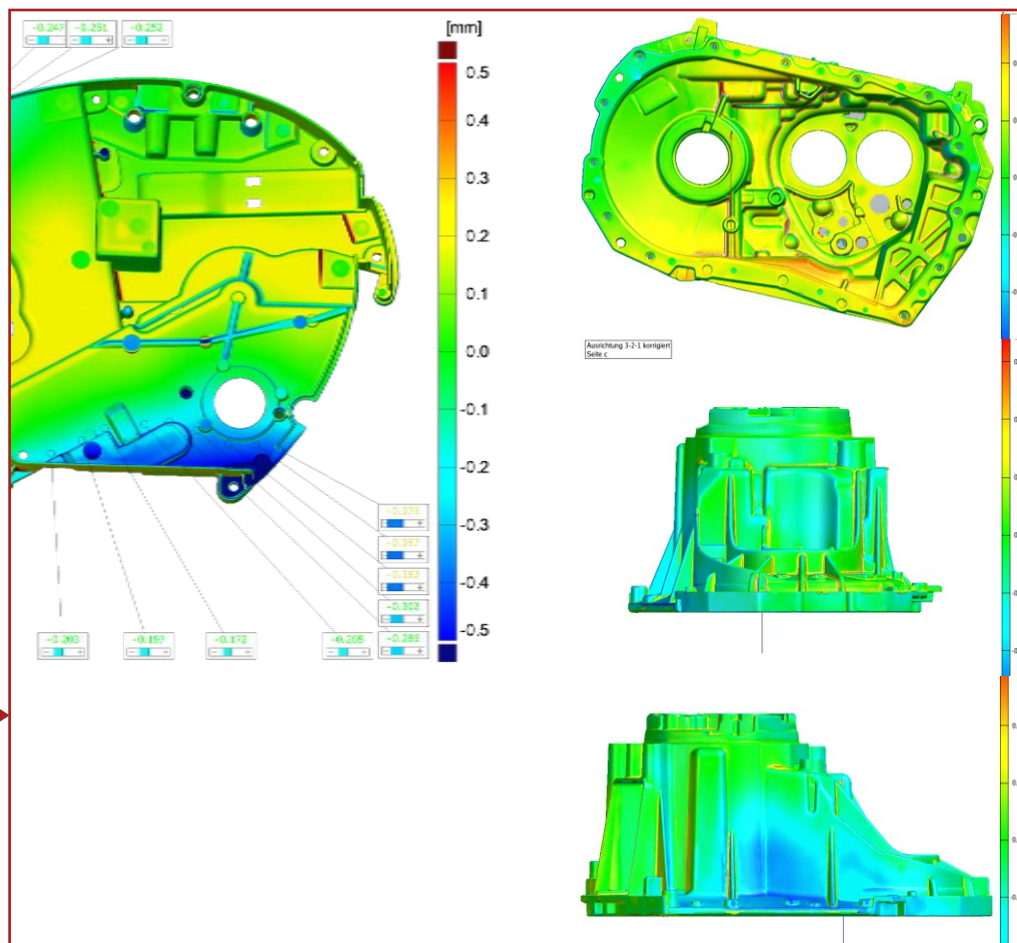
Import inspection plan

Scan surface

Align data to CAD

Inspection

Export data



Zastosowanie praktyczne – kontrola jakości

Importing CAD data

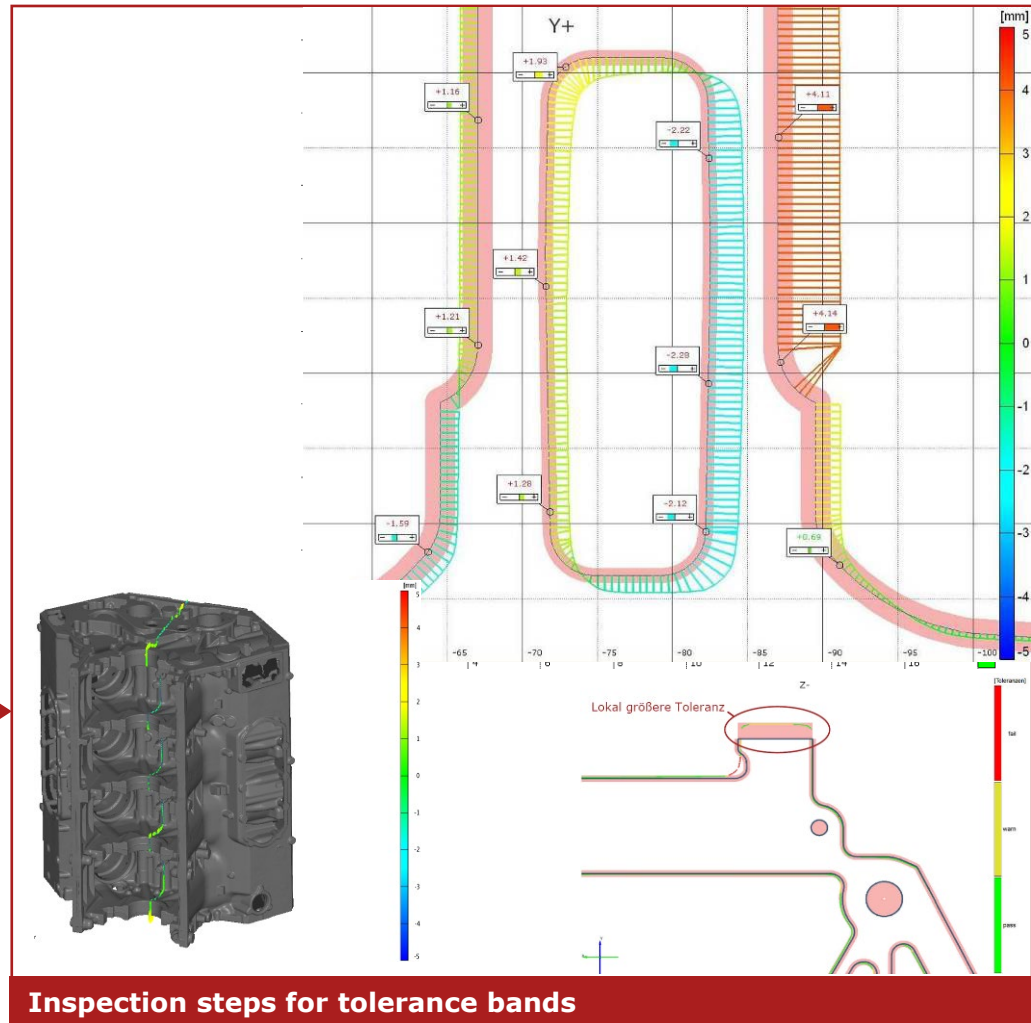
Import inspection plan

Scan surface

Align data to CAD

Inspection

Export data



Inspection steps for tolerance bands

Zastosowanie praktyczne – kontrola jakości

Importing CAD data

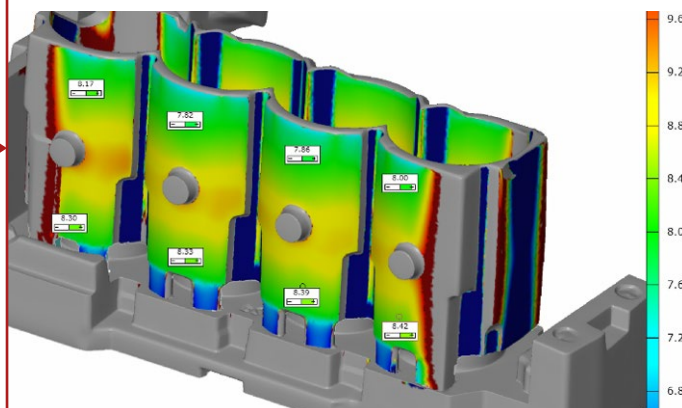
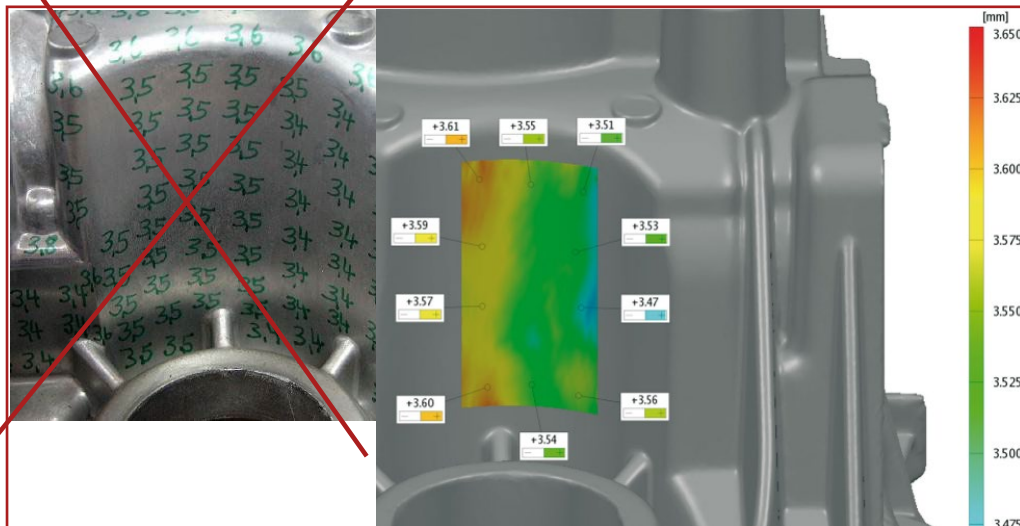
Import inspection plan

