

Przemysław Siemiński

Inżynieria odwrotna (przeгляд rozwiązań)

Warszawa, październik 2010 r.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Politechnika Warszawska
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych
Studia Podyplomowe dla Nauczycieli Przedmiotów Zawodowych
02-524 Warszawa, ul. Narbutta 84, tel (22) 849 43 07, (22) 234 83 48
ipbmvr.simr.pw.edu.pl/spin/, e-mail: sto@simr.pw.edu.pl

Opiniodawca: dr inż. Piotr SKAWIŃSKI

Projekt okładki: Norbert SKUMIAŁ, Stefan TOMASZEK

Projekt układu graficznego tekstu: Grzegorz LINKIEWICZ

Skład tekstu: Janusz BONAROWSKI, Przemysław SIEMIŃSKI

Publikacja bezpłatna, przeznaczona dla słuchaczy Studiów Podyplomowych
Komputerowe Wspomaganie Projektowania z Podstawami Wzornictwa
Przemysłowego.

Copyright © 2010 Politechnika Warszawska

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany
ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych,
kopiujących, nagrywających i innych bez pisemnej zgody posiadacza praw
autorskich.

ISBN 83-89703-51-3

Druk i oprawa: Drukarnia Expol P. Rybiński, J. Dąbek Spółka Jawna,
87-800 Włocławek, ul. Brzeska 4

Spis treści

1. Inżynieria odwrotna - wprowadzenie	5
1.1 Wprowadzenie do RE.....	6
1.2 Idea inżynierii odwrotnej.....	11
1.3 Sposoby skanowania 3D.....	17
2. Skanery 3D na światło białe.....	25
2.1 Skanery 3D na światło białe	26
2.2 Budowa i zasada skanowania światłem białym.....	29
2.3 Zasady pomiaru skanerem ScanBright	33
3. Ręczne skanery 3D	43
3.1 Wprowadzenie	44
3.2 Budowa skanerów ręcznych	48
3.3 Zasady pomiarów	52
3.4 Przykłady zastosowań	58
4. Laserowe skanery biurkowe	63
4.1 Biurkowe skanery laserowe.....	64
4.2 Skaner firmy NextEngine	68
5. Bibliografia	77

Wstęp

Niniejsze materiały zostały opracowane w ramach realizacji projektu pod nazwą Studia Podyplomowe dla Nauczycieli Przedmiotów Zawodowych kierunku „KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA I WYTWARZANIA”, współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego – PROGRAM OPERACYJNY KAPITAŁ LUDZKI. Przeznaczone są dla słuchaczy tych studiów prowadzonych na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej.

Niniejsze opracowanie przygotowano dla przedmiotu pt. „Modelowanie geometryczne w projektowaniu”. Jego zawartość merytoryczna w pełni odpowiada zakresowi opisanemu w sylabusie opracowanym dla tego przedmiotu.

Całość opracowanych materiałów dydaktycznych dla ww. przedmiotu zawarta została w 6 rozdziałach.

Rozdział 1 został poświęcony omówieniu programów 3D oraz ich roli w pracach projektowych. W rozdziale 2 omówione zostały podstawowe zasady tworzenia i modyfikacji szkicu płaskiego jako etapu poprzedzającego modelowanie 3D. Rozdział 3 to metodyka tworzenia modeli bryłowych oraz ich modyfikacji. Kolejny 4 rozdział obejmuje tworzenie dokumentacji płaskiej w oparciu o model bryłowy. Wreszcie 5 rozdział zawiera podstawowe zasady pracy z gotowymi modelami w zakresie ich wizualizacji oraz symulacji kinematycznych i zasad operacji obliczeniowych. Rozdział 6 zawiera podsumowanie oraz wykaz literatury zalecanej do pogłębiania umiejętności pracy w poszczególnych programach CAD.

Zajęcia dydaktyczne zdecydowanej większości przedmiotów składających się na program studiów będą realizowane, oprócz wykładu, także w formie ćwiczeń laboratoryjnych oraz prac projektowych. Dlatego istotną częścią tych materiałów, oprócz prezentacji materiału teoretycznego, są propozycje przebiegu ćwiczeń wykonywanych podczas zajęć dydaktycznych oraz zadania do samodzielnego wykonania przez słuchaczy.

Materiały uzupełniające i aktualizujące do przedmiotu będą udostępniane studentom za pośrednictwem systemu e-learning.

1

Inżynieria odwrotna - wprowadzenie

W tym rozdziale:

- Istota inżynierii odwrotnej
- Przykłady zastosowań inżynierii odwrotnej
- Przegląd urządzeń do skanowania 3D

1.1. Wprowadzenie do RE

Pojęcie „inżynieria odwrotna” (ang. reverse engineering) stosowane w mechanice i budowie maszyn oznacza proces poznania realnie istniejącego urządzenia lub wybranej części, zrozumieniu jak ten obiekt działa, jaki ma kształt, jak i z jakiego materiału został wytworzony, jak zmontowany i uruchomiony. Zwykle inżynierię odwrotną stosuje się do odtworzenia badanego obiektu w takiej postaci jak realnie istnieje lub po pewnych modyfikacjach.

W ciągu ostatnich kilkunastu lat metody inżynierii odwrotnej bardzo się rozwinęły za sprawą wykorzystania technik komputerowych, szczególnie skanerów 3D oraz oprogramowania 3D CAD (ang. Computer Aided Design). Proces skanowania 3D jest najbardziej charakterystycznym etapem procesu inżynierii odwrotnej i z tego powodu jest nieraz z nim utożsamiany.

Skanery 3D wraz z dedykowanym oprogramowaniem służą do digitalizacji kształtu realnych obiektów do postaci wirtualnych. W przypadku bardziej skomplikowanych kształtów, pomiar geometrii skanerem 3D jest jedynym sposobem na uzyskanie jego wiernego wirtualnego modelu przestrzennego. Taki model 3D, po jego nieraz dość żmudnym opracowaniu, może posłużyć do wielu zastosowań, m.in. pozwala na analizę działania urządzenia, czyli jakie jest położenie i współdziałanie jego części, jak mógł zostać wytworzony i zmontowany. Poza tym wirtualna geometria 3D stosowana jest do analiz inżynierskich (np. wytrzymałościowych, termicznych, przepływów), a także do opracowania oprzyrządowania. Po odpowiednim przygotowaniu model 3D może też posłużyć do automatycznego wygenerowania dokumentacji technicznej części i złożeń.

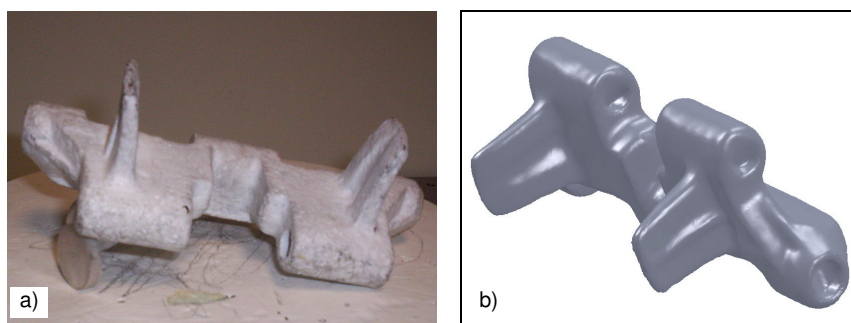
Pomiary kształtów realnych obiektów przy pomocy skanerów 3D oraz oprogramowanie komputerowe do modelowania przestrzennego stosowane w inżynierii odwrotnej są wykorzystywane w wielu dziedzinach nauki i techniki. Jest przydatne wszędzie tam, gdzie potrzebny jest wirtualny model przestrzenny, a są to m.in.:

- medycynie i dentystyce (np. pomiary narządów – rysunek 1.2),

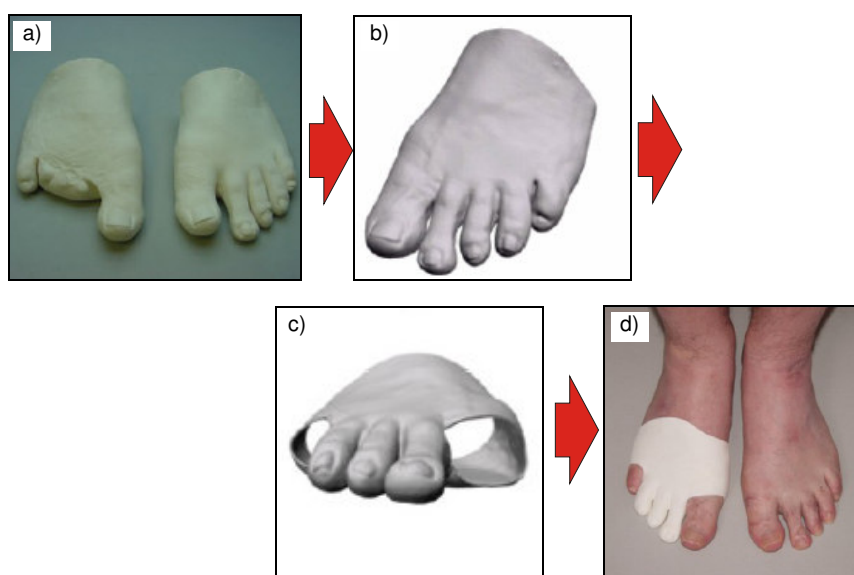
- naukach przyrodniczych (np. pomiary kształtu roślin, grzybów, zwierząt, skamieniałości, kamieni),
- archeologii, muzealnictwie, sztuce (np. pomiary rzeźb, prehistorycznych naczyń – rysunek 1.3),
- architekturze (np. pomiary detali na fasadach budynków, całych fasad budynków, obiektów inżynierskich),
- reklamie, filmie, telewizji, grach komputerowych, animacji 3D (np. pomiary postaci do efektów specjalnych),
- ergonomii i antropologii (np. pomiar sylwetki ciała człowieka do projektowania odzieży, analizy wnętrza pojazdów, uchwytów),
- wzornictwie (np. pomiary obudów, opakowań, mebli),
- mechanika i budowa maszyn (np. pomiary krzywek, łopatek turbin i wentylatorów, nadwozi pojazdów, odlewanych korpusów silników i przekładni, ogniów gąsienic – rysunek 1.1,),
- technologii produkcji (np. pomiar odlewów, wyprasek, wytłoczek – rysunek 1.4 lub oprzyrządowania m.in. tłoczników i form wtryskowych na potrzeby archiwizacji cyfrowej lub kontroli ich zużycia),
- metrologii i kontroli jakości (np. tzw. widzenie maszynowe do analizy poprawności montażu zespołów urządzeń i maszyn).

Przykłady przytoczonych powyżej zastosowań pomiarów kształtu realnych obiektów skanerami 3D przedstawiono na poniższych rysunkach.

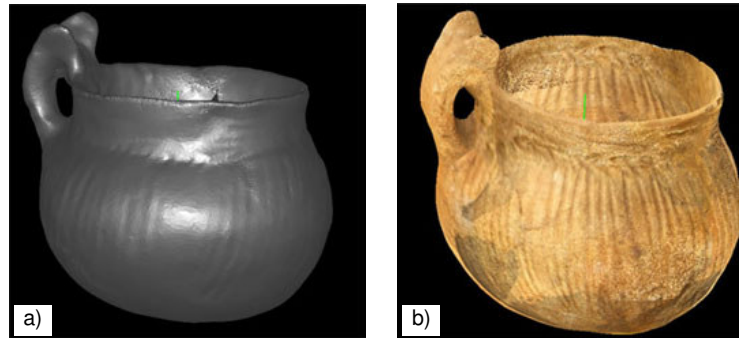
ROZDZIAŁ 1



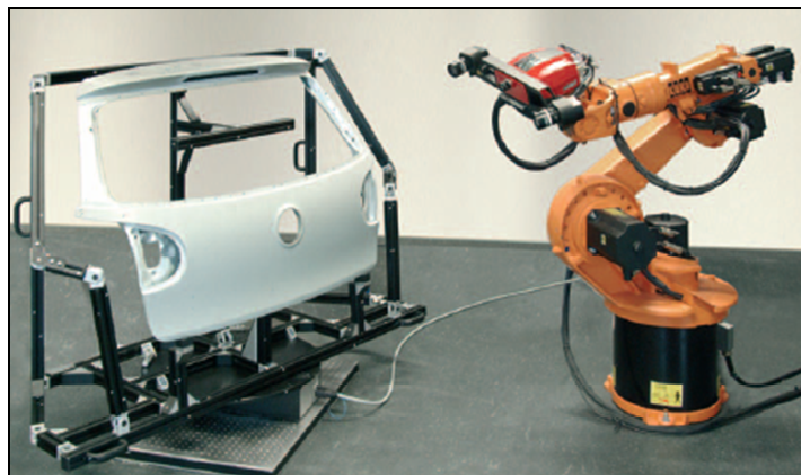
Rysunek 1.1. Zastosowanie inżynierii odwrotnej w budowie maszyn: ogniwo gąsienicy historycznego wojskowego pojazdu gąsienicowego pomalowane białą, matową farbą przed procesem skanowania 3D (a) oraz wirtualny model 3D w systemie 3D CAD w postaci bryły opisanej wieloma płatkami powierzchni NURBS (b) [Kamiński]



Rysunek 1.2. Zastosowanie inżynierii odwrotnej w medycynie: odlewy gipsowe stóp pacjenta użyte do pomiaru ich kształtu (a), model wirtualny zdrowej stopy przed jej odbiciem lustrzanym (b), model wirtualny protezy po odbiciu lustrzanym zdrowej stopy i odjęciu geometrii stopy chorej (c), pacjent z założoną protezą (d) [Bis]



Rysunek 1.3. Zastosowanie inżynierii odwrotnej w archeologii pokazane na przykładzie pomiaru kształtu naczynia glinianego: a – model siatkowy zacieniowany bez tekstury, b – model siatkowy z teksturą [Smarttech]



Rysunek 1.4. Pomiar wyłoczki drzwi samochodu osobowego przy pomocy skanera 3D firmy GOM zamontowanego na ramieniu robota [GOM]

Typowym zastosowaniem inżynierii odwrotnej (zwanej też inżynierią wsteczną) jest porównanie ze sobą kilku obiektów lub zapewnienie poprawnego współdziałania z własnymi produktami. Taka analiza umożliwia porównanie obiektów w celu podniesienia ich jakości.

Ciekawym zastosowaniem inżynierii odwrotnej jest użycie jej w celu osiągnięcia pewnej funkcjonalności obiektu, omijając przy tym prawa

ROZDZIAŁ 1

autorskie lub patentowe. RE stosuje się także w działaniach wywiadowczych do kopiowania technologii opracowanych przez inne firmy czy państwa. Przykładem tego może być wierne skopiowanie przez Związek Radziecki w latach 40 XX-wieku amerykańskiego bombowca strategicznego Boeing B-29 (rysunek 1.5a) i uruchomienie produkcji jego odpowiednika w zakładach Tupolewa pod oznaczeniem Tu-4 (rysunek 1.5b).



Rysunek 1.5. Amerykański bombowiec Boeing B-29 (a) oraz jego kopia wykonana w Związku Radzieckim jako Tupolew Tu-4 (b) [Wikipedia]

1.2. Idea inżynierii odwrotnej

Obecnie podstawową metodą tworzenia kształtów obiektów (części maszyn, obudów, opakowań itp.) jest trójwymiarowe modelowanie bryłowe lub powierzchniowe w systemach 3D CAD. Jednak niektóre kształty są bardzo trudne do takiego wirtualnego modelowania i wtedy nieraz może być prostsze ręczne wyrzeźbienie realnego obiektu, a następnie jego zeskanowanie. Dzieje się tak w przypadku projektowania nadwozi samochodów, kiedy wstępny kształt modeluje się wirtualnie, robi się wizualizacje i po akceptacji frezuje się go na obrabiarce CNC (rysunek 1.6a). Potem taki model dopracowuje się i wykańcza ręcznie (rysunek 1.6b) i ponownie digitalizuje do postaci wirtualnej. Dopiero na takim modelu „rozpina się” wirtualne powierzchnie i optymalizuje ich gładkość.