Scan surface

Align data to CAD

Inspection

Export data

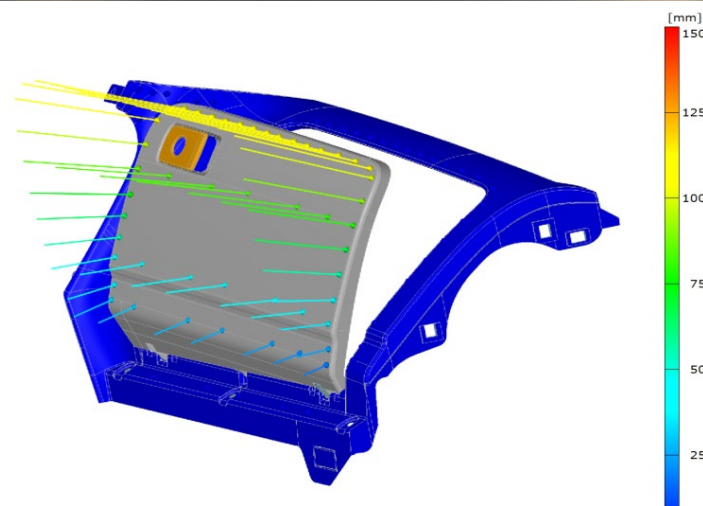
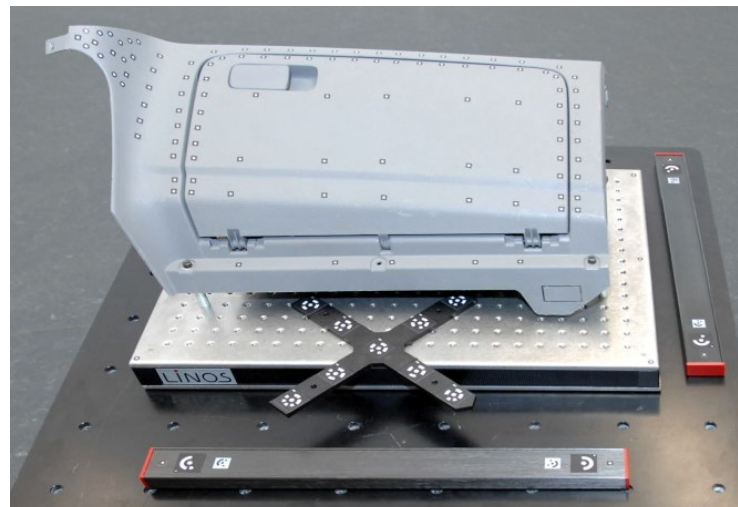


Full surface wall thickness analysis

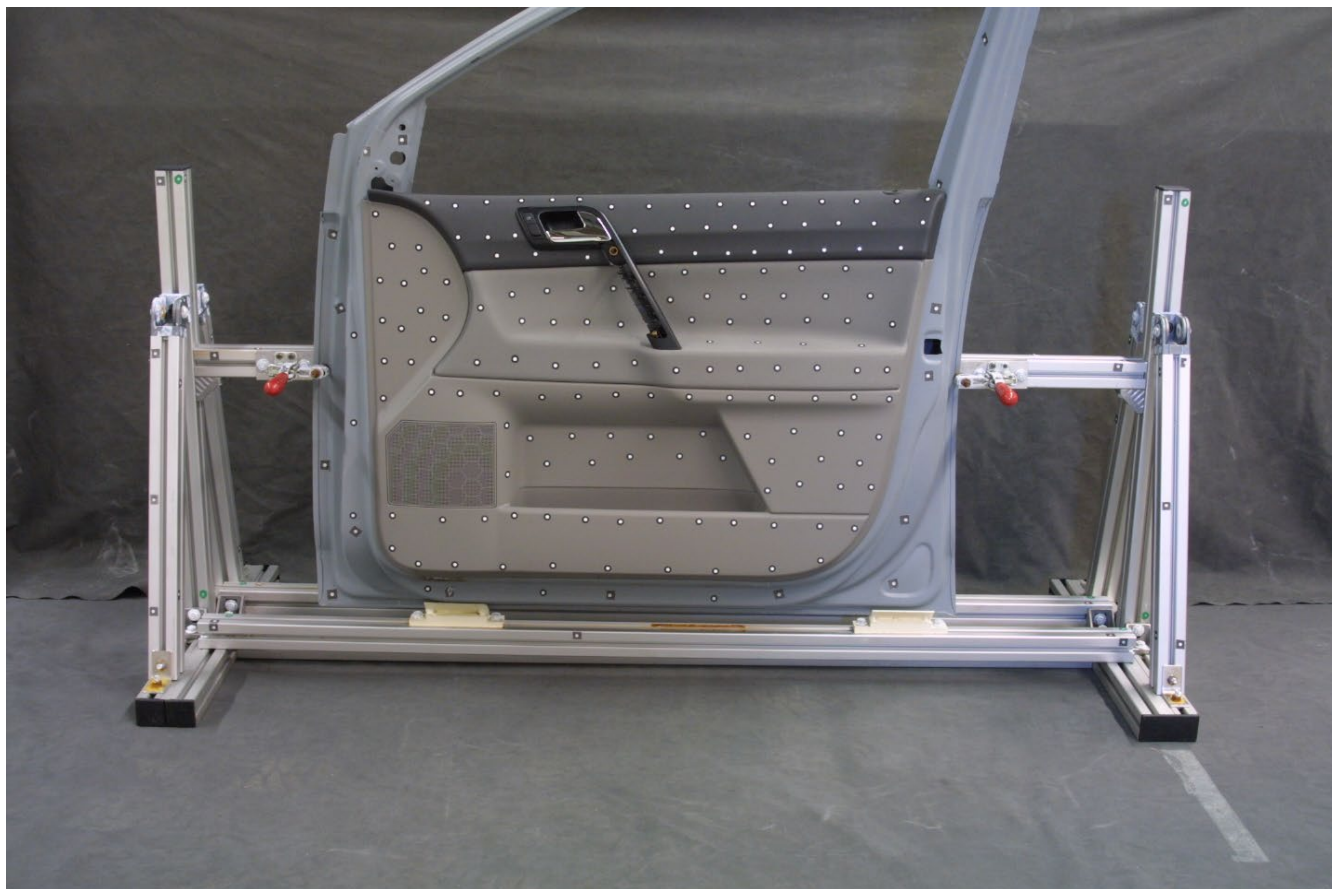
Przykłady zastosowania fotogrametrii

Pomiar deformacji obiektów

- Pomiar wartości deformacji wynikających z obciążenia o charakterze mechanicznym bądź termicznym
- Zasada działania: Porównanie wyników dwóch pomiarów (przed i po obciążeniu)
- Wyniki: Rozkład wartości lokalnych wektorów przemieszczenia w mierzonych punktach

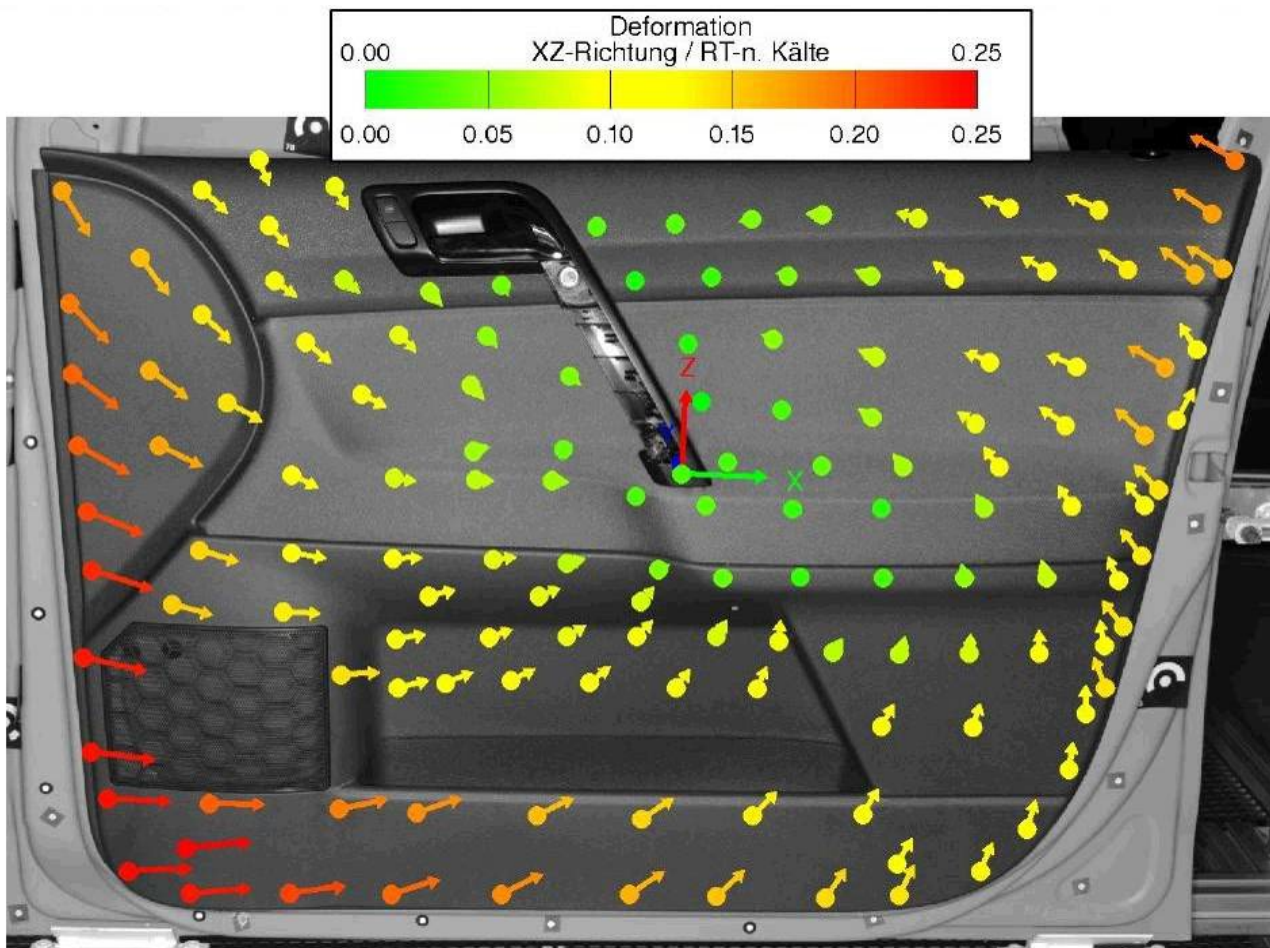


Zastosowanie praktyczne



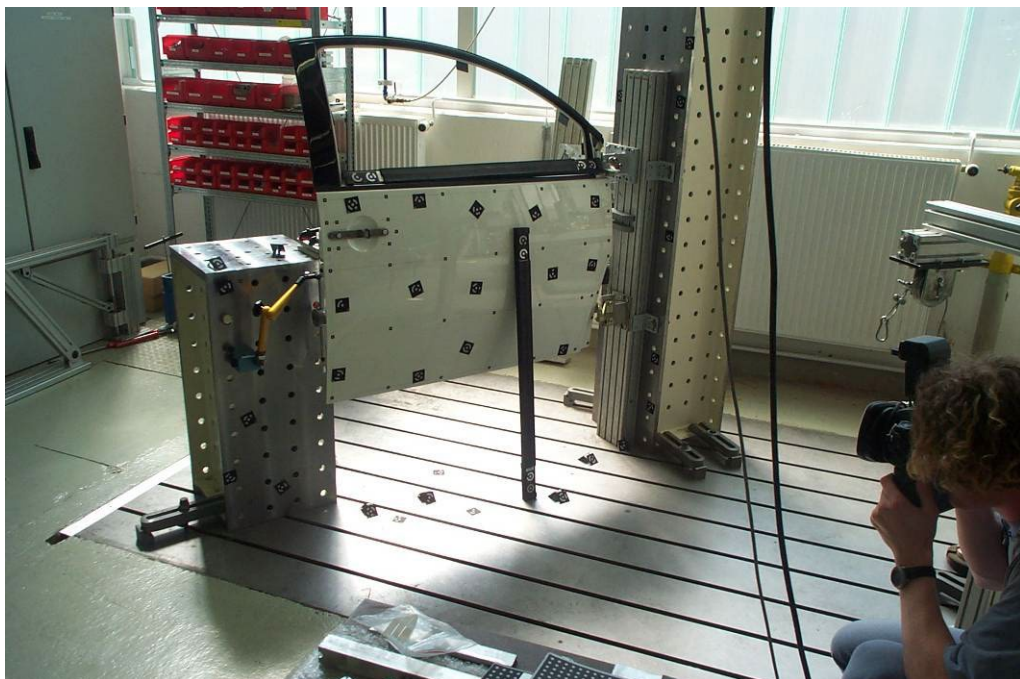
Pomiar z wykorzystaniem markerów. W trakcie pomiarów rejestrowano wpływ temperatury (-20°C 120°C), na odkształcenie (paczenie się) elementów plastikowych obicia drzwi samochodowych