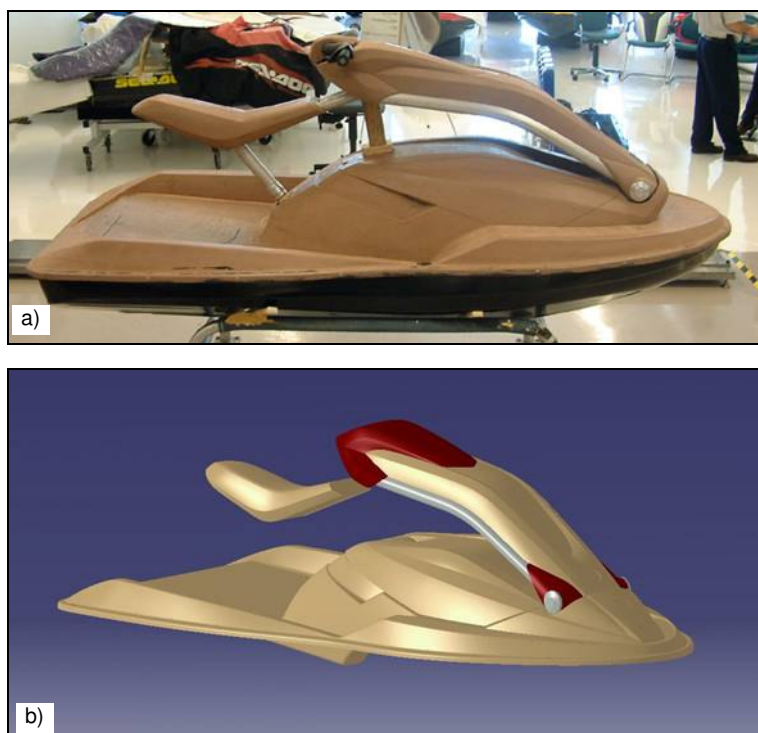


Rysunek 1.6. Wybrane dwa etapy projektowania kształtu nadwozia samochodu: frezowanie CNC na podstawie wirtualnego modelu (a), a następnie jego ręczne dopracowywanie i wykańczanie (b) [PSA]

Inne zastosowanie inżynierii odwrotnej w procesie projektowania kształtu pojazdu pokazano poniżej na przykładzie obudowy zewnętrznej skutera wodnego. Rys. 1.7a pokazuje kadłub wykonany w materiale plastycznym ręcznymi metodami modelarskimi. Nie jest problemem, że nie jest precyzyjny i nie jest idealnie symetryczny. Te wady można poprawić w modelu wirtualnym w procesie modelowania powierzchniowego, co pokazano na zrzucie z systemu 3D CAD na rysunku 1.7b.

ROZDZIAŁ 1

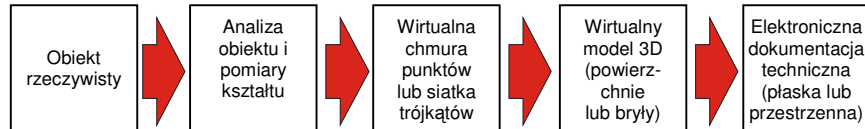
W niniejszym przypadku do pomiaru kształtu rzeczywistej makiety użyto ręcznego skanera 3D z serii ZScanner firmy Z-Corporation.



Rysunek 1.7. Makieta kadłuba skutera wodnego wykonana metodami modelarskimi (a) oraz wirtualny model powierzchniowy widoczny w przestrzeni systemu 3D CAD (tutaj CATIA V5) (b) [Car-T]

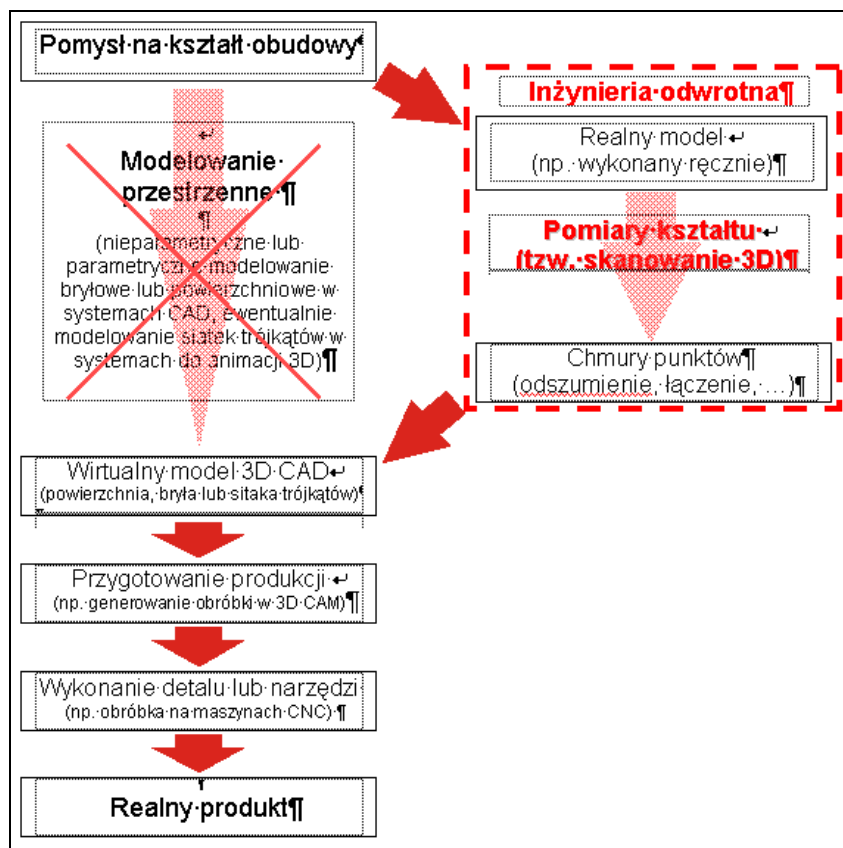
Jest kilka metod pomiarów kształtu stosowanych w inżynierii odwrotnej. Ich przykłady przedstawiono w następnym podrozdziale. Zawsze bezpośrednim wynikiem skanowania 3D geometrii realnego obiektu są współrzędne punktów. Metodami bezdotykowymi bez problemu uzyskiwanych jest wiele tysięcy, a nawet milionów punktów opisujących kształt, tworzących tzw. chmury punktów. Po opracowaniu są zamieniane na przestrzenne, powierzchniowe siatki wieloboków (najczęściej siatki trójkątów). Są one takie jak siatki stosowane w niektórych programach do animacji i wizualizacji komputerowych np. 3D Studio MAX, Blender. Niestety w przypadku prac inżynierskich wykonywanych w parametrycznych systemach 3D CAD, na siatkach trójkątów z pewną dokładnością są rozpinane płyty powierzchni typu NURBS. Pozwalają one na dalsze modyfikowanie uzyskanej geometrii typowymi funkcjami do modelowania bryłowo-powierzchniowymi.

W systemach 3D CAD model bryłowy lub powierzchniowy może zostać zastosowany do automatycznego wygenerowania płaskiej dokumentacji technicznej części lub złożeń skanowanego wcześniej obiektu. Ponadto wirtualny model bryłowy lub powierzchniowy może być poddany różnym analizom inżynierskimi w systemach 3D CAE oraz być posłużony do opracowania programów sterujących pracą obrabiarek CNC, w celu jego wykonania lub wykonania dla niego oprzyrządowania. W ten sposób spełniony zostaje jeden z celów inżynierii odwrotnej, czyli odtworzenie danej części lub całego urządzenia, podczas gdy niedostępna jest ich dokumentacja projektowa. Powyższy opis przedstawiono w postaci kolejno wykonywanych kroków na rysunku 1.8.



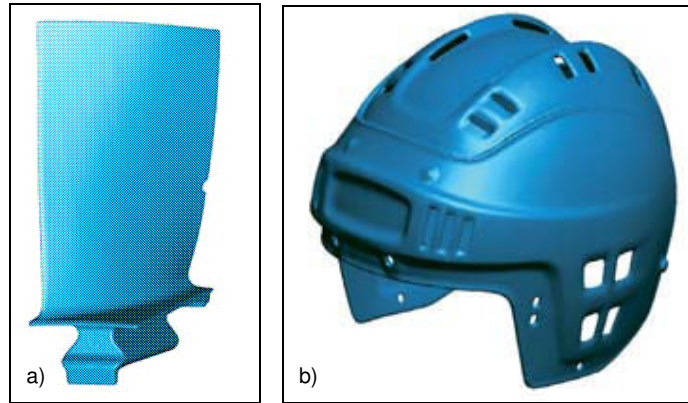
Rysunek 1.8. Idea inżynierii odwrotnej w mechanice i budowie maszyn

Możliwości inżynierii odwrotnej są także wykorzystywane w procesie projektowaniu nowych obiektów. Przykładem mogą być nowe opakowania sprzętu elektronicznego, AGD lub nadwozia pojazdów, które często mają bardzo skomplikowane kształty. W przypadku problemów z uzyskaniem wirtualnej geometrii w systemach do modelowania przestrzennego, można wykorzystać ręcznie wykonany model obudowy, nawet w postaci wstępnie ukształtowanej formy metodami rzeźbiarskimi. Miejsce inżynierii odwrotnej w procesie projektowania nowego kształtu (np. obudowy, opakowania) przedstawiono w postaci algorytmu na rysunku 1.8.

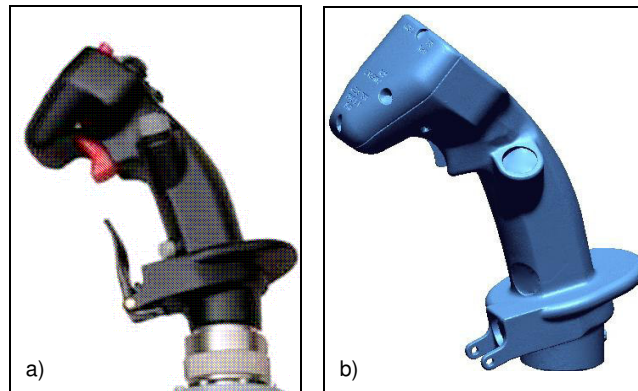


Rysunek 1.9. Miejsce inżynierii odwrotnej w przykładowym procesie projektowania kształtu nowego opakowania lub obudowy (dotyczy bardziej skomplikowanych kształtów z powierzchniami swobodnymi)

Pokazany, na rysunku 1.9, algorytm nie dotyczy uzyskiwania wirtualnej geometrii prostych kształtów składających się z prymitywów lub możliwej do zamodelowania typowymi funkcjami bryłowo-powierzchniowymi spotykanymi w systemach 3D CAD. Typowymi elementami skanowanymi są powierzchnie nierozwijalne, trudne do zamodelowania. Takimi elementami są m.in. powierzchnie łopatek turbin (rysunek 1.10a), kształty obudów sprzętu sportowego (rysunek 1.10b) lub uchwytów elektronarzędzi, sprzętu AGD, itp. (rysunek 1.11). Na tych rysunkach pokazano siatkę trójkątów wyświetlaną w systemie CAD w postaci zaciemnionej jednym kolorem, bez tekstury.

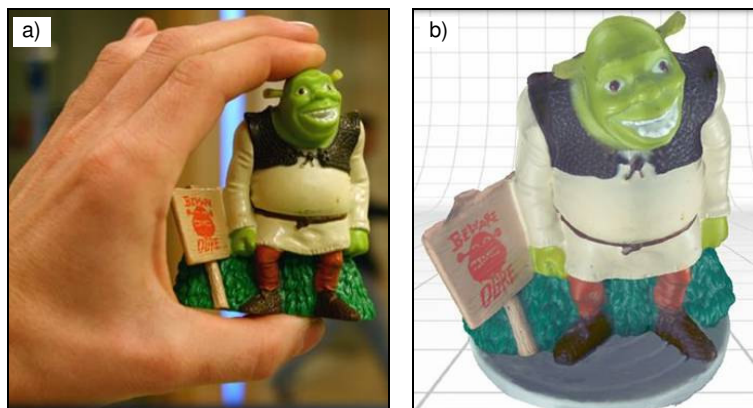


Rysunek 1.10. Przykłady wykonanych pomiarów wyświetlane jako siatki trójkątów. Są one otrzymane przy pomocy ręcznych skanerów 3D: (a) łopatką turbiny, (b) kask sportowy [Creaform]



Rysunek 1.11. Przykłady pomiaru uchwytu wolantu do samolotu: (a) obiekt rzeczywisty, (b) wirtualny przestrzenny model siatkowy (b) [3dscanningservice]

Niektóre z modeli ręcznych skanerów 3D posiadają także możliwość pomiarów tekstury mierzonych powierzchni. Dzięki temu wraz z współrzędnymi punktów wczytywany jest ich kolor w postaci danych RGB. Dzięki temu na generowany w komputerze wirtualny model można wyświetlać z nałożoną teksturą, co jest niezbędne w zastosowaniach multimedialnych (reklama, film, telewizja, animacja i gry komputerowe, itp.). Przykład tego pokazano na rysunku 1.12.



Rysunek 1.12. Figurka postaci z filmu (a) oraz wynik jej pomiaru w postaci siatki trójkątów z nałożoną teksturą (b) [Car-T]

1.3. Sposoby skanowania 3D

Pomiar kształtu stosowany na potrzeby inżynierii odwrotnej może być realizowany różnymi metodami. Ze względu na sposób pomiaru można wyróżnić dwa sposoby pomiaru: dotykowe i bezdotykowe. Przyjęło się, że urządzenia do pomiarów bezdotykowych nazwane są skanerami przestrzennymi (skanerami 3D), analogicznie do tradycyjnych skanerów płaskich digitalizujących grafikę. Natomiast pojęcie czynności skanowania 3D jest szersze, bo może być realizowany bezdotykowo lub dotykowo tzw. „głowicami skanującymi”. Takie głowice podczas pomiarów punktów nie wymagają każdorazowego ich odjazdu od mierzonego obiektu i ponownego dojazdu, co pozwala na sensowny pomiar powierzchni swobodnych.

Powyżej opisane rozgraniczenie na urządzenia do pomiarów raczej punktowych oraz do skanowania dotykowe i bezdotykowe całych powierzchni jest umowne.

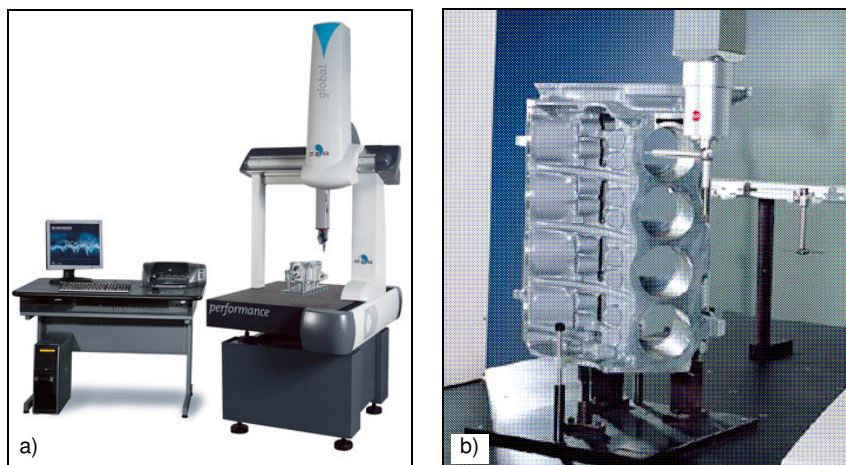
Aby pokazać ilość spotykanych rozwiązań dot. pomiarów kształtów, a także ilość różnych modeli dostępnych na rynku, postanowiono umieścić poniżej ich przegląd.

Pierwszą grupą urządzeń są skanery dotykowe. Są one zwykle dokładniejsze od urządzeń bezdotykowych, ale dużo wolniej zbierane są współrzędne punktów z rzeczywistego obiektu. Dokładność pomiarów wynosi od ok. $\pm 0,0005$ mm do ok. $\pm 0,05$ mm (w zależności od typu urządzenia i jego objętości pomiarowej). Do metod dotykowych pomiaru kształtu można zaliczyć m.in.:

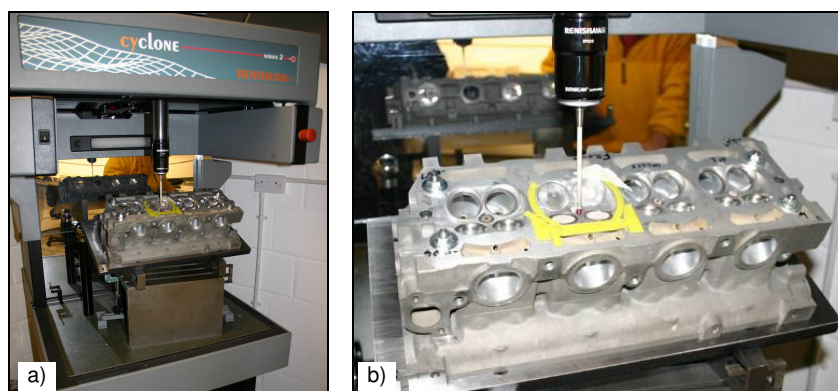
- współrzędnościowych maszynach pomiarowych wyposażone w sondy pomiarowe (rysunek 1.13ab)
- obrabiarki CNC (zwykle frezarskie centra obróbkowe) wyposażone w sondy pomiarowe umieszczone we wrzecionach narzędziowych,
- automatyczne współrzędnościowe skanery 3D z sondami pomiarowymi (rysunek 1.14ab),
- ręcznie sterowane ramiona pomiarowe z sondami pomiarowymi (rysunek 1.15a),

ROZDZIAŁ 1

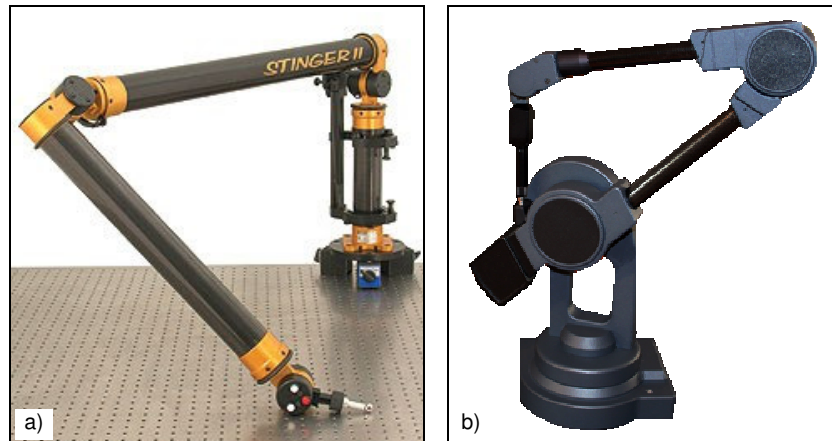
- ręczne, ramieniowe skanery dotykowe (rysunek 1.15b),
- automatycznie skanery piezoelektryczne (rysunek 1.16).



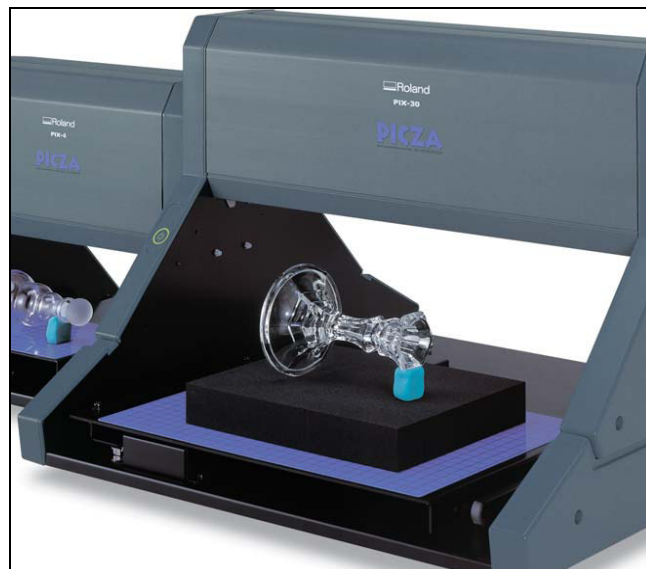
Rysunek 1.13. Współrzędnościowa maszyna pomiarowa Dea Global Performance (a) firmy Hexagon [Logismarket] oraz widok pomiaru korpusu silnika (b) [Hexagon]



Rysunek 1.14. Współrzędnościowy skaner 3D „Cyclone” (a) firmy Renishaw oraz pomiar korpusu silnika tym urządzeniem (b) [Cncheads]



Rysunek 1.15. Ramię pomiarowe Stinger II (a) [Oberon] oraz skaner dotykowy Microscribe G2/3D (b) [Grawer24].



Rysunek 1.16. Trójwymiarowy skaner dotykowy „PIX-30” firmy Roland [Roland]

Drugim sposobem pomiaru kształtu obiektów rzeczywistych jest metoda bezdotykowa. Urządzenia tak pracujące nazywane są zwykle skanerami 3D, bo podobnie jak skanery płaskie rejestrują odbite od badanego

obiektu światło. Skanowanie przestrzenne metodą bezdotykową może odbywać wg jednej z trzech metod:

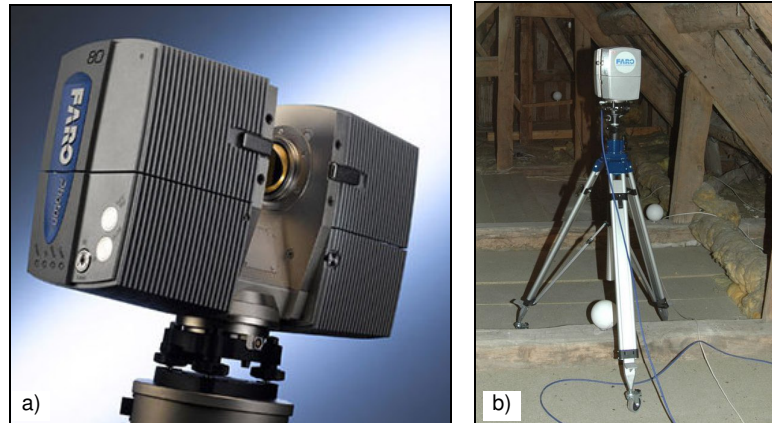
- pomiarach odległości wybranych punktów na zasadzie dalmierzy optycznych lub laserowych,
- zasadzie profilometrii laserowej (tzw. triangulacja laserowa),
- zasadzie projekcji rastra na mierzony obiekt przy pomocy światła białego.

Poza wymienionymi sposobów pomiaru, do tych metod bezdotykowych można też zaliczyć i inne m.in. tomografię rentgenowską, tomografię komputerowe (ang. computed tomography), obrazowanie rezonansu magnetycznego (ang. magnetic resonance imaging). Poza tym stosowana jest też metoda fotogrametrii stosowana m.in. w geodezji i budownictwie (pomiar ukształtowania terenu, budynków, obiektów inżynierskich, a nawet dużych obiektów mechanicznych – samolotów, helikopterów, itp.).

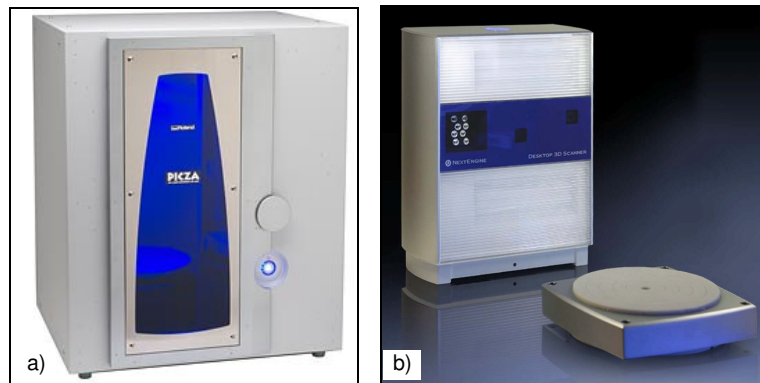
Jednak w inżynierii odwrotnej najpowszechniej wykorzystywane są skanery 3D stosujących do pomiaru światło białe lub triangulację laserową. Obie metody są bardzo szybkie, bo pozwalają na pomiar kilkaset tysięcy, a nawet milionów współrzędnych punktów w ciągu kilku- kilkunastu sekund. Pomiary mogą też być w pełni zautomatyzowane. Dokładność pomiarów jest gorsza niż metodami dotykowymi i dla większości urządzeń wynosi od ok. $\pm 0,01\text{mm}$ do ok. $\pm 0,5\text{mm}$, w zależności od metody i objętości pomiarowej. Poniżej, w celach informacyjnych, przedstawiono wybrane modele skanerów operujące światłem laserowym lub białym:

- stacjonarne skanery laserowe do dużych obiektów (przestrzeń pomiarowa kilkaset metrów) (rysunek 1.17ab)
- biurkowe skanery laserowe do obiektów mniejszych (przekątna do ok. 500mm) zwykle ze zintegrowanymi stolikami obrotowymi (rysunek 1.18ab),
- sterowane ręcznie, samopozycjonujące skanery laserowe (rysunek 1.19ab),
- skanery laserowe zamontowane na ręcznie sterowanych ramionach pomiarowych (rysunki 1.20ab, 1.21, 1.22ab)
- skanery laserowe zamontowane w miejsce sondy pomiarowej w pinoli współrzędnościowej maszyn pomiarowych (rysunek 1.23ab)

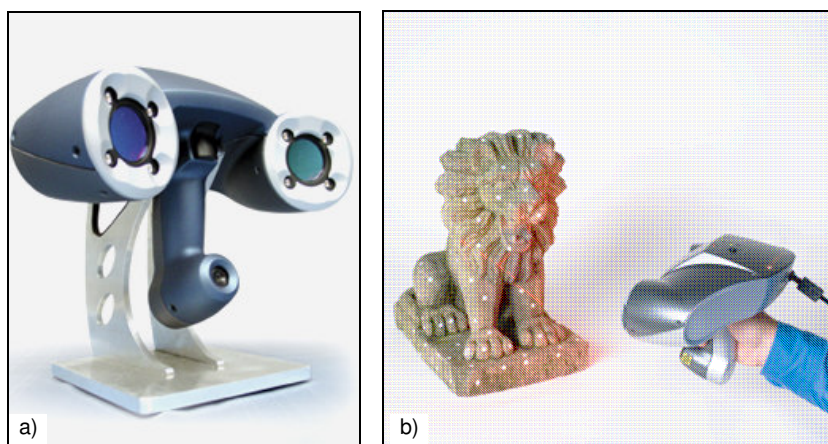
- skanery operujące światłem białym (rysunek 1.24).



Rysunek 1.17. Trójwymiarowe skanery laserowe do dużych obiektów (budynków, wnętrz, instalacji przemysłowych). Widok na skanery firmy Faro: „Photon 120&20” (a) [Faro] oraz na skaner LS880 (b) [Djaweb]



Rysunek 1.18. Trójwymiarowe skanery laserowe do mniejszych obiektów (tzw. skanery biurkowe): skaner „PICZA LPX-600” firmy Roland (a) [Roland] oraz na „Desktop 3D Scanner” (b) firmy NextEngine [CNS]



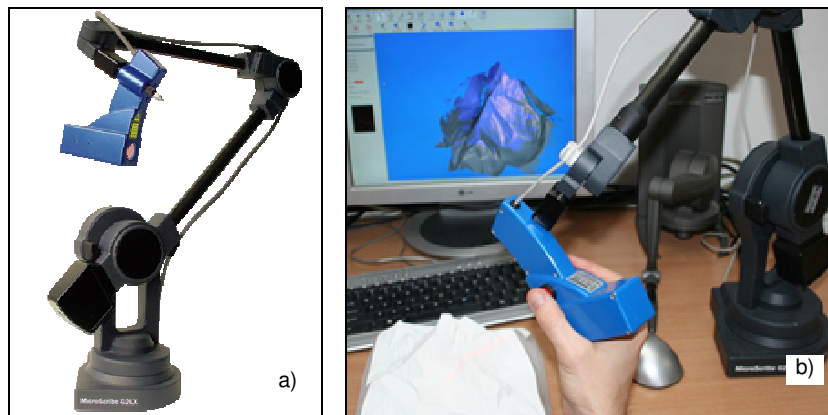
Rysunek 1.19. Ręczne trójwymiarowe skanery laserowe: widok na skaner „REVscan” firmy Creafom (a) [Creafom] oraz „ZScanner 700” firmy Z-Corporation podczas pomiaru [ZCorp]



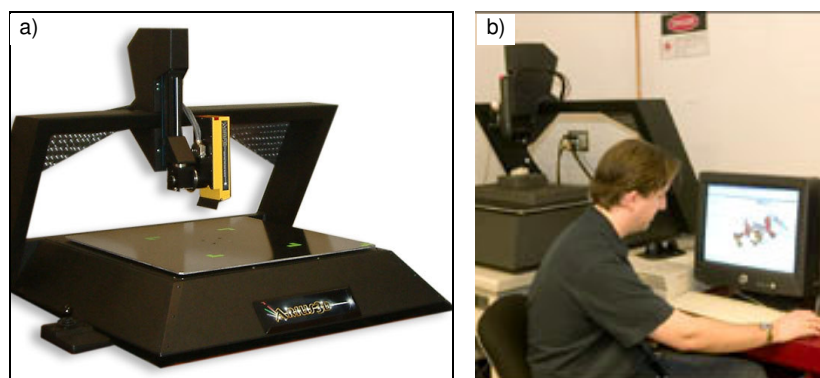
Rysunek 1.20. Ramię pomiarowe FaroArm firmy Faro z samą sondą pomiarową (a) oraz to samo ramię wyposażone dodatkowo w laserowy skaner 3D – „Laser Scan Arm” (b) [Faro]



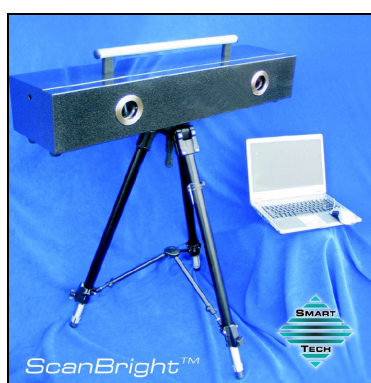
Rysunek 1.21. Pomiar konstrukcji spawanej pojazdu skanerem laserowym „Laser Scan Arm” firmy FARO. Widoczne jest na skanowanym obiekcie odbicie od linijki laserowej. [Faro]



Rysunek 1.22. Widok na skaner laserowy Microscan zamontowany na ramieniu (a) oraz podczas pomiarów (b) [Grawer24]



Rysunek 1.23. Widok na profilometr wykorzystujący skaner laserowy o nazwie Arius 3D (a) [Thinglab] oraz ten skaner pokazany przy stanowisku komputerowym w czasie wykonywania pomiarów (b) [Rom]



Rysunek 1.24. Skaner 3D „ScanBright” firmy Smarttech [Smarttech]

Biorąc pod uwagę możliwości metod dotykowych i bezdotkowych pomiaru kształtu, te drugie są mniej dokładne, ale pozwalają na skanowanie bardziej skomplikowanych obiektów np. obiekty przyrodnicze, archeologiczne, muzealne, itp.. Pomiar ich powierzchni przy pomocy np. maszyn współrzędnościowych może być niemożliwy lub nieskuteczny, natomiast pomiary światłem laserowym lub światłem białym mogą dać bardzo dobre wyniki.

2

Skanery 3D na światło białe

W tym rozdziale:

- Zasada pomiarów białym światłem
- Budowa skanera na przykładzie systemu ScanBright
- Przykłady zastosowań
- Przykłady pomiarów

2.1. Skanery 3D na światło białe

Wśród wielu typów urządzeń wykorzystywanych w inżynierii odwrotnej do pomiarów kształtów, można wyróżnić grupę skanerów 3D wykorzystujących zasadę odbicia światła białego.

Pomiar polega to na rzutowaniu określonego rastra (np. pionowych prążków – linii) na mierzony obiekt, a następnie rejestracji obrazów z ugiętym na badanym obiekcie rastrem w postaci płaskich grafik. Może nie jest to dla każdego oczywiste, ale takim sposobem ludzie także oceniają obserwowane przez siebie kształty. Innowacją w przypadku skanerów 3D jest obróbka numeryczna rejestrowanych obrazów, a więc ich taka analiza matematyczna, aby uzyskać określoną dokładność. Istotnym jest także maksymalne zautomatyzowanie całego procesu rejestracji, pomiaru i obróbki danych, co wymaga rozbudowanych algorytmów matematycznych. Ten aspekt skanowania 3D światłem białym jest obecnie najszybciej rozwijany.

Metoda bezdotykowa skanowania 3D polega, na dokonywaniu pomiaru bez bezpośredniego kontaktu pomiędzy narzędziem mierzącym a obiektem, jest to szczególnie istotne w przypadku elementów, które posiadają bardzo kruchą (porcelana, gips) lub z materiału elastycznego (guma, gąbka, tkanki roślin lub zwierząt).

Ze względu na to, że skanujemy światłem z zakresu widzialnego (tzw. światłem białym), takimi urządzeniami nie można mierzyć obiektów przezroczystych lub pół-przezroczystych (np. opakowania ze szkła, bezbarwnych tworzyw sztucznych takich jak poliwęglan, polistyren, itp.). Problemy mogą być także z obiektami cienkościennymi z materiałów przepuszczających nawet częściowo światło np. butelki na płyny kosmetyczne o jasnych kolorach z tworzyw sztucznych lub liście roślin. Inne problemy pojawiają się podczas skanowania obiektów lśniących (np. posążki z polerowanego mosiądzu), elementów lustrzanych lub bardzo pochłaniających światło białe (np. czarnych). Takie powierzchnie pochłaniają światło i przez co nie widać na obiekcie ugiętego rastra.

Przykładem urządzeń wykorzystujących do pomiarów kształtu obiektów rzeczywistych światło białe, jest seria skanerów 3D polskiej firmy Smarttech, sprzedawanych jako zintegrowany system pomiarowy „Scan-Bright”. Pomysł ich oprogramowania został opracowany na Politechnice

Warszawskiej. Poniżej w tab. 2.1. zestawiono wybrane dane techniczne trzech modeli oferowanych komercyjnie urządzeń. Podstawowym modelem jest wersja Standard¹, a rozszerzoną nazwano Professional oraz ostatnio wprowadzono do oferty mniejszy, biurkowy model o nazwie „ScanBright Mini”, który standardowo współpracujący ze stolikiem obrotowym i pozwala na wykonanie pomiarów o większej precyzji.

Tabela 2.1. Podstawowe dane techniczne skanerów serii ScanBright firmy Smarttech [Smarttech].