Zastosowanie praktyczne

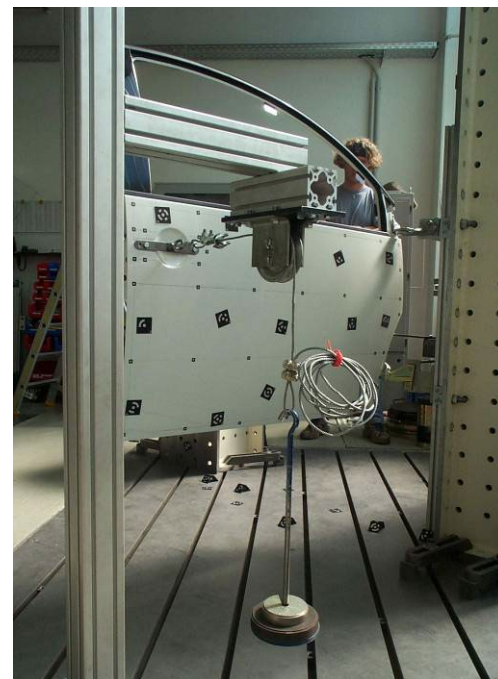


Vector-based visualization of deformation

Zastosowanie praktyczne

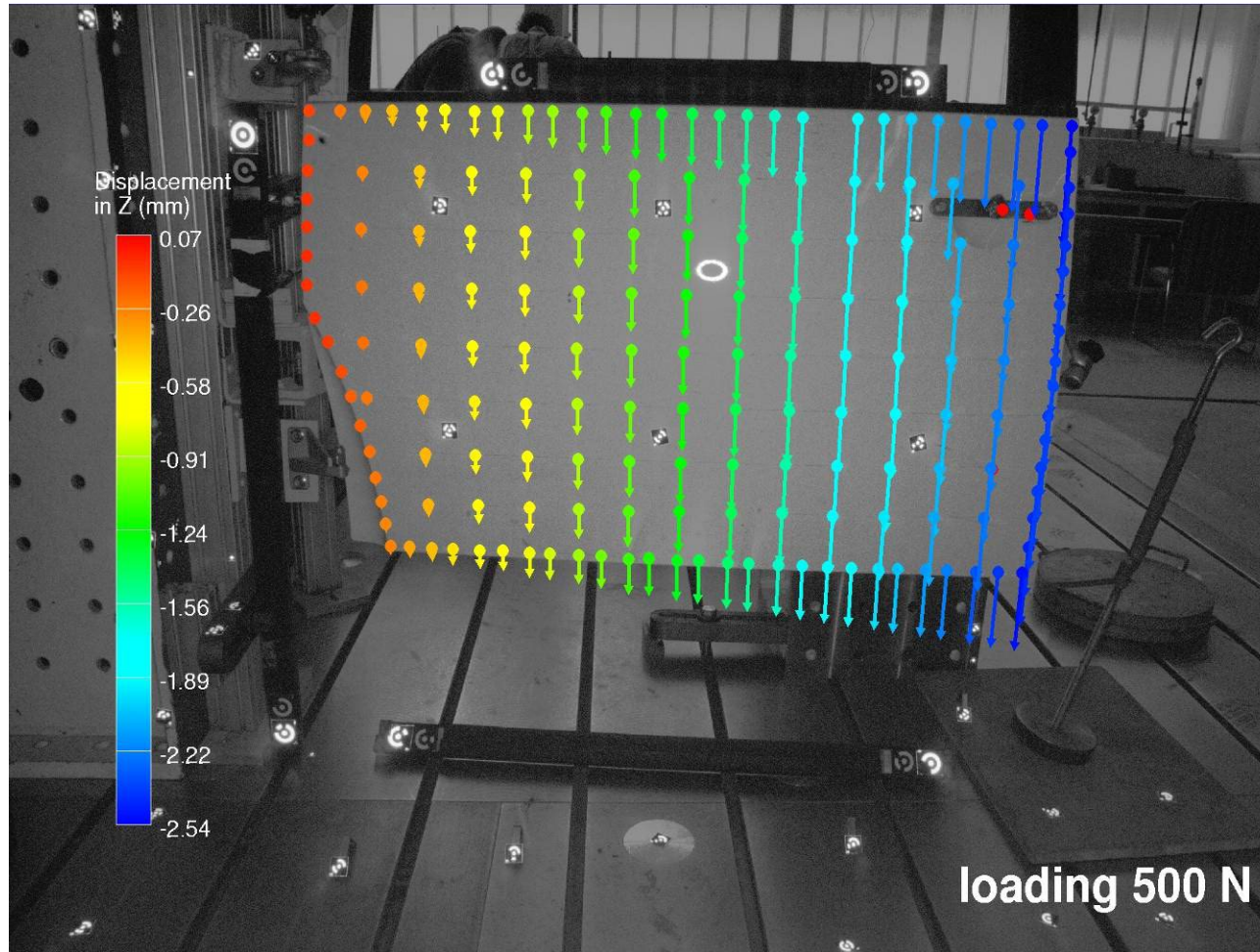


Status 1: Door in resting state



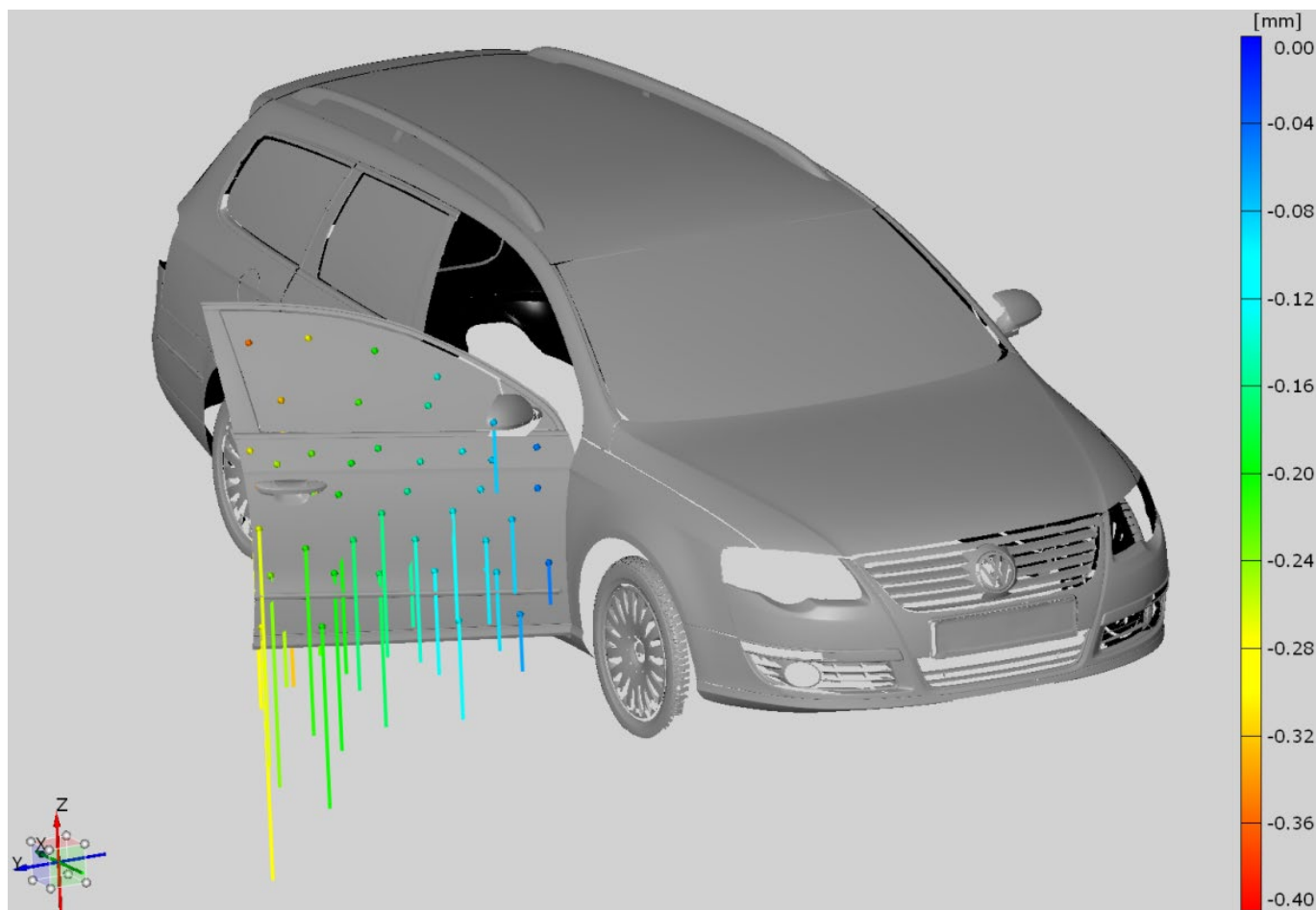
Status 2: Door subjected to loading

Zastosowanie praktyczne



Deformation in Z-direction

Zastosowanie praktyczne



Deformation in Z direction

Zastosowanie optycznego skanera 3D w przemyśle obronnym



Chwyt



**Krzywka mechanizmu
dosyłania**



**Język
spustowy**



Kurek



**Bezpiecznik – przełącznik
zmiany rodzaju ognia**



Kabłak

Zastosowanie optycznego skanera 3D w przemyśle obronnym

Stanowisko pomiarowe wykorzystywane do procesu digitalizacji z wykorzystaniem optycznego skanera 3D:

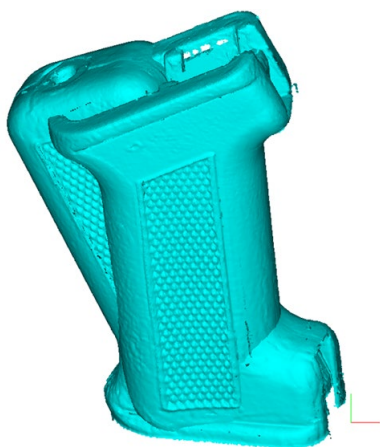


Uzyskanie najlepszych rezultatów wymagało:

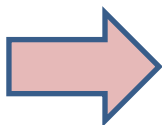
- ✓ Zapewnienia odpowiedniego oświetlenia;
- ✓ Ustawienia głowicy skanera pod kątem 45° ;
- ✓ Umieszczenia obiektu w środku objętości pomiarowej;
- ✓ Zdigitalizowanie obiektu w różnych orientacjach;

Proces edycji danych pomiarowych w programie S3Dm składał się z następujących etapów:

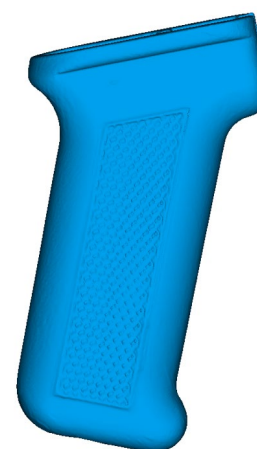
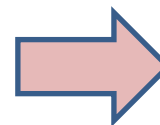
- redukcja objętości chmury punktów;
- wzajemne dopasowanie poszczególnych skanów;
- wygenerowanie siatki trójkątów na podstawie danych w postaci chmury punktów;
- edycja siatki trójkątów;



**Widok ogólny wykonanych
pomiarów geometrii chwytu**

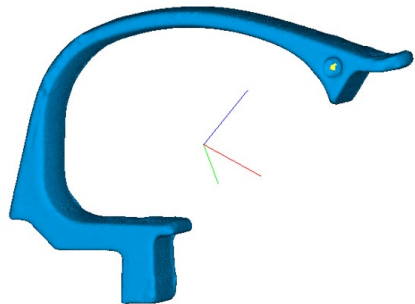


**Widok ogólny chmury
punktów po wykonanej edycji**

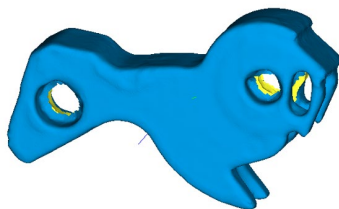


**Widok ogólny siatki trójkątów
po wykonanej edycji**

Elementy odwzorowane za pomocą optycznego skanera 3D:



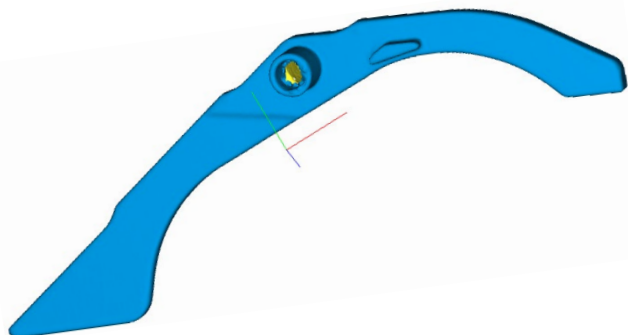
Kabłak



Kurek



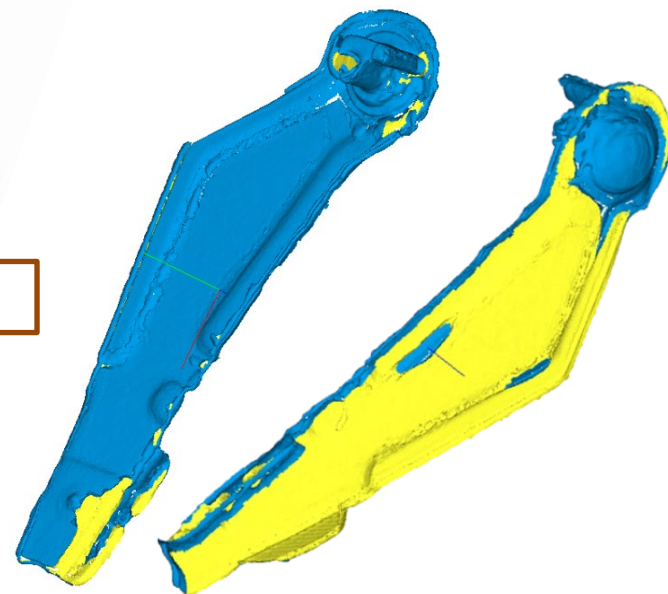
Chwyt



**Krzywka mechanizmu
dosyłania**

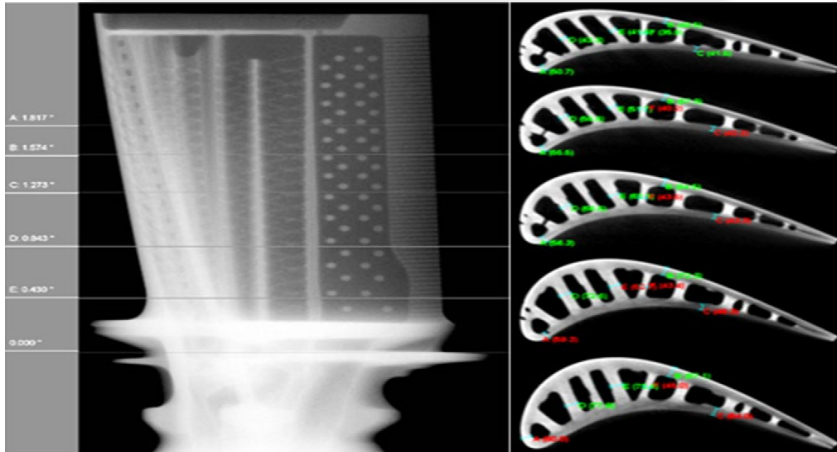


**Język
spustowy**

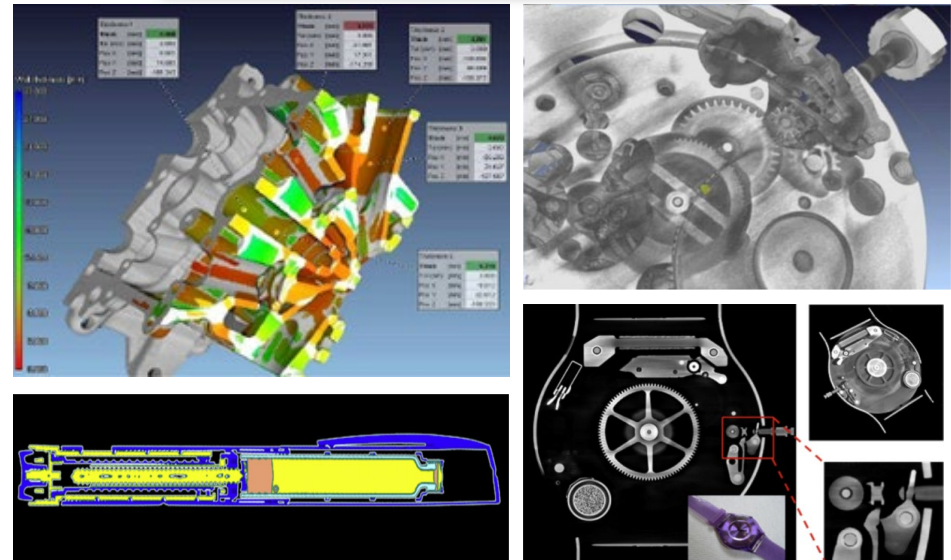


**Bezpiecznik – przełącznik
zmiany rodzaju ognia**

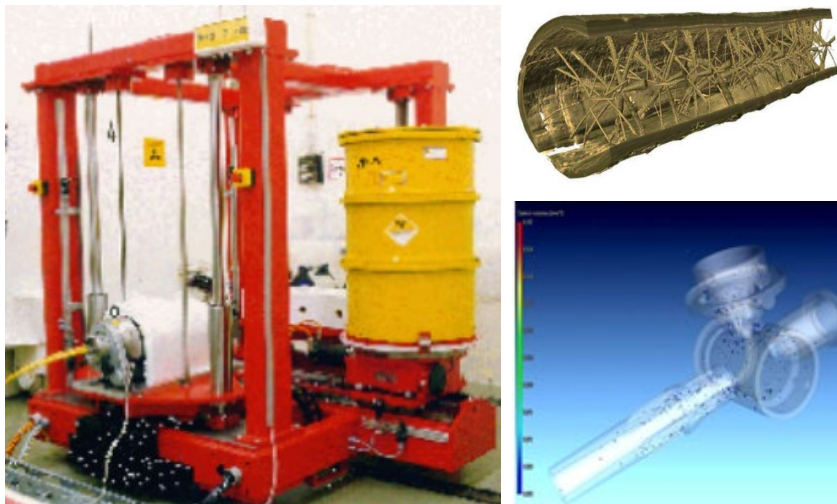
Analiza geometrii wymiarów



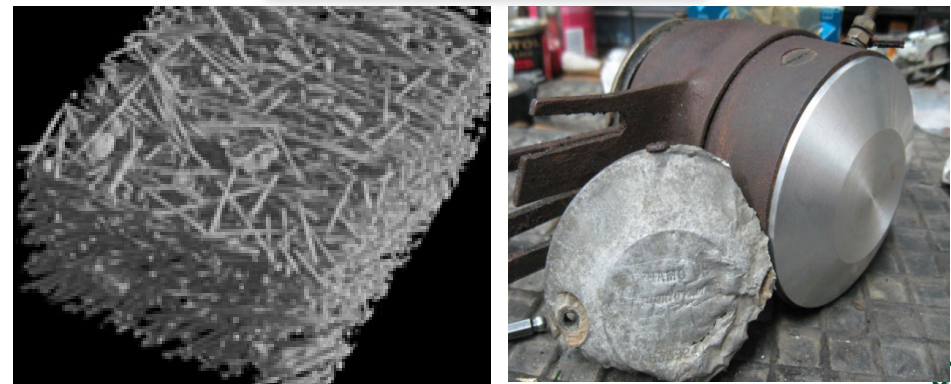
Ocena wykonania i montażu



Defektoskopia - diagnostyka

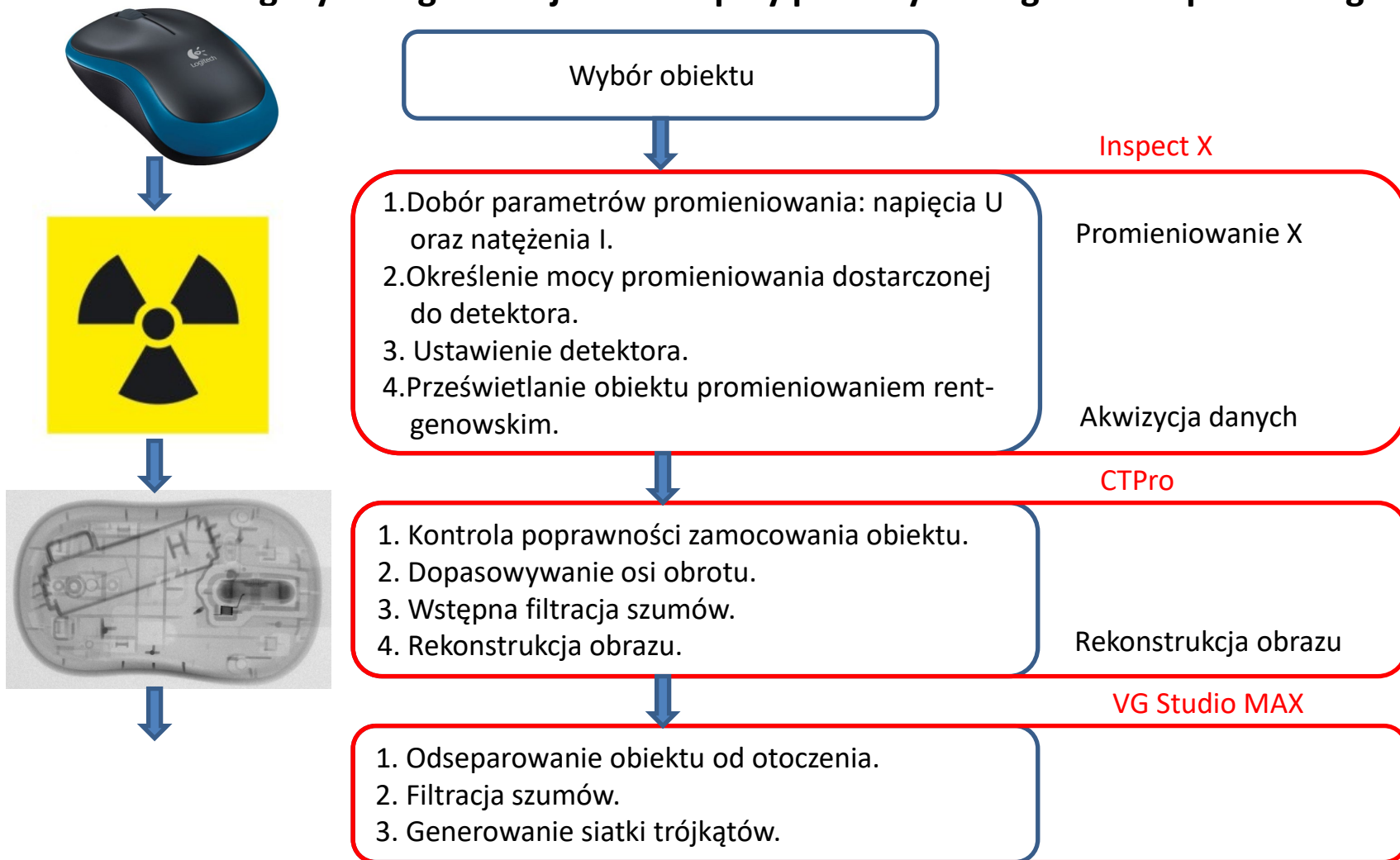


Inżynieria odwrotna



Realizacja procesu digitalizacji

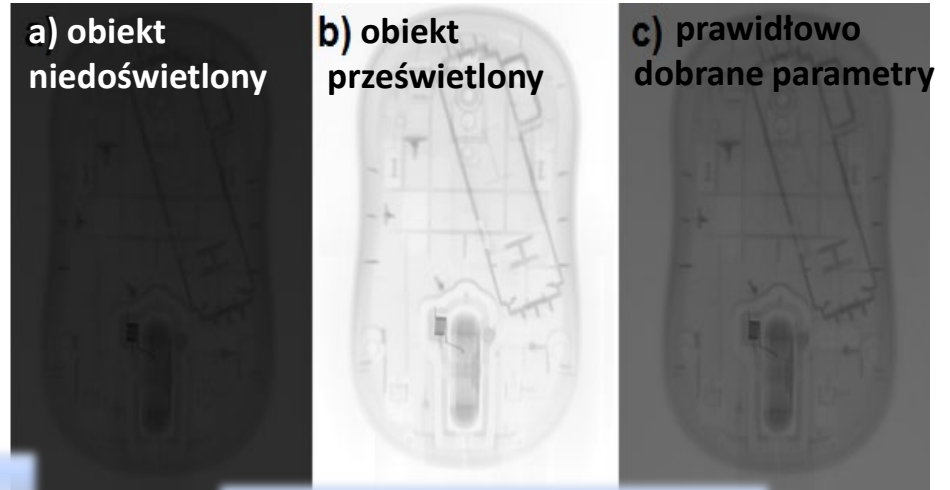
Algorytm digitalizacji obiektu przy pomocy tomografu komputerowego