Podstawowe dane techniczne skanerów ScanBright firmy Smarttech			
Parametr	Wersja:	Standard	Professional
Niedokładność pomiaru		> 0,2 mm	> 0,05 mm
Objętość pomiarowa: szer. x wys. x głęb. [mm]		> 500x600x200	>1500x1300x500
Szybkość pomiaru z jednego kierunku:		> 60 sek.	> 7 sek.
Możliwa max. ilość punktów pomiarowych w jednym pomiarze		> 0,8 mln	> 5 mln
System tłumienia drgań:		+	+
Pomiar z dwu kierunków jednocześnie:		jako opcja	–
Statyw pozycjonujący w zestawie:		jako opcja	+
Możliwość współpracy ze stolikiem obrotowym:		brak	jako opcja

Skanery przestrzenne serii ScanBright są dedykowane do pomiarów skomplikowanych obiektów archeologicznych, muzealnych (rzeźby), wzorniczych, reklamowych, itp., natomiast wersja „ScanBright Mini” polecana jest szczególnie do obiektów technicznych oraz biologicznych, choć poprzednie modele także można do tego użyć.

Skanery przestrzenne ScanBright mogą być łatwo przenoszone i przewożone samochodem osobowym, bo nie ma konieczności każdorazowej ich kalibracji po transporcie. Ze względu na użycie w nich projektora

¹ Skaner 3D ScanBright firmy Smarttech w wersji Standard jest dostępny na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej.

ROZDZIAŁ 2

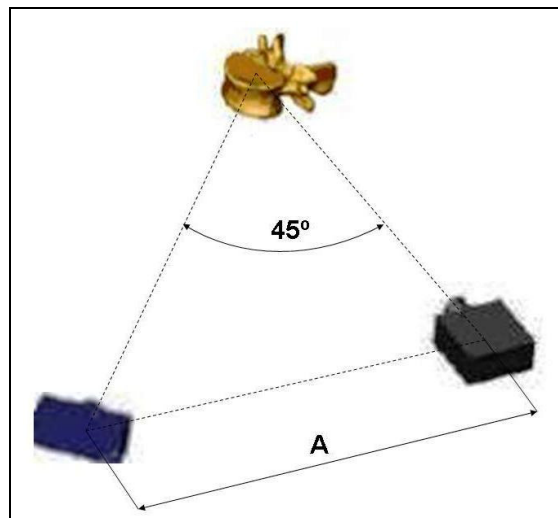
multimedialnego, na czas pomiarów niezbędne jest dostarczenie do urządzenia zasilania 230V/50Hz, natomiast oprogramowanie sterujące skanerem może być zainstalowane na komputerze stacjonarnym lub przenośnym (rysunek 1.24 i rysunek 2.1).



Rysunek 2.1. Skaner optyczny na światło białe nazwany „ScanBright” firmy Smarttech przygotowany do pomiaru korpusu przekładni na stanowisku Wydziału SiMR PW [Pabich]

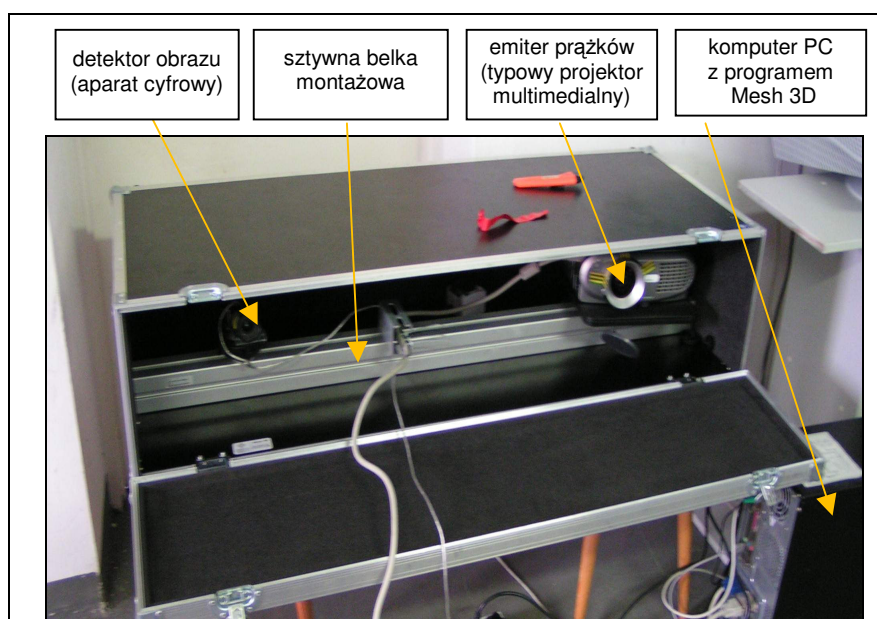
2.2. Budowa i zasada skanowania światłem białym

Skanery na światło białe zbudowane są z generatora prążków, którym może być rzutnik slajdów, ale najczęściej jest to typowy projektor multimedialny o określonej rozdzielczości (rysunek 2.2).



Rysunek 2.2. Schemat budowy skanera optycznego na światło białe ustawionego do pomiaru kości kręgosłupa [Pabich]

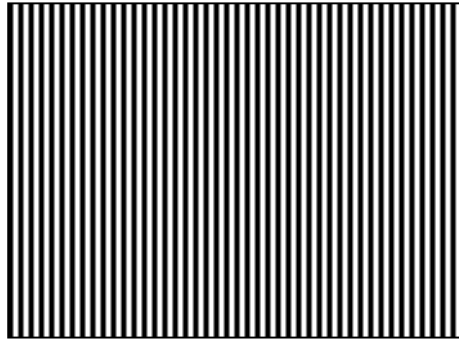
Względem generatora ustawiony jest pod znanym kątem (zwykle 45°) odbiornik (rejestrator obrazu), którym może być aparat lub kamera cyfrowa (rysunek 2.2). W celach automatyzacji pomiarów generator i odbiornik muszą być względem siebie niezmiennie ustawione (na rysunku 2.2 oznaczono to jako wymiar „A”). Konstrukcyjnie realizuje się to poprzez stabilne umieszczenie obu urządzeń na sztywnym profilu metalowym (rysunek 2.3). Po tym wymagane jest jeszcze skalibrowanie całego zestawu do zadanej objętości pomiarowej.



Rysunek 2.3. Budowa wewnętrzna skanera na światło białe na przykładzie prototypu skanera ScanBright firmy Smarttech [Król]

Generator prążków i odbiornik tworzą jedno urządzenie zwane optycznym skanerem 3D na światło białe. Podczas pomiaru położenie skanera względem mierzonego obiektu jest dowolnie, byle tylko obiekt znajdował się w przestrzeni pomiarowej, czyli nie był za blisko, ani za daleko od skanera. Sam pomiar wraz z analizą jest szybki i może trwać od kilku milisekund do kilku-kilkudziesięciu sekund. W tym czasie skaner 3D i mierzony obiekt muszą być nieruchome względem siebie.

Projektor wyświetla raster na mierzony obiekt w postaci zwykłego obrazu. najczęściej jako raster przyjmowane są pionowe białe-czarne linie o określonych grubościach (rysunek 2.4). Czym są one węższe, tym dokładniejszy może być pomiar. Z tego powodu najlepsze są projektory multimedialne uzyskujące jak największe rozdzielczości. Oczywiście jakość generowanego obrazu ma duże znaczenie – rzutując linie normalnie na płaską ścianę nie powinno być ich zniekształceń. Dla zwiększenia dokładności pomiarów, skanery 3D stosują kolejno wyświetlanie zestawu kilku typów grubości linii.



Rysunek 2.4. Przykładowy raster w postaci czarno-białych pionowych linii generowany przez projektor skanera 3D na światło białe



Rysunek 2.5. Widoczny raster na nadwoziu samochodu osobowego w postaci pionowych linii wygenerowanych przez skaner ScanBright [Król]

Generowane pionowe linie na mierzonym skanerem obiekcie załamują się zgodnie z jego kształtem (rysunek 2.5). Obraz oświetlonego rastrem obiektu jest rejestrowany przez detektor podłączony bezpośrednio do komputera w postaci płaskich grafik. Są to typowe zdjęcia zapisywane do plików w formacie bitmap w odcieniach szarości lub w pełni kolorowych.

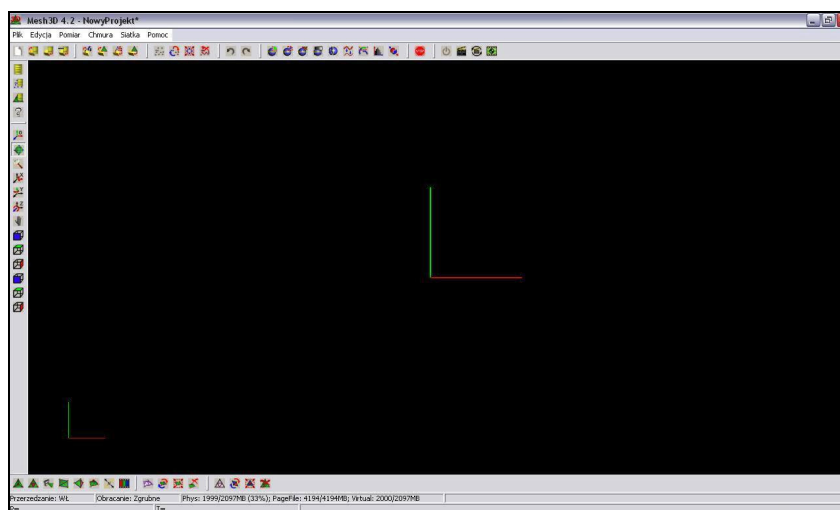
Mierzony obiekt oświetlany jest światłem jednocześnie tylko z jednego kierunku, więc w tym pomiarze jego boki i tylna część jest niewidoczne, więc pomijane. Z tego powodu wymagane są pomiary z wielu kierunków, a liczba kierunków jest zależna od skomplikowania obiektu np. ilości zagłębień. Przykładem tego mogą być w przypadku skanowania ludzkiej głowy obszary za uszami. W przypadku skanerów 3D na światło białe, pomiar z wielu kierunków może być w pełni zautomatyzowany tylko gdy zastosuje się sterowany numerycznie, skalibrowany wcześniej stolik obrotowy.

Obraz oświetlonego prążkami obiektu jest następnie poddawany w komputerze skomplikowanej analizie matematycznej, na podstawie której określone są współrzędne punktów znajdujących się na danym prążku. Oprogramowanie analizuje ugięcia prążków i automatycznie generuje na jej podstawie chmurę punktów. Wynikiem pomiaru z jednego kierunku może być nawet kilka milionów punktów, w zależności od rozdzielczości użytego projektora multimedialnego oraz rozdzielczości stosowanego odbiornika światła. Uzyskiwana dokładność pomiaru światłem białym zależna jest od objętości pomiarowej i wynosi od około $\pm 0,01\text{mm}$ do $\pm 0,5\text{mm}$ dla obiektów bardzo dużych. Na rynku dostępnych jest kilka urządzeń komercyjnych, którymi można mierzyć obiekty o przekątnej od kilku centymetrów (monety) do paru metrów (nadwozia samochodowe).

Wynikiem pomiaru kształtu skanerami 3D są chmury punktów, które następnie mogą podlegać odszumianiu, upraszczaniu, itp. a potem zamieniane są zwykle na siatki trójkątów. W tej postaci mogą być wykorzystane do analiz inżynierskich w systemach CAE oraz w programowaniu obrabiarek CNC w systemach 3D CAM lub zamieniane na płaty powierzchni NURBS, które są stosowane w 3D CAD.

2.3. Zasady pomiaru skanerem ScanBright

Skannery serii ScanBright firmy Smarttech współpracują z dedykowanym do nich oprogramowaniem firmy Smarttech o nazwie Mesh3D. Jest ono zainstalowane na zewnętrznym komputerze działającym pod kontrolą systemu Microsoft Windows w wersjach 2000/XP/Vista/7. Program Mesh3D poza samym pomiarem, umożliwia edycję wyników pomiarów (chmur punktów) oraz generowanie i naprawienie siatek trójkątów. Widok interfejsu tego programu zaraz po jego uruchomieniu pokazano na rysunku 2.6.



Rysunek 2.6. Interfejs programu Mesh3D w wer. 4.2 dedykowanego do obsługi skanerów 3D serii ScanBright – widok zaraz po uruchomieniu nowego projektu

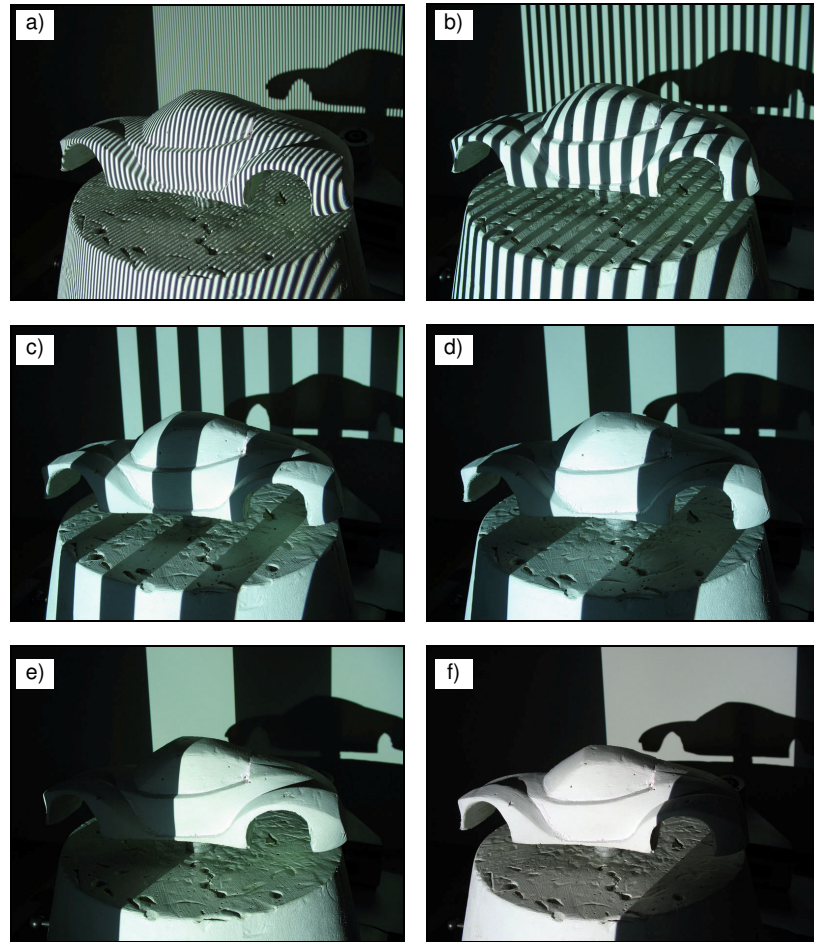
Dla przybliżenia kolejnych kroków postępowania przy pomiarach kształtu i tekstury realnych obiektów skanerem 3D ScanBright wykorzystano ręcznie wykonaną makietę nadwozia samochodu sportowego (rysunek 2.7), której autorem jest student Wydziału Wzornictwa ASP w Warszawie Tomasz Pydo. Dalej pokazano obróbce wyników skanowania tego nadwozia w programie Mesh3D (rysunki 2.9–2.11).



Rysunek 2.7. Model redukcyjny nadwozia wykonany przez studenta Wydziału Wzornictwa ASP w Warszawie Tomasza Pydo (a) ustawiony na stanowisku pomiarowym skanera 3D na Wydz. SiMR PW (b)

W skanerach 3D serii ScanBright pomiar rozpoczyna się od wyświetlenia na mierzonym obiekcie serii określonych wzorów. Są to różnej szerokości pionowe biało-czarne pasy. Do tego używany jest typowy projektor multimedialny o znanej rozdzielczości i skalibrowanych przez producenta ustawieniach dot. wielkości obrazu i jego ostrości.

Dla zwiększenia dokładności pomiaru na obiekt umieszczony w przestrzeni pomiarowej skanera wyświetlane są sekwencje obrazów prążkowych: pięć obrazów prążków sinusoidalnych oraz dziewięć obrazów binarnych o zmieniającej się częstotliwości. Następnie moduł detektora (kamera cyfrowa) pobiera obrazy prążków zniekształconych na powierzchni badanego obiektu, w których zakodowana jest informacja o kształcie obiektu. Przykłady tego pokazano na sześciu kolejnych zdjęciach na poniżej zamieszczonych rysunkach 2.8a-2.8f.



Rysunek 2.8. Sekwencja różnych prążków wyświetlanych kolejno na mierzony obiekt podczas skanowania skanerem ScanBright Standard

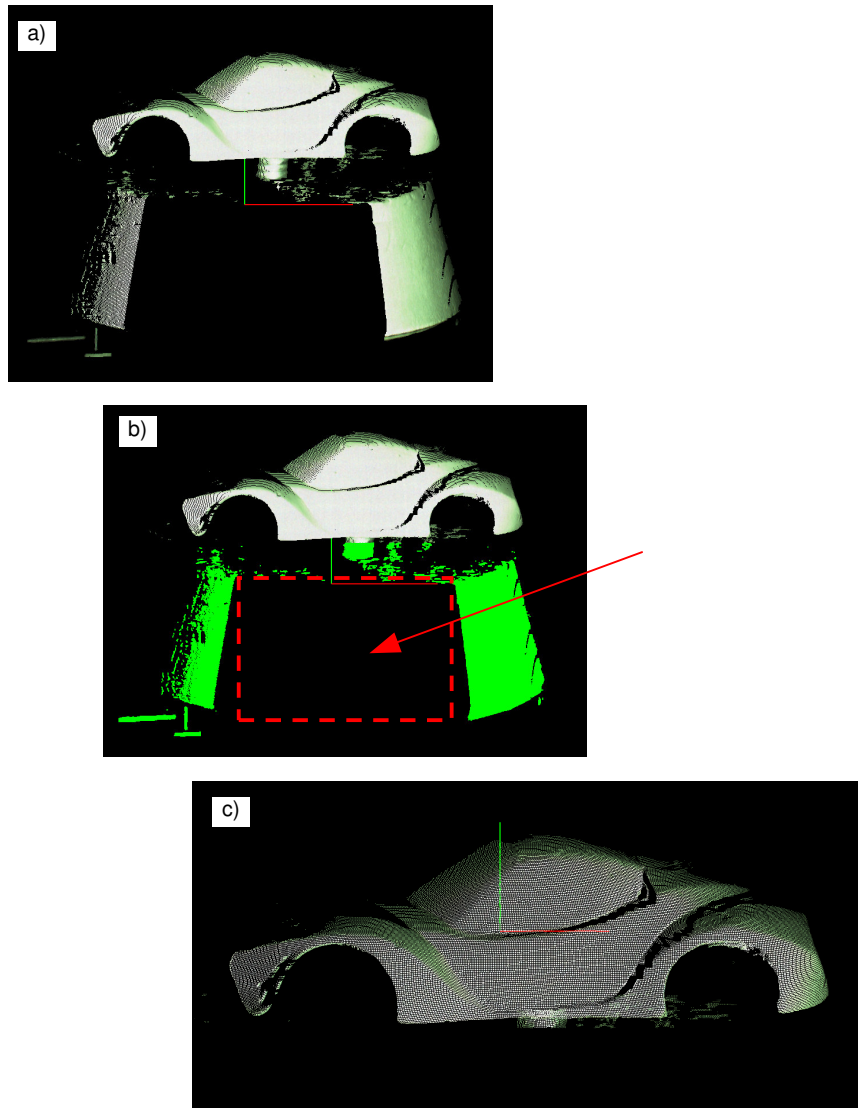
Po tym następuje ich analiza, w wyniku której wyznaczona zostaje chmura punktów (rysunek 2.9) położonych na powierzchni obiektu. Oprogramowanie Mesh3D może zapisać chmurę punktów do pliku tekstowego z kolejnymi wierszami w formacie (x,y,z) . Dodatkowo generowany jest jeszcze plik tekstowy z informacjami o kolorze każdego z punktów w postaci kolejnych wierszy w formacie (R,G,B) . W ten sposób tworzone są dwie macierze danych (x,y,z,R,G,B) , opisująca kształt i teksturę zmierzonego obiektu rzeczywistego.

Tabela 2.2 Początkowe 8 wierszy dwóch plików ze współrzędnymi zmierzonych punktów w formacie (x,y,z) oraz z kolorami tych punktów w formacie (R,G,B) dla modelu nadwozia pokazanego na rysunku 2.7.

Plik tekstowy: nadwozie.txt	Plik tekstowy: nadwozie.col
-85.8739 -23.6575 162.229	199 229 182
-85.7564 -23.3401 162.485	216 228 209
-85.6392 -22.6619 162.788	225 234 223
-85.6607 -23.0147 162.702	221 229 223
-85.3641 -23.3473 162.452	213 224 207
-85.4073 -21.5271 162.613	227 225 228
-85.2868 -23.0151 162.637	220 225 222
-85.2639 -22.3021 162.773	227 232 224
...	...

W wyniku pomiaru z jednego kierunku uzyskuje się chmurę punktów będącą informacją o kształcie obiektu w tzw. 2½ wymiarach, czyli bez górnych, dolnych i bocznych ścian (rysunek 2.9a). Na tym rysunku widoczny jest fragment stożkowej podstawy, na której stał podczas pomiaru obiekt. W wyniku skanowania nadwozia, część tej podstawy została też zmierzona i w postaci punktów dodana do jednej chmury punktów. Z tego powodu wymagane jest ich usunięcie poprzez np. ręczne zaznaczenie ich na monitorze komputera (rysunek 2.9b). Wstępnie oczyszczona chmura punktów z pomiaru jednego kierunku pokazana jest na rysunku 2.9c.

Jako ciekawostkę warto zauważyć, że rysunek 2.9a z chmurą punktów skanowanego nadwozia, zawiera tylko boczne fragmenty stożkowej podstawy. Jest tak dlatego, że skaner jest skalibrowany na określoną objętość pomiarową, więc przednia część stożkowej podstawy jest poza tą objętością.



Rysunek 2.9. Chmura punktów uzyskana w wyniku pomiaru z jednego kierunku modelu redukcyjnego nadwozia samochodu skanerem ScanBright: (a) wynik skanowania, (b) zaznaczenie punktów podstawy do usunięcia, (c) wstępnie oczyszczona chmura punktów

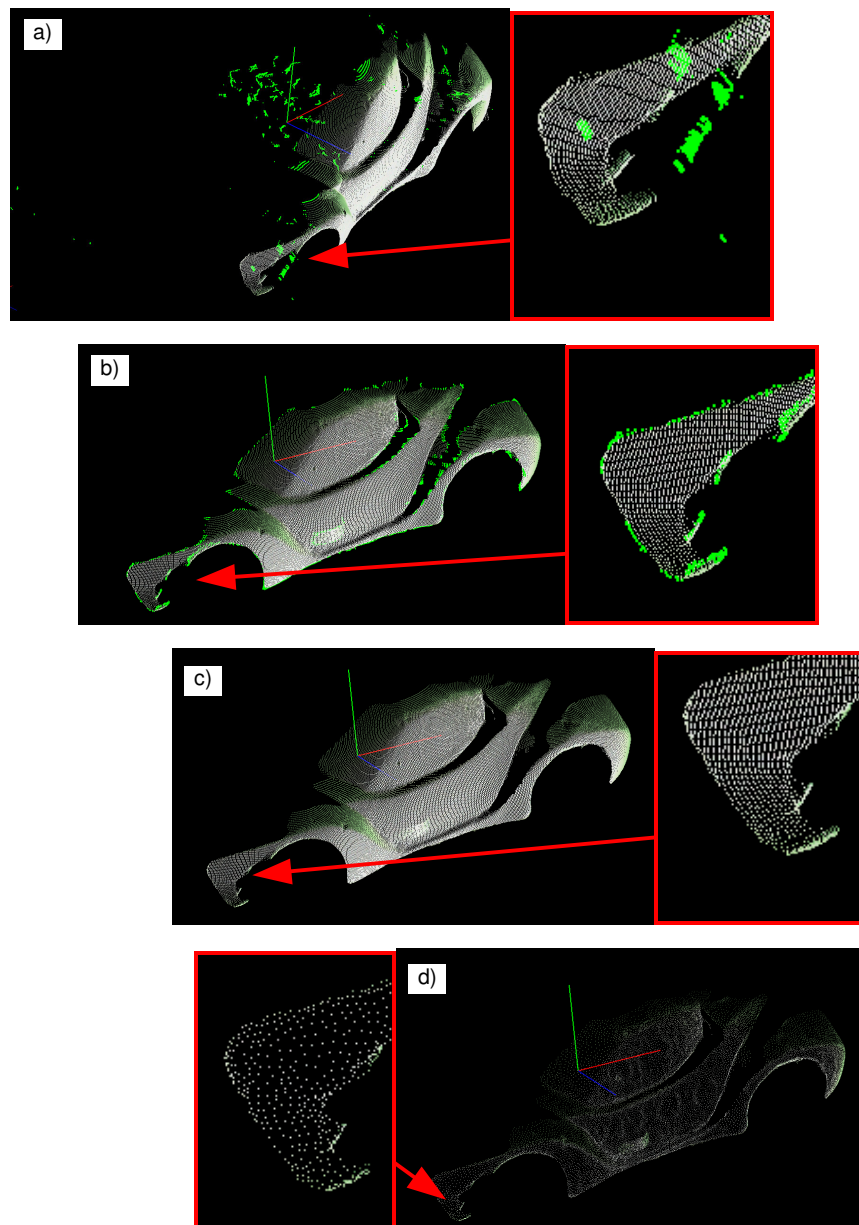
Dla uzyskania w pełni trójwymiarowej (3D) reprezentacji obiektu łączonych jest n-chmur punktów pobranych z n kierunków. Ilość kierunków

zależy od stopnia skomplikowania obiektów. Łączenie chmur punktów realizowane jest w specjalnym module systemu Mesh3D i może odbywać się to 3 sposobami:

- wstępne ręczne dosunięcie i obracanie chmur,
- metodą 3 punktów wskazywanych przez użytkownika na modelu,
- automatyczne dopasowanie funkcją minimalizacji błędu RMS.

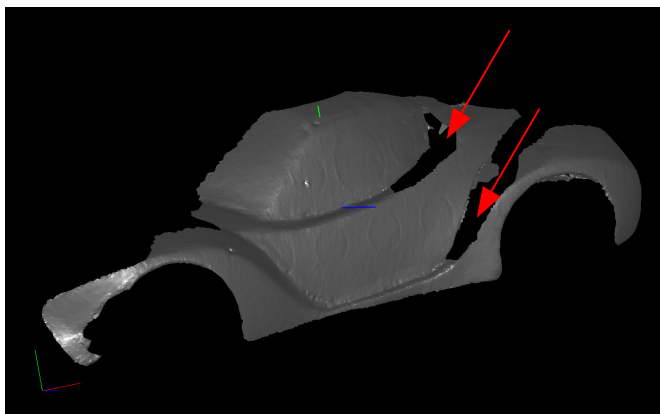
Każda uzyskana w wyniku skanowania chmurę punktów, powinno się poddać oczyszczeniu, usuwaniu szumów pomiarowych (rysunek 2.10a) i nieciągłości (rysunek 2.10b). Szumy pomiarowe stanowią nieznaczną część danych, stanowią je pojedyncze punkty losowo rozrzucone wokół chmury właściwej. Po odpowiednim ustawieniu parametrów filtracji punkty te są zaznaczane, a następnie kasowane. Natomiast nieciągłości powstają zazwyczaj na krawędziach mierzonego obiektu lub gdy mierzona powierzchnia jest równoległa do kierunku emitowanego przez moduł projekcyjny światła. Przykład chmury punktów po usunięciu szumu i nieciągłości pokazano na rysunku 2.10c.

Poza oczyszczaniem i odszumianiem chmur punktów, możliwe jest ich upraszczanie (rysunek 2.10d), w celu zmniejszenia liczby punktów, a przez to skrócenie późniejszych obliczeń. Ponadto w systemie Mesh3D można wygładzać punkty, co jednak wiąże się z mniejszą dokładnością odwzorowania obiektu rzeczywistego do postaci wirtualnej. Wygładzanie punktów pozwala na późniejsze wygenerowanie gładzych powierzchni NURBS w osobnym oprogramowaniu.



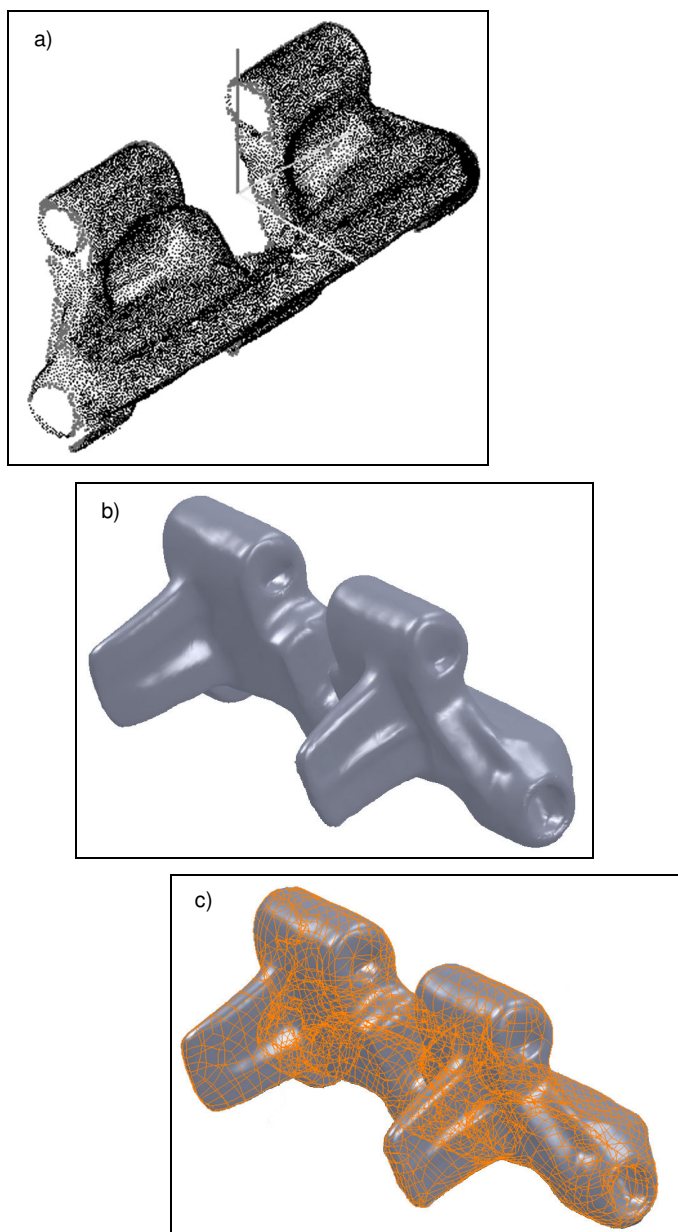
Rysunek 2.10. Kolejne etapy oczyszczania chmur punktów wykonywane w programie Mesh3D: (a) zaznaczone do usunięcia osobne małe grupy punktów traktowane jako szum pomiarowy, (b) zaznaczona do usunięcia nieciągłość granicy chmury punktów, (c) wynik oczyszczania – pozostało 75 tys. punktów, (d) chmura po jej uproszczeniu do 14 tys. punktów

Program Mesh3D umożliwia zamianę dowolnej chmury na siatkę trójkątów (rysunek 2.11) o ustalonych przez nas parametrach. Na etapie triangulacji istotne jest właściwe przygotowanie chmury, zwłaszcza omawiana wyżej odpowiednia filtracja adaptacyjna. Dzięki zagęszczeniu punktów na krzywiznach uzyskujemy większe zagęszczenie punktów węzłowych siatki w tych miejscach, rzadsze natomiast w rejonach bardziej płaskich lub wręcz płaskich. Pozwala to na tworzenie miękkich i delikatnych modeli przy jednoczesnej minimalizacji wielkości plików [Pabich].



Rysunek 2.11. Wynik automatycznej zamiany chmury punktów pokazanej na rysunku 2.10d na siatkę trójkątów (uzyskano 28 tys. trójkątów). Widoczne otwory w siatce (oznaczone strzałkami puste miejsca) są konsekwencją skanowania tylko z jednego kierunku

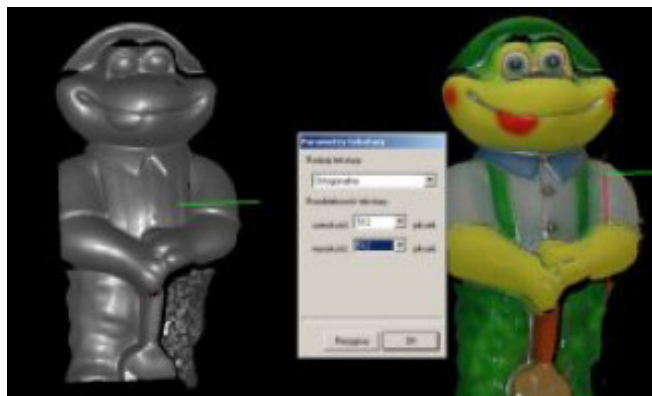
Tak powstałe siatki trójkątów możemy eksportować do dowolnych programów CAD/CAM/CAE lub trójwymiarowej grafiki komputerowej w formatach: TXT, DXF, VRML + tekstura oraz IGES. Barwa obiektu pobierana jest podczas pomiaru, dzięki czemu każdemu punktowi chmury punktów nadawana jest odpowiednia wartość barwy RGB. Tekstura ta następnie nakładana jest na siatkę trójkątów.



Rysunek 2.12. Chmura punktów po pomiarze skanerem ScanBright ogniwa gąsienicy z rysunku 1.1 od historycznego pojazdu wojskowego (a) i wygenerowane w module SkanTo3D systemu SolidWorks 2009 płyty powierzchni NURBS: (b) widok zacięniowany i (c) widok zacięniowany z granicami tych płyt powierzchni [Kamiński]

ROZDZIAŁ 2

Wyświetlanie siatki trójkątów możliwe jest wraz z teksturą, czyli kolorami przypisanymi do każdego trójkąta. Poniżej na rysunku 2.13 pokazano to na przykładzie zeskanowanej zabawki dla dzieci.



Rysunek 2.13. Zeskanowany model zabawki wyświetlany w programie Mesh3D jako zacieniowana siatka trójkątów bez i z teksturą

Ze względu na zastosowania archiwizacyjne niezbędne jest dokładne oddanie kolorów, co może być zapewnione jedynie przy odpowiednim bezcieniowym oświetleniu. W przypadku potrzeby bardzo dokładnego odwzorowania tekstury, oprogramowanie Mesh3D umożliwia podmianę tekstury z profesjonalnych zdjęć wykonanych w studio fotograficznym.