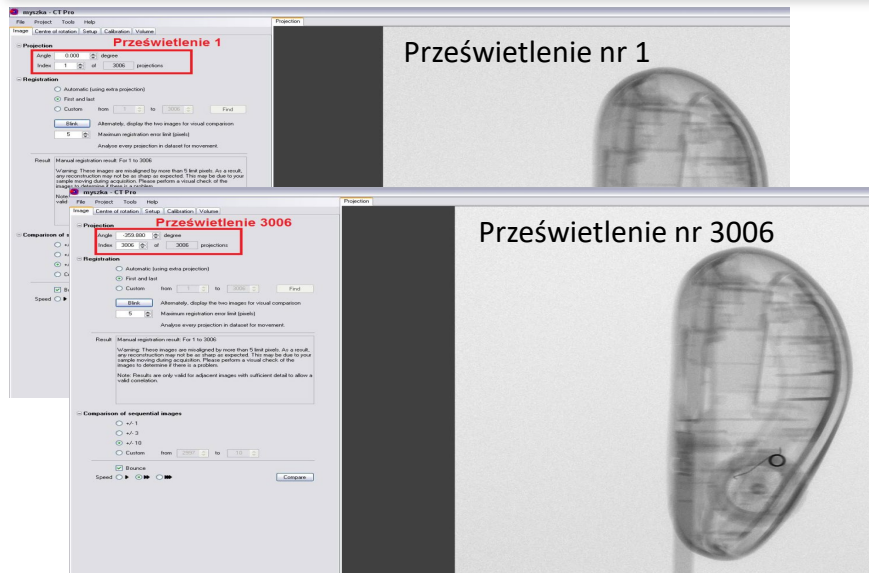
1. Zamocowanie obiektu



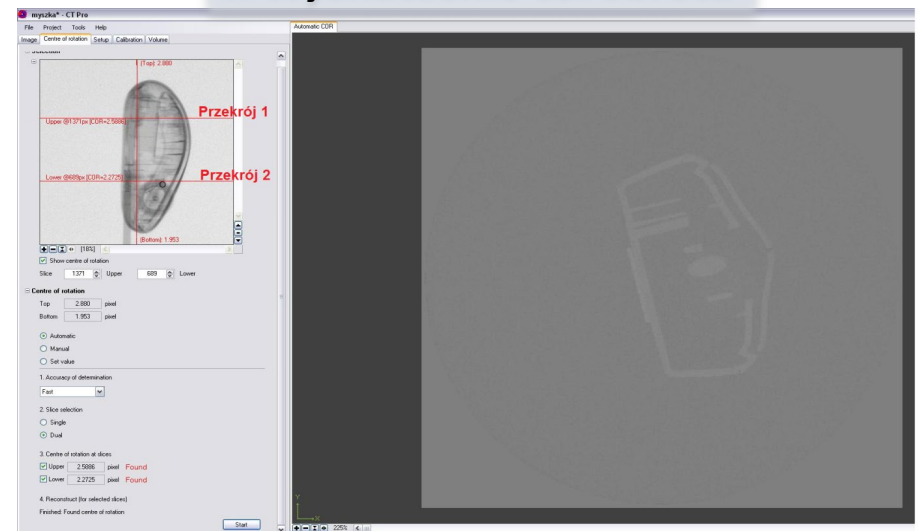
2. Dobór parametrów promieniowania



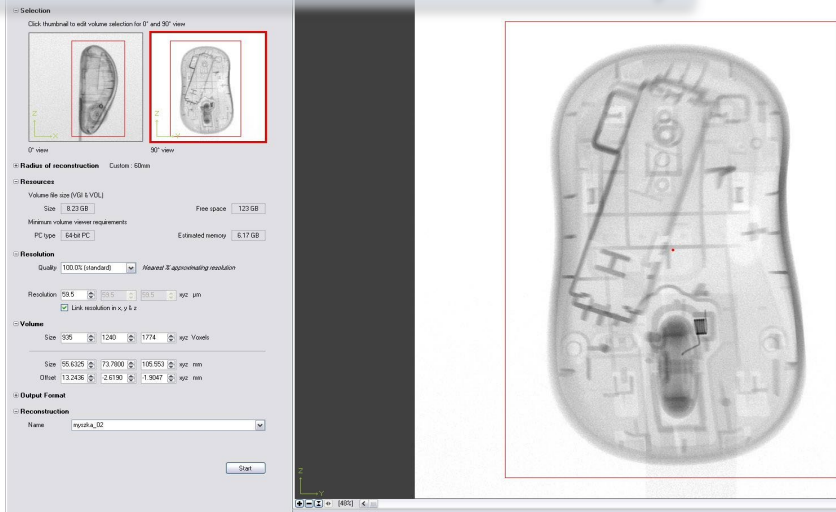
3. Porównanie pierwszej i ostatniej projekcji