3

Ręczne skanery 3D

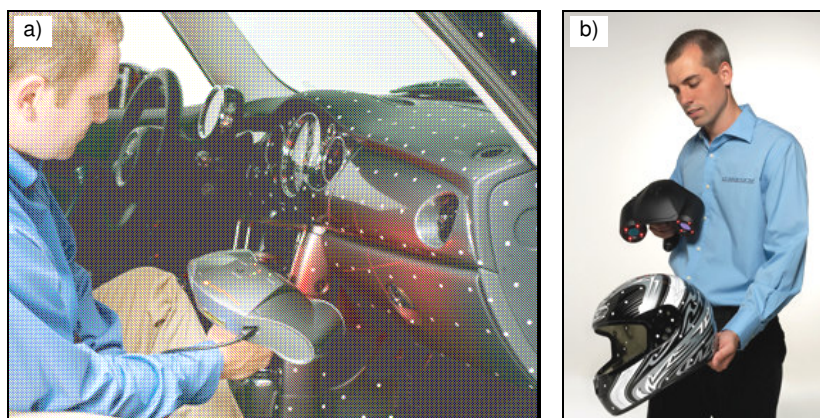
W tym rozdziale:

- Przykłady urządzeń
- Budowa ręcznego skanera 3D
- Zasady pomiarów skanerami ręcznymi
- Przykłady pomiarów

3.1. Wprowadzenie

Wśród urządzeń do pomiarów kształtów można wyróżnić grupę tzw. ręcznych skanerów 3D. Obsługa tych urządzeń polega na tym, że operator trzymając je w jednej dłoni steruje samodzielnie ich położeniem i kierunkiem „patrzenie”. Wymagane jest utrzymywanie pomiędzy skanerem a mierzonym obiektem odpowiedniej, stałej odległości (zwykle ok. 30 cm) i spokojne przesuwanie go nad skanowaną powierzchnią. Dzięki temu są one w pełni przenośne i umożliwiają pomiary miejsc trudnodostępnych dla urządzeń stacjonarnych. Przykładem tego mogą być pomiary deski rozdzielczej we wnętrzu samochodu bez konieczności jej demontowania, co pokazano na rysunku 3.1a.

Ręczne skanery 3D to urządzenia samopozycjonujące, dzięki czemu umożliwiają podczas pomiaru na dowolną manipulację zarówno obiektem jak i skanerem 3D (rysunek 3.1b). Sposób pozycjonowania oparty jest na triangulacji laserowej i wspomagany jest naklejonymi na mierzony przedmiot markerami (białymi kropkami).



Rysunek 3.1. Przykłady pomiarów ręcznymi skanerami 3D: (a) deski rozdzielczej samochodu [Car-T] oraz (b) hełmu motocyklowego [Creaform]

Do grupy ręcznych skanerów 3D zaliczamy urządzenia serii „HandyScan 3D” kanadyjskiej firmy Creaform oraz skanery serii „ZScanner” firmy Z-Corporation z USA. Wszystkie one dla ułatwienia pomiarów mają nie-

wielkie gabaryty i wagę (ok. 1 kg) oraz wyposażone są w ergonomiczną rękkość. Jednym z pierwszych takich skanerów był produkt firmy Z-Corporation nazwany „ZScanner 700”, którego widok pokazano poniżej na rysunku 3.2. Dokładny opis zasady działania i procedury pomiaru tym urządzeniem przedstawiono w następnym podrozdziale.



Rysunek 3.2. Widok na ręczny skaner 3D o oznaczeniu „ZScanner 700” firmy Z-Corporation [Car-T]

W celach informacyjnych poniżej przedstawiono przykładowe zdjęcia serii ręcznych skanerów 3D firmy Creaform (rysunek 3.3), natomiast w tabeli 3.1 zebrano najistotniejsze ich dane techniczne. W tej tabeli podano także oznaczenia ręcznych skanerów oferowanych przez firmę Z-Corporation pod nazwą „ZScanner”, a będących w istocie tymi samymi produktami, sprzedawanych tylko pod inną marką i o innym oznaczeniu handlowym.



Rysunek 3.3. Widoki od przodu na ręczne skanery 3D serii „HandyScan 3D” firmy Creafom: (a) UNIScan, (b) REVscan, (c) EXAScan, (d) VIUscan, (e) MAXscan oraz (f) ERGOscan [Creafom]

Szczegóły budowy tych skanerów przedstawiono w następnym podrozdziale na przykładzie zgodnego z modelem UNIScan skanera „ZScanner 700” firmy Z-Corporation.

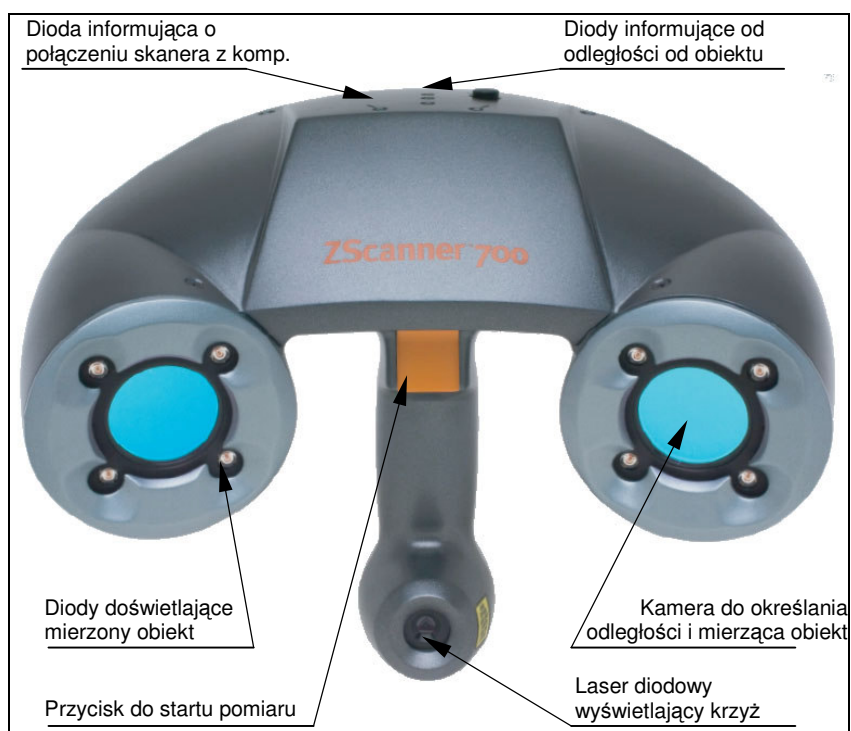
Tabela 3.1. Wybrane dane techniczne ręcznych skanerów 3D serii „HandyScan 3D” firmy Creaform oraz ich odpowiedników z serii „ZScanner” firmy Z-Corporation

Seria skanerów HandyScan 3D firmy Creaform	UNIsScan	REVsacn	EXAscan	VIUsCan	MAXscan	ERGOscan
Nazwa skanera w Z-Corporation	ZScanner 600	ZScanner 700	ZScanner 800	ZScanner 700CX	ZScanner 700PX	
Waga urządzenia [kg]:	0,98	0,98	1,25	1,3	1,27	0,98
Wymiary gabarytowe [mm]:	160 x 260 x 210	160 x 260 x 210	172 x 260 x 216	172 x 260 x 216	172 x 260 x 216	176 x 284 x 209
Ilość kamer:	2	2	3	3	3	2
Szybkość próbkowania [pomiarów/sek.]	18 000	18 000	25 000	18 000	18 000	18 000
Rozdzielczość w osi Z [mm]:	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,1
Dokładność pomiaru w osiach X i Y:	do 80 µm	do 50 µm	do 40 µm	do 50 µm	do 50 µm	
Dopuszczalne błędy pomiaru wg ISO 10360	50 µm + 250 µm/m	20 µm + 200 µm/m	20 µm + 100 µm/m	20 µm + 200 µm/m	20 µm + 25 µm/m	0,5mm w obj. 500 mm
Głębokość obszaru pomiaru:	300 mm					...
Klasa lasera:	klasa II (bezpieczna dla oczu)					klasa I (bezp. dla oczu)
Zasilanie i transfer danych:	poprzez złącze FireWire					
Formaty plików wyjściowych:	.dae, .fbx, .ma, .obj, .ply, .stl, .txt, .wrl, .x3d, .x3dz, .zpr					

Ponadto jako jedyne z wyżej wymienionych urządzeń, tylko skanery VIUsCan / „ZScanner 700CX” posiadają możliwość podczas pomiaru wczytywania tekstury obiektu w postaci mapy bitowej. Skanowanie tekstury odbywa się w rozdzielczość od 50 do 250 dpi (ang. dot per inch – punktów na cal), przy 24 bitowej głębi kolorów (16,7 milionów kolorów) ze standardowej przestrzeni kolorów sRGB.

3.2. Budowa skanerów ręcznych

Wszystkie przedstawione w poprzednim podrozdziale ręczne skanery 3D mają podobnie działają i mają zbliżoną budowę. Posiadają one ergonomiczną rękkojęć z wbudowanym przyciskiem (rysunek 3.4) startującym pomiar i przesył danych do komputera. Na dole rękkojęć wbudowany jest laser diodowy do wyświetlania dwóch krzyżujących się linii na skanowanej powierzchni. Pomaga to operatorowi dokładnie określić aktualne miejsce pomiaru, a położenie linii czytane jest przez układ dwu kamery CCD. Są one głównym elementem urządzenia i służą też do śledzenia punktów referencyjnych (tzw. markerów) rozmieszczonych odpowiednio na mierzonym obiekcie (rysunek 3.1).



Rysunek 3.4. Główne elementy urządzenia „ZScanner 700” firmy Z-Corporation [Z-Corp]

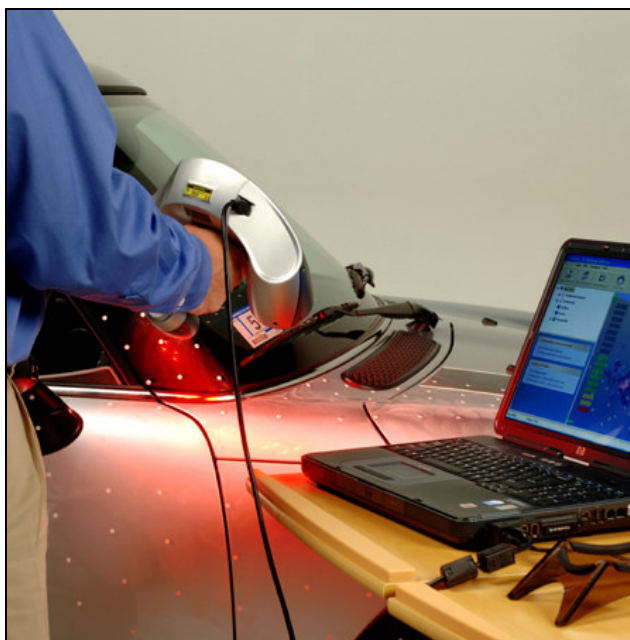
Dla podniesienie dokładności pomiarów w niektórych modelach skanerów dodaje się jeszcze jedną, trzecią kamerę pomiarową (rysunek 3.3). Wokół kamer koleńskie zamontowane są po 4 jasne diody LED, oświetlające światłem czerwonym skanowany obiekt, co pokazano na rysunku 3.5.



Rysunek 3.5. Włączone diody LED doświetlające obiekt mierzony.
„ZScanner 700” firmy Z-Corporation [Z-Corp]

Na górnej części urządzenia zamontowane są diody informujące o stanie skanera oraz wskazujące odległość od mierzonej powierzchni – czy jest ona za daleko, czy za blisko. Z tyłu obudowy zamontowane jest gniazdo FireWire do połączenia z komputerem.

Wszystkie wymienione w tab. 3.1. ręczne skanery 3D muszą podczas skanowania być podłączone do zewnętrznego komputera poprzez łącze FireWire, poprzez które jest zasilany. Poza tym to złącze służy do przesyłania danych pomiędzy oprogramowaniem zainstalowanym na tym komputerze a skanerem 3D, co pokazano na rysunku 3.6. Poprzez port FireWire odpowiednie dedykowane oprogramowanie steruje pracą skanera, który tą drogą przekazuje wyniki pomiarów kształtu (współrzędne XYZ punktów) oraz tekstury, czyli kolor RGB danego punktu.

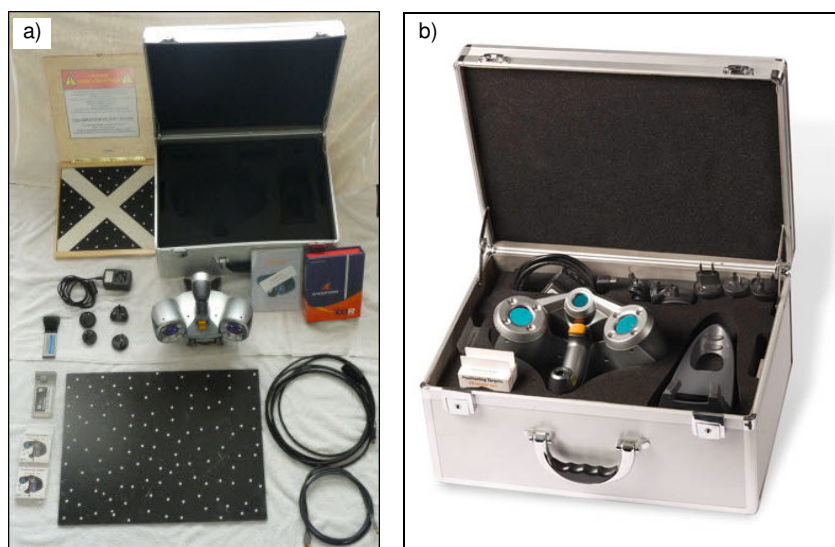


Rysunek 3.6. „ZScanner 700” firmy Z-Corporation podłączony do zewnętrznego komputera sterującego poprzez łącze FireWire. Na ekranie komputera widoczny jest program sterujący pracą skanera i pokazywane są w czasie rzeczywistym są wyniki pomiarów [Z-Corp]

FireWire jest to standard łącza szeregowego opracowanym w 1995 roku do łączenia komputerów osobistych z cyfrowymi urządzeniami peryferyjnych, takimi jak kamery wideo, aparaty fotograficzne, skanery płaskie, dyski twarde itp. W typowej specyfikacji określonej w „IEEE 1394”, łącze to umożliwia transmisję danych z prędkością do 400 Mb/s. Łącze FireWire jest zgodne z zasadą „Plug and Play”, czyli daje możliwość podłączenia lub odłączenia urządzenia bez konieczności wyłączenia komputera.

Ręczne skanery 3D sprzedawane są w zestawach zawierających, poza samym urządzeniem, podstawę od odstawiania skanera, oprogramowanie, przewody i przejściówki, kartę standardu PCMCIA (tzw. PC Card) z portami FireWire dla notebooków, płyty kalibrujące oraz opakowanie transportowe. Aby rozpocząć pomiary kształtów trzeba połączyć skaner z zewnętrznym komputerem przewodem FireWire (max. 4,5 m długości) i zainstalować na nim dedykowane oprogramowanie pracujące pod kontrola systemu Windows XP/Vista/7. Po tym do poprawnej pracy skaner trzeba skalibrować za pomocą specjalnej płyty kalibrującej

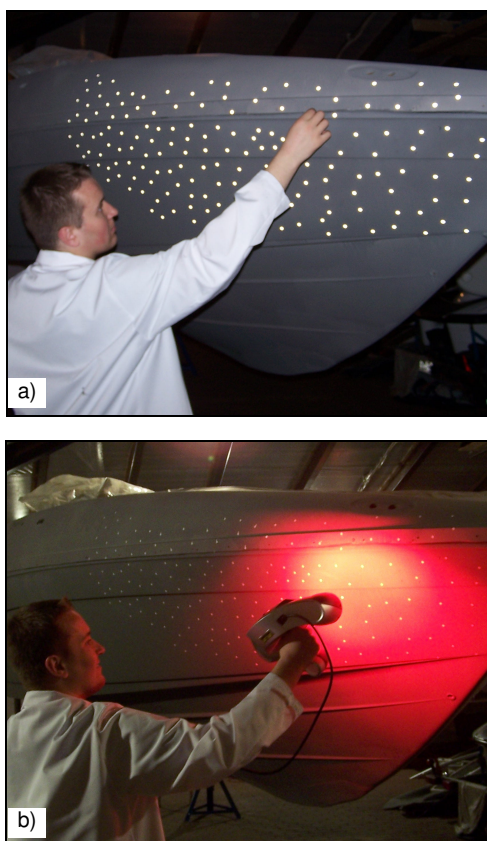
wchodzącej w skład zestawu (rysunek 3.7). Czynność kalibracji trwa ok. 2 min.



Rysunek 3.7. Zestaw płyt kalibrujących oraz osprzętu dedykowanego do skanera „ZScanner 700” (a) oraz przykład mierzenie tym urządzeniem nadwozia samochodu (b) [Z-Corp]

3.3. Zasady pomiarów

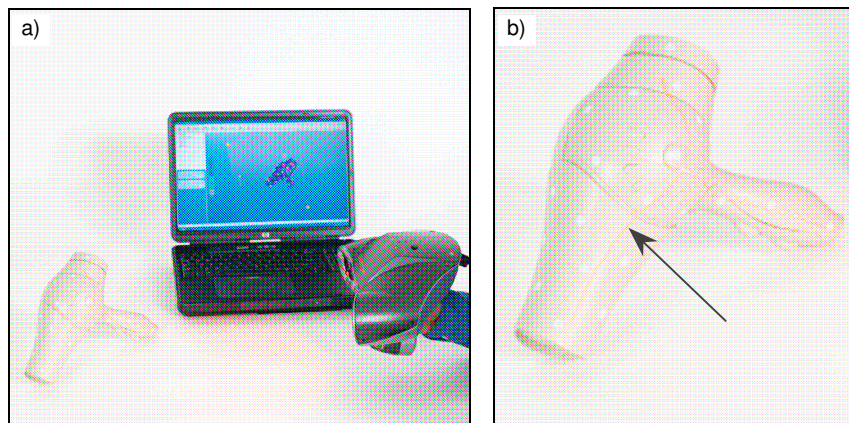
Przed rozpoczęciem pomiarów na mierzonym obiekcie ręcznie nakleja się znaczniki (tzw. markery) w postaci białych, refleksyjnych kółek o średnicy kilku milimetrów. Powinny one być rozłożone przypadkowo w odległościach nie większych niż 20-100 mm, tak aby były minimum 3 widoczne przez układ kamer skanera (rysunek 3.11). Przykład rozmieszczenia markerów na powierzchni kadłuba łodzi pokazano na rysunku 3.8a, natomiast na rysunku 3.8b widoczny jest sam proces pomiaru.



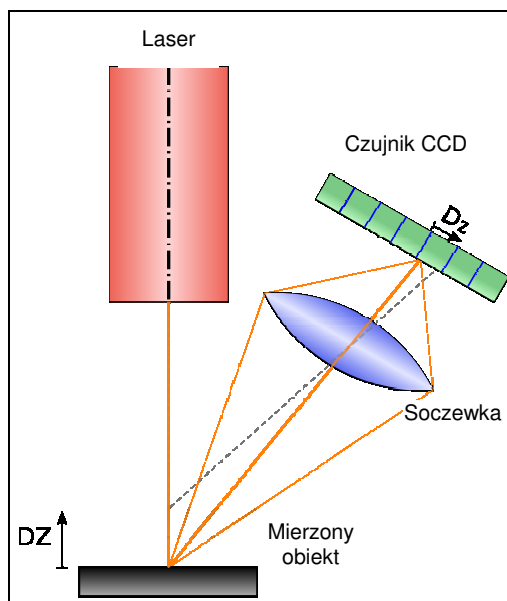
Rysunek 3.8. Rozmieszczenie markerów na mierzonej powierzchni (a) oraz sam przebieg pomiaru kształtu łodzi (b) [Car-T]

Pomiar kształtu ręcznym skanerem 3D polega na „omiataciu” mierzonej powierzchni utrzymując urządzenie w pewnej od niej odległości. Na obiekcie wyświetlane są przy pomocy lasera dwie przecinające się linie (rysunek 3.9), których ugięte odbicie odczytywane jest przez układy detekcji w postaci obu kamer.

Pomiar odbywa się na zasadzie triangulacji laserowej, czyli wykonywana jest projekcja linii lasera, a sensor umieszczony w znanym położeniu i odległości od źródła lasera „zczytuje” odbicie linii z powierzchni (rysunek 3.10). Wynikowy kąt odbicia jest interpretowany i dostarcza współrzędne XYZ punktów tej linii na mierzonym obiekcie. W przypadku ręcznych skanerów 3D mierzone są punkty na obu liniach krzyża jednocześnie.



Rysunek 3.9. Skanowanie kształtu suszarki (a) oraz zbliżenie na widoczne markery i linie lasera do pomiaru punktów (b) [Car-T]

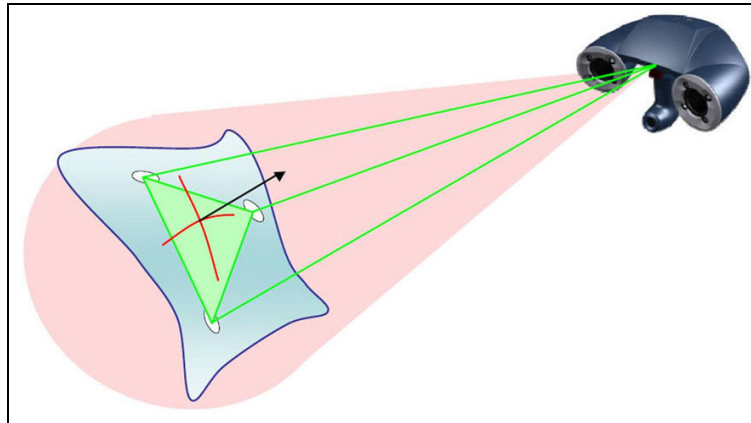


Rysunek 3.10. Pomiar odległości od obiektu przy pomocy wiązki lasera. Wykorzystywana jest do tego zasada triangulacji laserowej [Wikipedia]

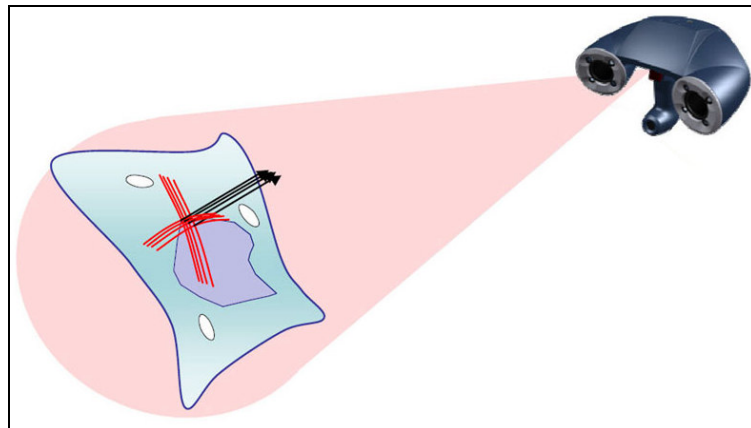
Aby móc jednoznacznie pozycjonować aktualną pozycję skanera względem mierzonego przedmiotu, kamery CCD rejestrują położenie „siatki” markerów, będącej punktami referencyjnymi. Każde trzy z tych znaczników określają układ odniesienia przedmiotu względem urządzenia pomiarowego. Zainstalowane na komputerze oprogramowanie zapamiętuje położenie markerów względem siebie, co pozwala na ciągle orientowane położenia skanera w przestrzeni względem mierzonego obiektu. Odbywa się to w czasie rzeczywistym dzięki szybkim algorytmom matematycznym. Dzięki temu ręczne skanery 3D są samopozycjonujące i umożliwiają podczas pomiaru jednoczesne, niepowiązane ze sobą poruszanie skanerem i mierzonym obiektem.

W celu wyjaśnienia zależności pomiędzy rzucanymi na obiekt krzyżującymi się liniami lasera, a pozycjonowaniem pozycji urządzenia przy pomocy markerów poniżej zamieszczono dwa rysunki. Pierwszy z nich (rysunek 3.11) pokazuje moment ustalenia pozycji skanera względem mierzonego obiektu przy pomocy trzech markerów widocznych na tym fragmencie powierzchni. Po tym następuje pomiar współrzędnych punktów na obiekcie wskazanych liniami lasera. Natomiast rysunek 3.12 pokazuje moment poruszania skanera w górę i pomiaru następnych położań krzyża laserowego. Dzięki takiemu „omiataniu” automatyczne

generowana jest powierzchnia w miejscu przecinania się promieni lasera na skanowanej powierzchni.



Rysunek 3.11. Wyznaczanie pozycji skanera względem obiektu mierzonego [Car-T]



Rysunek 3.12. Pomiar współrzędnych punktów na obiekcie w miejscach wskazanych liniami lasera [Car-T]

Markery są rozmieszczone na mierzonym obiekcie losowo, więc przyjmuje się, że każde wybrane trzy markery leżące najbliżej siebie, są w przestrzeni pomiarowej niepowtarzalne. Dzięki temu oprogramowanie skanera zapamiętuje ich rozmieszczenie względem mierzonej powierzchni i w momencie powtórnego „omiatania” zmierzonej już powierzchni rozpoznaje miejsce pomiaru. Dlatego, gdy pominie się jakiś fragment

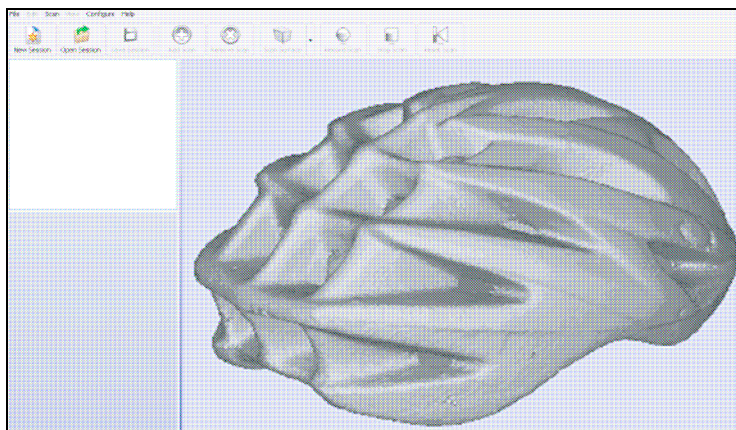
powierzchni, zawsze później można wrócić i dodatkowo domierzyć (tzw. „doskanować”) wybrany fragment lub wręcz powtórzyć pomiar.



Rysunek 3.13. Przykład pomiaru makiety opakowania na płyn. Na ekranie komputera wyświetlana jest w czasie rzeczywistym skanowana powierzchnia. [Z-Corp]

„Doskanowanie” jest działaniem nieskomplikowanym, ponieważ podczas skanowania na ekranie komputera (rysunek 3.13b) na bieżąco rozbudowana jest wirtualna powierzchnia (siatka trójkątów) i od razu widać czy poprawnie udało się zmierzyć kształt. Jeśli podczas skanowania operator pominie jakieś miejsce, to widoczna jest przerwa w wirtualnej siatce na ekranie (tzw. dziura w powierzchni). Wtedy podczas „doskanowania” tego miejsca, system sam (dzięki rozmieszczeniu markerów) zorientuje się, że mierzymy ten fragment obiektu, a nie inny.

Efektem skanowania jest wirtualna, przestrzenna siatka trójkątów, wyświetlana na ekranie programu w sposób zacieniowany (rysunek 3.14). Tą siatkę można wyeksportować do zewnętrznych programów 3D CAD/CAM/CAE w postaci plików formatu STL [Car-T]. W niektórych systemach CAD mających moduły do obróbki chmur punktów i siatek trójkątów, możliwa jest ich modyfikacja (wygładzanie, odszumianie), a dalej rozpięcie na nich powierzchni typu NURBS. Natomiast praktycznie każdy system 3D CAM pozwala na generowanie ścieżek narzędzi na siatkach trójkątów.



Rysunek 3.14. Widok interfejsu oprogramowania po zakończeniu skanowania kasku rowerowego. Wynikiem skanowania jest przestrzenna siatka trójkątów [Z-Corp]

3.4. Przykłady zastosowań

Ręczne skanery 3D nie są tak szybkie przy skanowaniu dużych powierzchni jak skanery stacjonarne na białe światło strukturalne, ale umożliwiają pomiar miejsc trudnodostępnych dla skanerów stacjonarnych. Przykładem tego może być pomiar kształtu skał (rysunek 3.15), detali architektonicznych (rysunek 3.17d), a także pomiar wnętrza samochodu, co pokazano na rysunku 3.1.

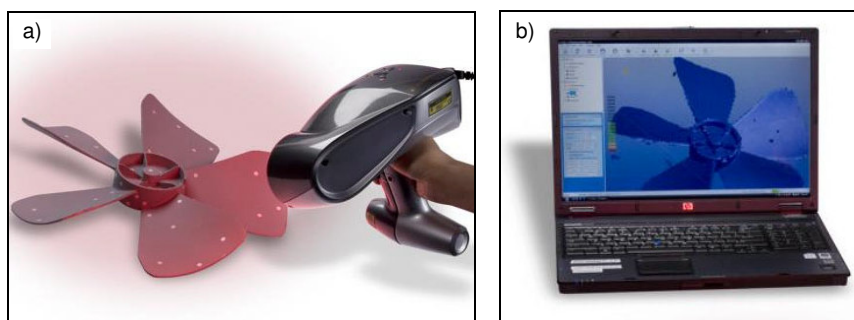


Rysunek 3.15. Pomiary w plenerze kształtu skał i rosnących tam roślin [Creaform].

Dzięki samo-pozycjonowaniu się możliwe jest zdigitalizowanie całego obiektu podczas pojedynczego, ciągłego pomiaru. Jeśli kształt mierzonego obiektu oraz położenie markerów są niezmiennie, można wykonać skanowanie powierzchni w późniejszym czasie. Te działania wspomaga szczególnie możliwość wyświetlania skanowanych powierzchni w czasie rzeczywistym na ekranie komputera (rysunek 3.16b). Bardzo ułatwia to tzw. doskanowywanie niepomierzonych powierzchni lub pomierzonych niepoprawnie lub mało dokładnie.

Samopozycjonowanie ręcznych skanerów pozwala zrezygnować z dodatkowego osprzętu (np. stoły obrotowe), które wymagane są w przypadku skanowania obiektów technicznych, mających np. oś symetrii. Takim

przykładem są łopatki wentylatorów (rysunek 3.16a) czy łopatki turbin (rysunek 1.8).



Rysunek 3.16. Proces skanowania wentylatora (a) i na bieżąco tworzona siatka trójkątów (b) pokazująca efekt skanowania [Z-Corp]



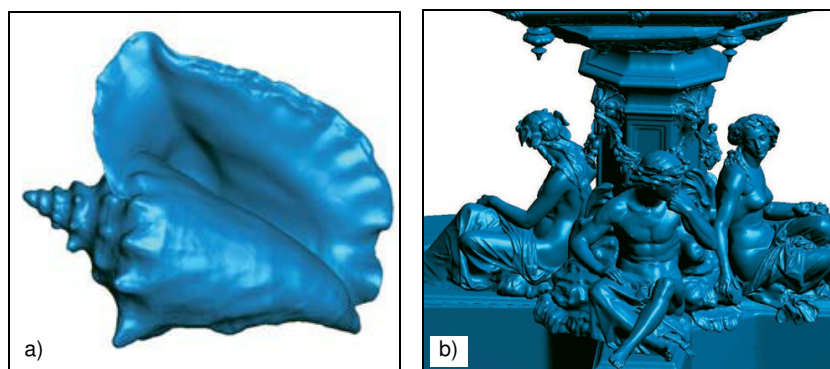
Rysunek 3.17. Proces skanowania łopatek turbiny [3Dscanningservices]

Dokładność pomiarów skanerów ręcznych jest zbliżona lub trochę gorsza od skanerów stacjonarnych, ale ze względu na ich wszechstronność mają wiele zastosowań, m.in. do pomiarów w następujących dziedzinach:

- archeologia, muzealnictwo (np. rzeźby, detale architektoniczne) (rysunek 3.18b),
- sztuka nowoczesna, multimedia, reklama (np. na potrzeby wizualizacji, animacji, filmów, TV) (rysunek 1.9),

ROZDZIAŁ 3

- biologia, medycyna (np. rośliny, kości, muszle, części ciała, implanty) (rysunek 3.18a),
- wzornictwo przemysłowe (np. opakowania, obudowy AGD, nadwozia pojazdów, kadłuby łodzi) (rysunek 1.5),
- części maszyn (np. korpusy silników i przekładni, wentylatory, łopatki) (rysunek 3.16, 1.7a),
- ergonomia (np. uchwyty elektronarzędzi) (rysunek 1.8).



Rysunek 3.18. Przykłady wykonanych pomiarów (wyświetlane tu jako cieniowane siatki trójkątów): (a) muszla, (b) rzeźba [Creaform]

Ręczne skanery 3D dokonują pomiaru metodami bezdotykowymi, wobec czego można mierzyć kształt elementów z materiałów podatnych: elastomerów, pianek z tworzyw sztucznych, itp. Przykładem tego mogą być powierzchnie foteli samochodowych, wykładziny wygłuszające pojazdów, uszczelki, miękkie skorupy kasków i hełmów (rysunek 3.18a), a także ciała ludzi i zwierząt (rysunek 3.18b), liście roślin i wiele innych.