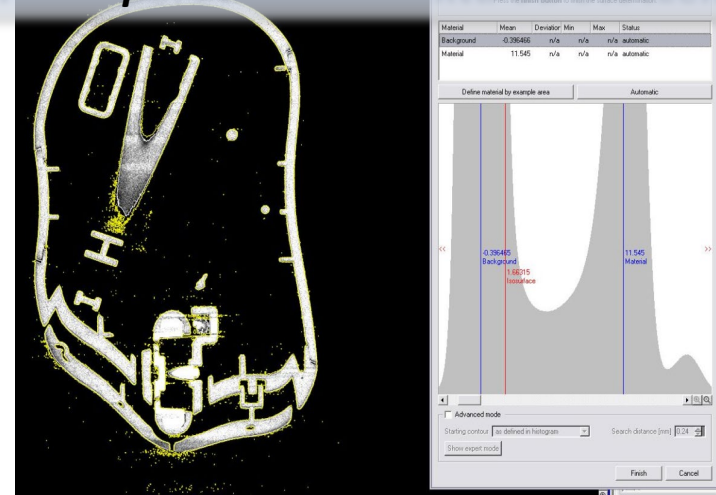
4. Wyznaczenie osi obrotu



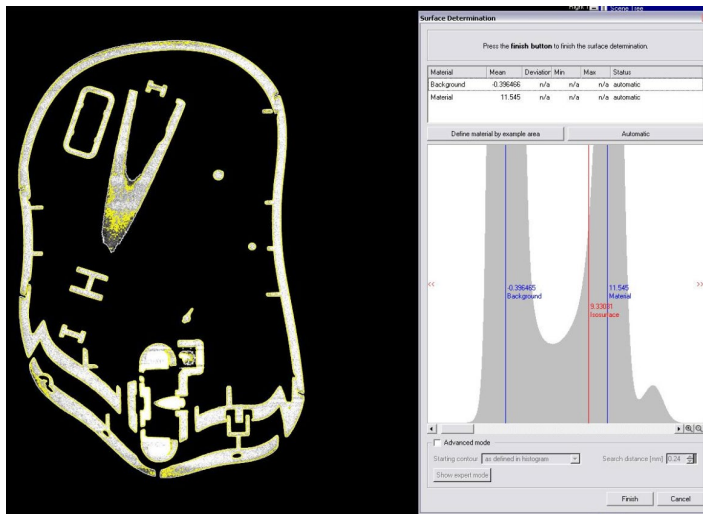
5. Określenie obszaru rekonstrukcji



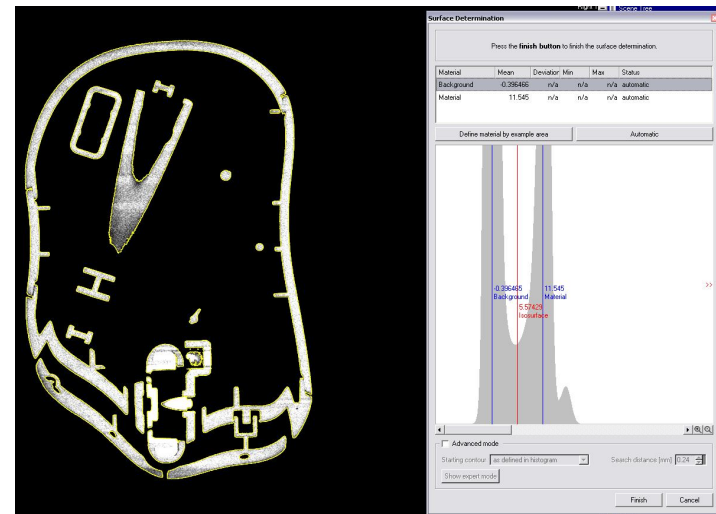
6. Odseparowanie obiektu od otoczenia



Obiekt wraz z szumami

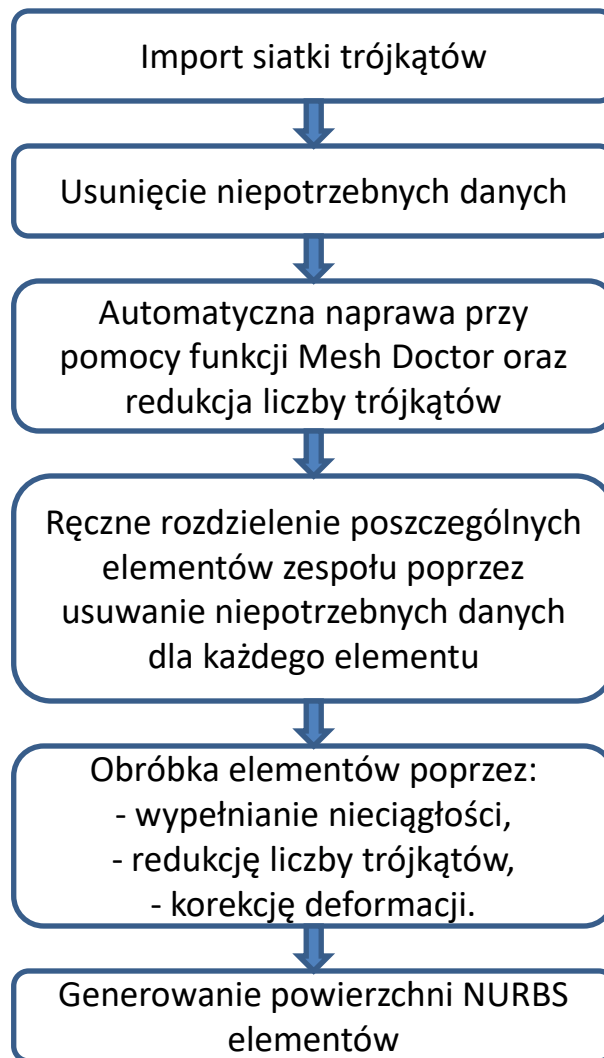


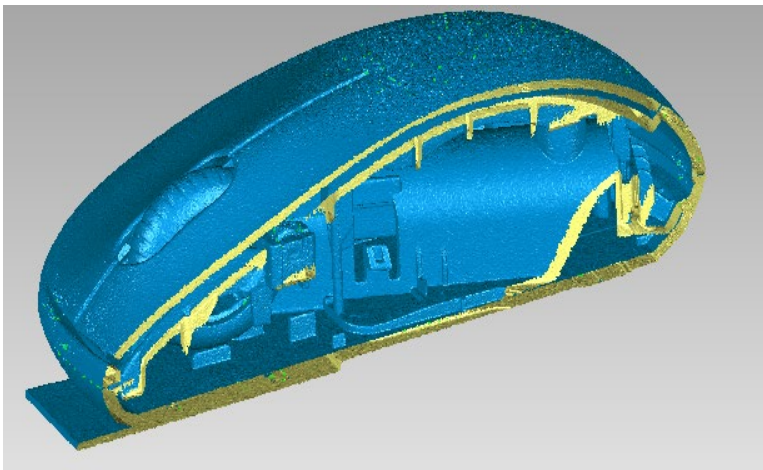
Obiekt z danymi, które zostaną utracone



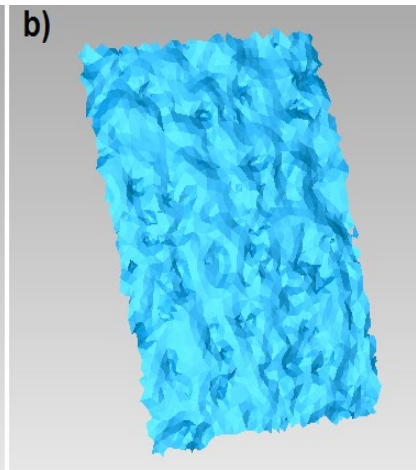
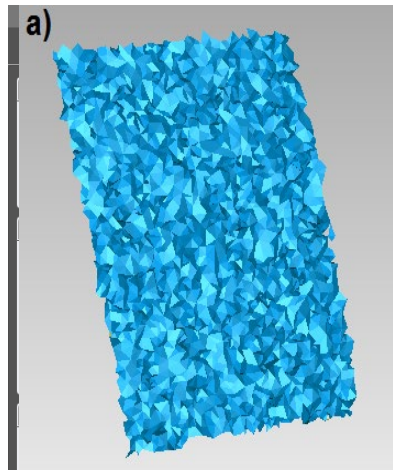
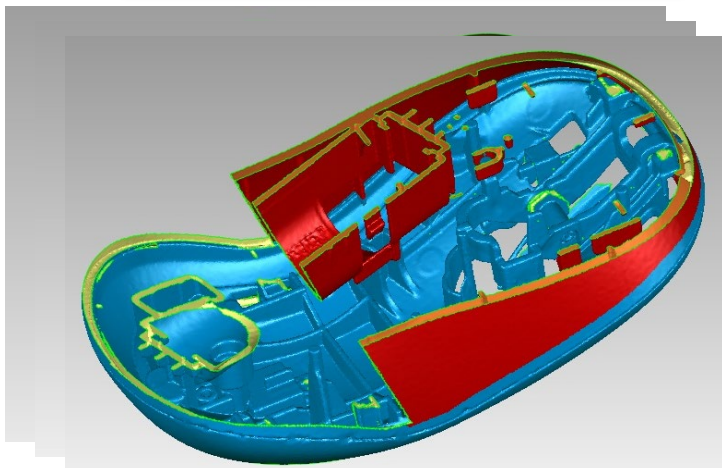
Prawidłowo odseparowany obiekt

Algorytm edycji danych pomiarowych w Geomagic Studio

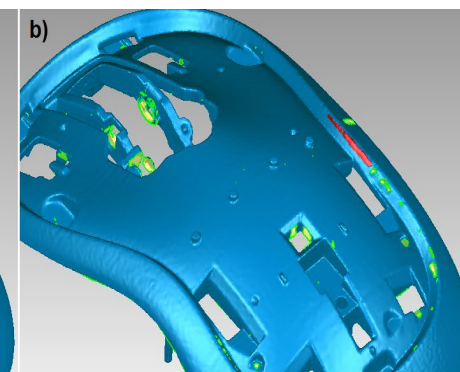
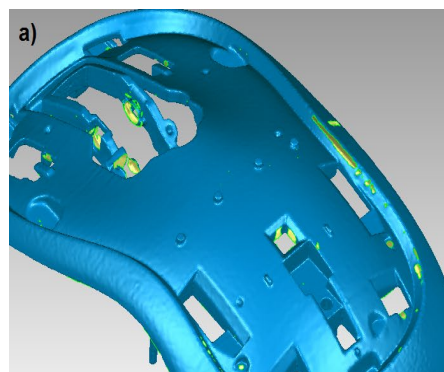




3. Oddzielenie elementów



4. Obróbka siatki trójkątów



7. Generowanie powierzchni NURBS

1

3

a)

Widok z góry

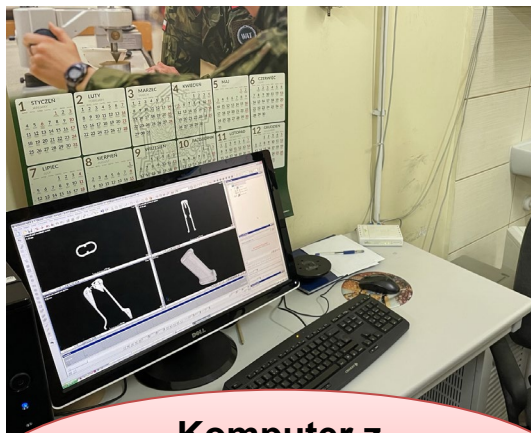
Widok z dołu

b)

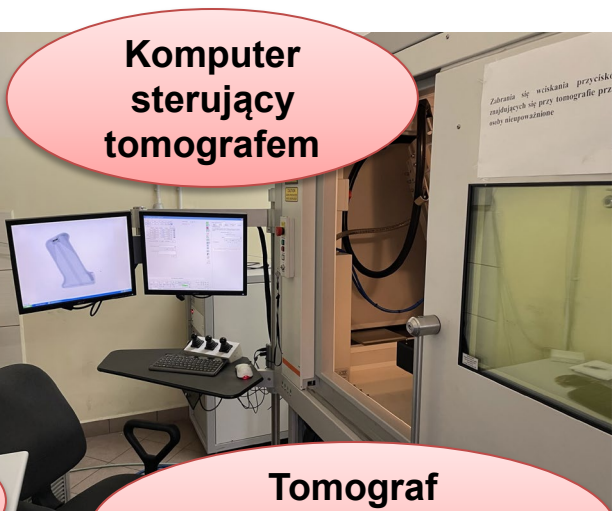
c)

d)

Stanowisko pomiarowe wykorzystywane do procesu digitalizacji z wykorzystaniem tomografu komputerowego:



Komputer z oprogramowaniem VGMax oraz CT Pro



Komputer sterujący tomografem



Tomograf komputerowy – Nikon XT H 225 ST

Uzyskanie najlepszych rezultatów wymagało:

- ✓ Zadbania by mierzony obiekt można było w łatwy sposób odróżnić od stołu pomiarowego;
- ✓ Umieszczenia w sposób stabilny badanego obiektu na stole roboczym;
- ✓ Przyjęcie odpowiednich parametrów pomiaru;

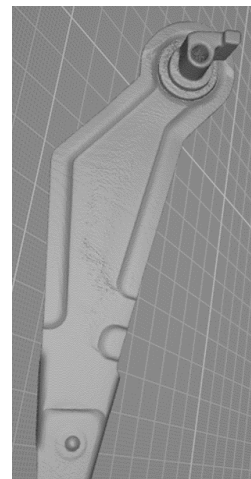
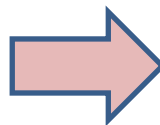
Przykładowe zamocowanie obiektu z wykorzystaniem gąbki

Proces edycji danych pomiarowych w programach VGSMAX oraz CT Pro składał się z następujących etapów:

- sprawdzenie wzajemnego pokrycia wszystkich zdjęć rentgenowskich;
- wyznaczenie osi obrotu obiektu;
- korekcja szumów pomiarowych;
- połączenie zdjęć i opracowanie modelu trójwymiarowego;
- ustalenie progu szarości;
- wygenerowanie siatki trójkątów.

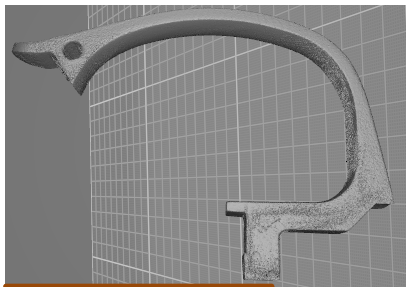


Widok ogólny wykonanego pomiaru bezpiecznika

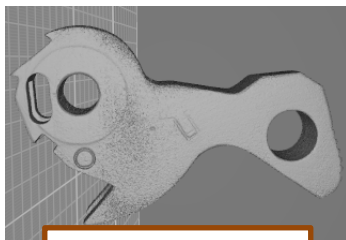


Widok ogólny siatki trójkątów po wykonanej edycji

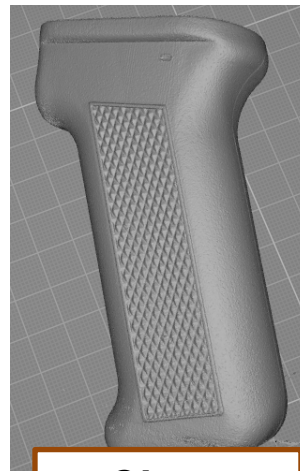
Elementy odwzorowane za pomocą tomografu komputerowego:



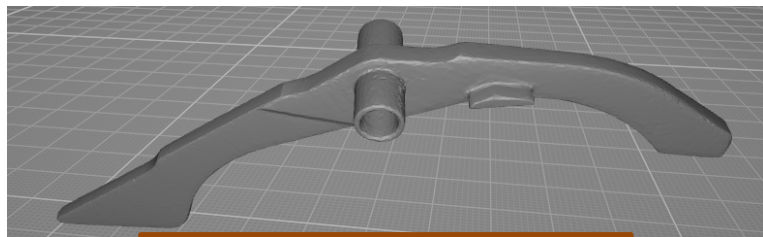
Kabłak



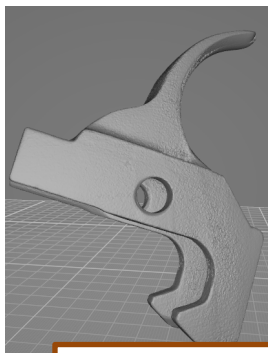
Kurek



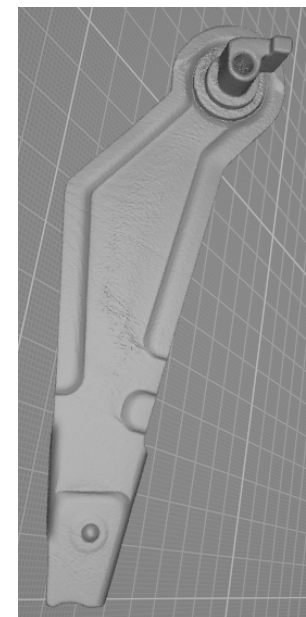
Chwyt



**Krzywka mechanizmu
dosyłania**



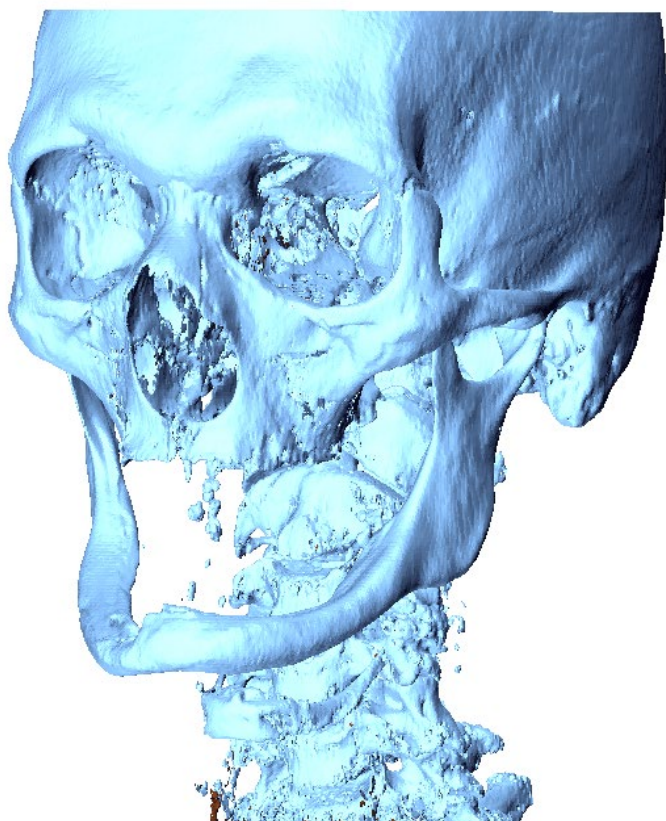
**Język
spustowy**



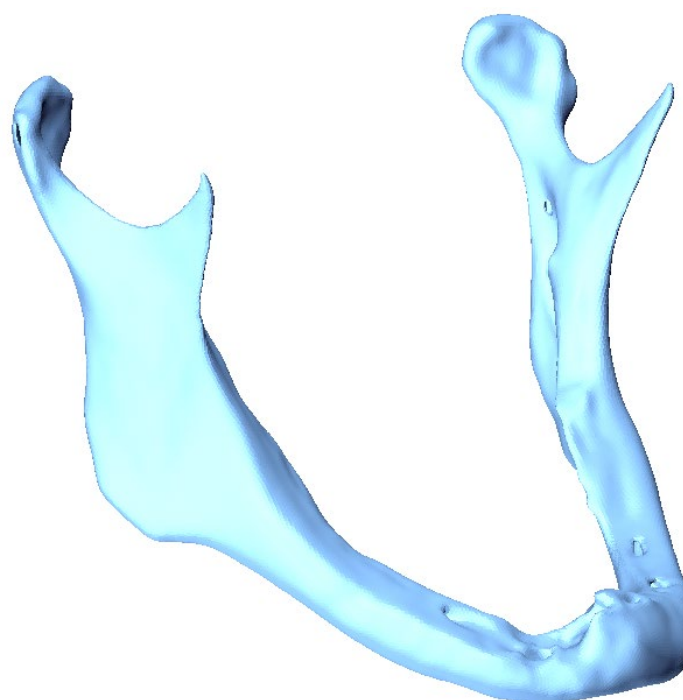
**Bezpiecznik – przełącznik
zmiany rodzaju ognia**

Rola inżynierii odwrotnej w bioinżynierii i medycynie

Odwzorowanie geometrii kości żuchwy na podstawie danych z tomografii medycznej



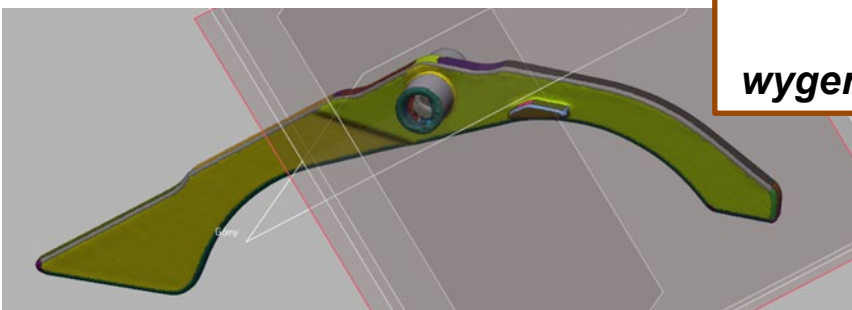
*model 3D pacjenta ze zmianami
nowotworowymi kości żuchwy*



*Wyizolowany model żuchwy gotowy
do przygotowania szablonów
chirurgicznych*

Proces opracowania modeli 3D CAD w programie Geomagic Design X składał się z następujących etapów:

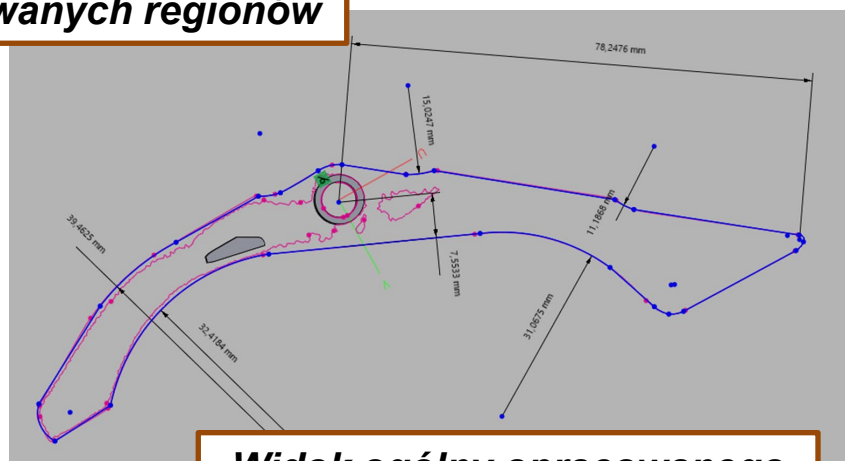
- wygenerowanie regionów na podstawie zaimportowanej siatki trójkątów;
- zdefiniowanie odpowiednich płaszczyzn;
- opracowanie szkiców na podstawie regionów i płaszczyzn;
- wygenerowanie brył powierzchniowych;



**Widok ogólny
wygenerowanych regionów**



**Widok ogólny
opracowanego modelu CAD**



**Widok ogólny opracowanego
szkicu razem z naniesionymi
wymiarami**



Geomagic Design X (3D Systems) to oprogramowanie do inżynierii odwrotnej i przetwarzania chmur punktów, które umożliwia przekształcanie skanów 3D w modele CAD edytowalne.

Oto ogólny przegląd etapów obróbki danych w Geomagic Design X:

1.Import danych pomiarowych w postaci chmur punktów (np. w formacie .STL, .OBJ), lub modeli CAD istniejących w innych formatach (np. .STEP, .IGES).

2.Obróbka punktów chmury: usuwanie szumów, wypełnianie dziur, filtrowanie danych, usuwanie niepotrzebnych elementów i inne.

3.Tworzenie powierzchni: Po przetworzeniu chmury punktów możesz rozpocząć tworzenie powierzchni trójwymiarowych. W tym celu Geomagic Design X używa różnych narzędzi, takich jak narzędzia do tworzenia siatek, brył i powierzchni NURBS.

4.Edycja i modyfikacje modelu:

5.Weryfikacja modelu: weryfikacja modelu pod kątem zgodności z założeniami projektu oraz kontrola jakości. Geomagic Design X zapewnia narzędzia do analizy geometrii, pomiarów oraz innych funkcji weryfikacyjnych.

6.Przygotowanie do eksportu: eksportu do formatu CAD, takiego jak .STEP, .IGES, .STL lub innych. Możliwość zapisu danych do formatu *.stl do druku 3D.



Systemy CAx do obróbki danych pomiarowych ?

Geomagic Design X (3D Systems)



Wojskowa
Akademia
Techniczna



Dziękuję za uwagę

ppłk dr inż. Paweł Płatek

pawel.platek@wat.edu.pl