Rysunek 3.19. Pomiar czaszki dziecka w celu dopracowania kształtu miękkich skorup kasku (a) oraz skanowanie stopy w celu opracowania obuwia anatomicznego (b) [Asme]

Niektóre z modeli ręcznych skanerów 3D posiadają także możliwość pomiarów tekstury mierzonych powierzchni. Dzięki temu wraz z współrzędnymi punktów wczytywany jest ich kolor w postaci danych RGB. Dzięki temu na generowany w komputerze wirtualny model można wyświetlać z nałożoną teksturą, co jest niezbędne w zastosowaniach multimedialnych. Przykład tego pokazano na rysunku 1.10.

4

Lasery biurowe

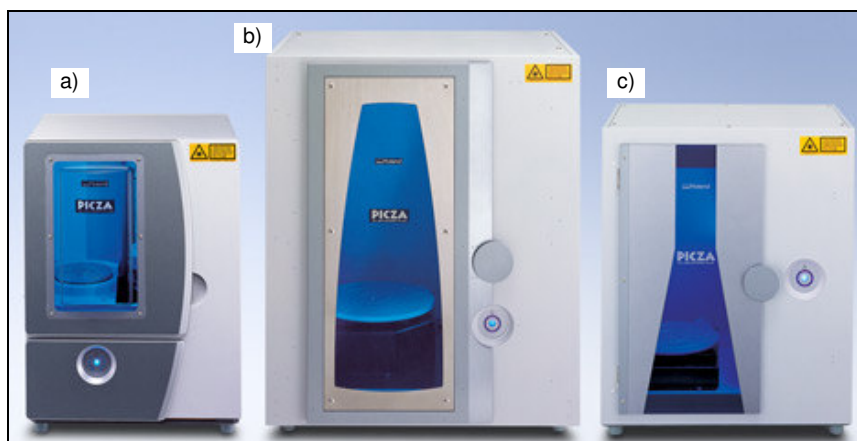
W tym rozdziale:

- Przykłady urządzeń
- Budowa urządzeń na przykładzie skanera firmy NextEngine
- Zasady i przykłady pomiarów skanerami laserowymi

4.1. Biurkowe skanery laserowe

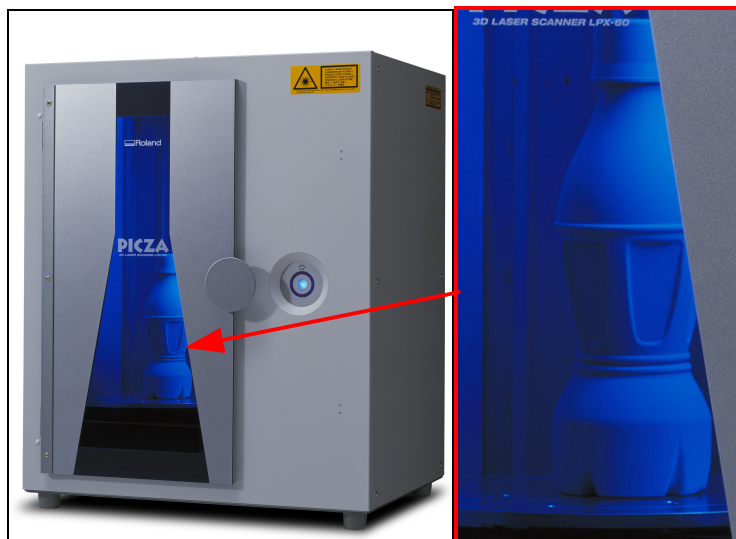
Jest wiele typów skanerów przestrzennych, ale wśród nich można wyróżnić grupę urządzeń o wielkości drukarki laserowej lub kserografu. na potrzeby tego opracowania nazwano je skanerami biurkowymi (lub stołowymi), bo można je postawić na biurku projektanta i używać m.in. na potrzeby inżynierii odwrotnej.

W biurkowych skanerach stosowane są zwykle metody bezdotykowe, które wykorzystują najczęściej zasadę profilometrii laserowej (tzw. triangulacja laserowa). Przykładem takich urządzeń jest seria skanerów laserowych firmy Roland oferowana pod nazwą PICZA, a są to m.in. modele: „LPX-1200DS” (rysunek 4.1a), „LPX-600DS” (rysunek 4.2b), LPX-60DS (rysunek 4.1c), a także starsze modele tej serii: „LPX-600” (rysunek 1.18a) oraz „LPX-1200”² (rysunek 4.3a).

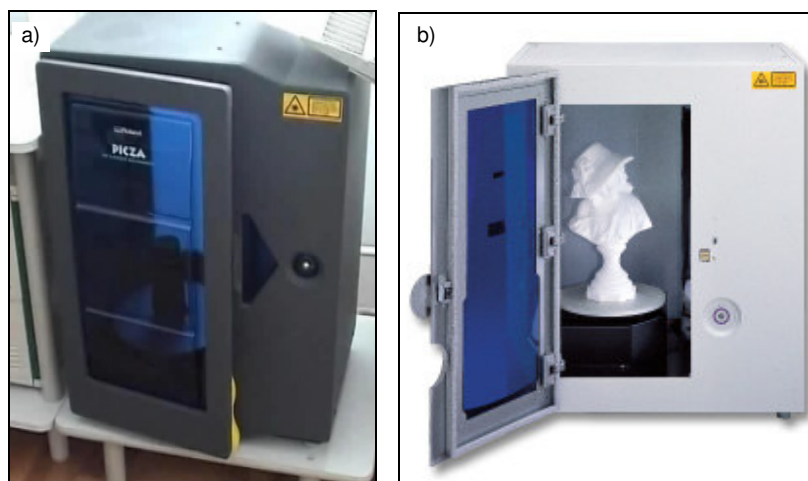


Rysunek 4.1. Biurkowe skanery laserowe firmy Roland serii PICZA:
(a) „LPX-1200DS”, (b) „LPX-600DS”, (c) „LPX-60DS”
(widok porównujący gabaryty zewnętrzne urządzeń) [Roland]

² W skaner „PICZA LPX-1200” firmy Roland jest wyposażone jedno z laboratoriów Wydziału Mechatroniki Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie.



Rysunek 4.2. Widok na mierzony model butelki umieszczony w przestrzeni roboczej skanera 3D „PICZA LPX-60DS” [Roland]

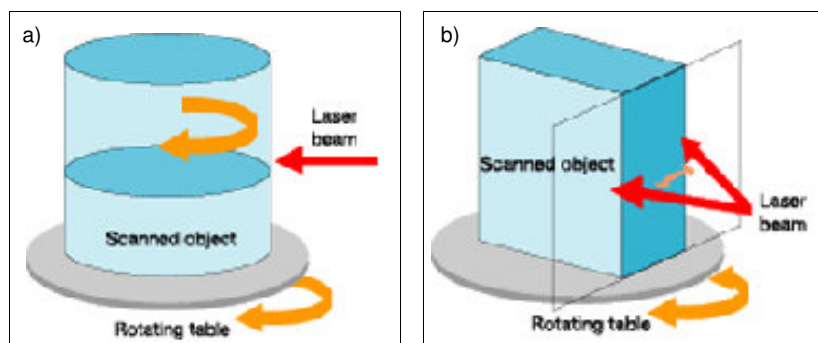


Rysunek 4.3. Biurkowe skanery laserowe serii PICZA firmy Roland: (a) „LPX-1200” [Bis] oraz (b) widok na „LPX-1200DS” z otwartą komorą pomiarową [QUEDEX]

Seria skanerów PICZA to urządzenia „szafkowe”, to znaczy, że mierzony obiekt jest umieszczany wewnątrz urządzenia na stole obrotowym (rysunek 4.2), a pomiar odbywa się po zamknięciu drzwi skanera (rysunek 4.3b). Przestrzeń robocza tych skanerów jest walcem, którego oś jest pionowa. Przykładowo dla modelu „LPX-1200” pokazanego na rysunku 4.3a wymiary tego walca wynoszą: $\varnothing 230\text{mm}$ wys. 406mm.

Pomiar kształtu skanerami serii PICZA może odbywać na dwa sposoby: obrotowo lub płaszczyznowo. Wybór jest zależny od typu rzeczywistego obiekt, który ma być mierzony. Skanowanie obrotowe jest wskazane dla kształtów zbliżonych do obrotowych (np. figurka, rękojeść), natomiast skanowanie płaszczyznowe do kształtów bardziej płaskich (np. płasko-rzeźba, relief, itp.).

Zasadę skanowania obrotowego (ang. rotary scanning) schematycznie pokazano na rysunku 4.4a. To skanowanie polega na tym, że stół obraca się stale, a laser skanuje wyłącznie w osi obrotu skanowanego obiektu. Na początku laser skanuje pierwszą warstwę (poziom), potem przesuwa w dół do następnej warstwy (poziomu) i cykl powtarza się.



Rysunek 4.4. Sposoby skanowania skanerami serii PICZA:
(a) skanowanie obrotowe, (b) skanowanie płaszczyznowe [Bis]

Skanowanie płaszczyznowe (ang. plane scanning) w postaci schematu pokazano na rysunku 4.4b. Jest to pomiar obiektu z kilku-kilkunastu wybranych kierunków. Polega on na tym, że laser obraca się na lewo-prawo mierząc obiekt na danej wysokości, a następnie przesuwa się w dół do następnej warstwy (poziomu) i cykle powtarza się. Po osiągnięciu dna, stół obrotowy obraca się o zadany kąt (równy $360\text{st}/n\text{-kierunków}$) i pomiar z tego kierunku odbywa się na tej samej zasadzie jak wcześniej.

Do grupy laserowych skanerów biurkowych można także zaliczyć system pomiarowy firmy NextEngine o nazwie „Desktop 3D Scanner” (rysunek 1.18b i rysunek 4.5). Ten skaner nie posiada zamkniętej szafki z przestrzenią roboczą, ale do pomiaru jest też wykorzystywana triangulacja laserowa. Budowa tego skanera oraz proces pomiaru kształtu został pełniej opisany w następnym podrozdziale.

Poza biurkowymi skanerami laserowymi, spotykane są także skanery dotykowe, najczęściej z głowicami piezoelektrycznymi, czego przykładem jest choćby skaner „PICZA PIX-30” firmy Roland pokazany na rysunku 1.16 w pierwszym rozdziale.

4.2. Skaner firmy NextEngine

Jednym z biurkowych skanerów przestrzennych posługujących się światłem laserowym jest urządzenie sprzedawane pod nazwą „Desktop 3D Scanner” firmy NextEngine (rysunek 4.5). Został on opracowany w 2006 roku jako urządzenie dedykowane do współpracy z SolidWorks i wtedy korzysta z modułu „ScanTo3D”. Skaner firmy NextEngine można także używać samodzielnie, bez posiadania systemu SolidWorks, ponieważ opracowano do niego własne oprogramowanie o nazwie „ScanStudio”. Korzystając z programu ScanStudio możliwe jest eksportowanie wyłącznie siatek trójkątów poprzez pliki w formatach STL lub VRML, natomiast ScanTo3D pozwala na generowanie na siatkach powierzchni NURBS.



Rysunek 4.5. Laserowy skaner biurkowy firmy NextEngine ze sterowanym stolikiem obrotowym [CNS]

W skład zestawu do pomiarów przestrzennych firmy NextEngine, poza samym skanerem 3D, wchodzi jeszcze sterowany stolik obrotowy (tzw. AutoPositioner), który pozwala na automatyczne zeskanowanie obiektu z wielu stron (rysunek 4.5). Poza tym do zestawu producent dołącza

jeszcze uniwersalny metalowy uchwyt (tzw. PartGripper), pozwalający na pomiary małych, delikatnych i obłych elementów (rysunek 4.6).



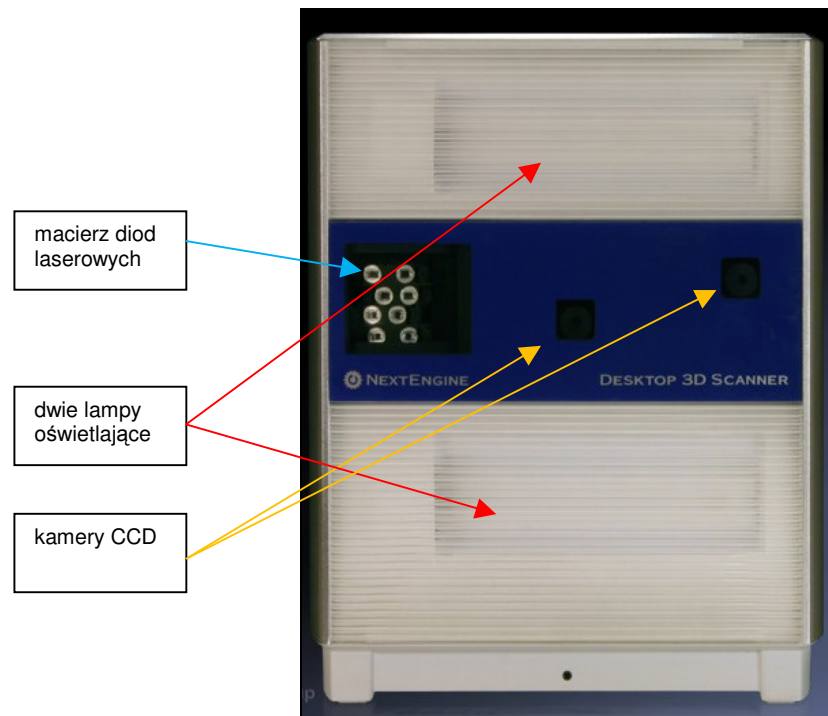
Rys. 4.6. Zestaw pomiarowy „Desktop 3D Scanner” firmy NextEngine podczas procesu skanowania (widoczne dwie jasne lampy oświetlające obiekt) [<http://think-twice-man.blogspot.com/>]

„Desktop 3D Scanner” firmy NextEngine jest niewielki i łatwy w transporcie (patrz tabela 4.1). Musi on być sterowany poprzez zewnętrzny komputer, z którym współpracuje poprzez port USB 2.0, ale nie jest z niego zasilany. Oprogramowanie dedykowane do opisywanego skanera to „ScanStudio”, które może pracować pod kontrolą systemu Microsoft Windows XP/Vista/7 i ma typowe jak dla aplikacji 3D zalecane wymagania sprzętowe: procesor o częstotliwości 2GHz, pamięć RAM 2GB i karta graficzna ze wsparciem 3D z pamięcią o wielkości 128 MB.

Tabela 4.1. Podstawowe dane techniczne systemu pomiarowego „Desktop 3D Scanner” firmy NextEngine [CNS]

Podstawowe dane techniczne „Desktop 3D Scanner” firmy NextEngine			
Parametr	Tryb pracy:	Makro	Wide
		(małe obiekty)	(szeroki)
Rozdzielczość układu pomiarowego [punktów na cal]		200 DPI	75 DPI
Niedokładność pomiaru [cale]		+/- 0,005	+/- 0,015
Rozdzielczość pomiaru tekstury [punktów na cal]		400 DPI	150 DPI
Rozmiar skanowanego pola (okno pomiarowe): szer. x wys. [cala]		5,1 x 3,8	13,5 x 10,1 (22,5 x 16,75 wersja HD Pro)
Szybkość pomiaru z jednego kierunku:		ok. 2 min.	
Szybkość przetwarzania punktów:		50 tys. / sek.	50 tys. / sek.
Maksymalna waga mierzonego obiektu: na stole obrotowym / w dostarczonym uchwycie		9 kg / 4,5 kg	
Gabaryty urządzenia: szer. x głęb. x wys. [cm]		22,3 x 9,1 x 27,6	
Zasilanie skanera: napięcie / częstotliwość		110 / 230 V, 50 / 60Hz	

Skanner jest wyposażony w dwa zestawy 4 diod laserowych (rysunek 4.7), osobne do trybu Makro (dla małych obiektów i do dokładnego skanowania) oraz osobny dla trybu Wide (tzw. tryb szeroki do obiektów większych, ale z mniejszą dokładnością). Diody są źródłem światła laserowego długości fali 650nm (światło o kolorze pomarańczowo-czerwonym lub podczerwone). Mają one moc ok. 10mW i są wyposażone we własną optykę (soczewki). Światło lasera jest klasy 1M, co oznacza, że jest w pełni bezpieczny dla osoby obsługującej skaner, poza sytuacją patrzenia w wiązkę przez przyrządy optyczne. Lasery klasy 1M nie wymagają od obsługującej go osoby stosowania ochrony wzroku np. okularów.



Rys. 4.7. Najważniejsze elementy systemu pomiarowego „Desktop 3D Scanner” firmy NextEngine [CNS]

Skanowanie realnego obiektu odbywa się poprzez omiatanie wiązką lasera kolejnych powierzchni. Pomaga w tym obrotowe lustro, które steruje kierunkiem wiązki lasera.

Odbiornikiem światła laserowego są dwa sensory (kamery CCD) zbudowane z matrycy CMOS o wielkości 3 miliony pikseli (rysunek 4.7). Do pomiaru wykorzystywana jest metoda triangulacji laserowej. W czasie skanowania miejsce podświetlone przez wiązkę lasera rejestrowane jest przez kamerę wyposażoną w filtr przepuszczający wyłącznie światło lasera, przez co eliminuje się światło pochodzące z otoczenia. Dane o geometrii skanowanego obiektu otrzymywane są poprzez obliczanie najintensywniej oświetlonych na matrycy CCD punktów i połączeniu ich z informacją o odchyleniu lustra.

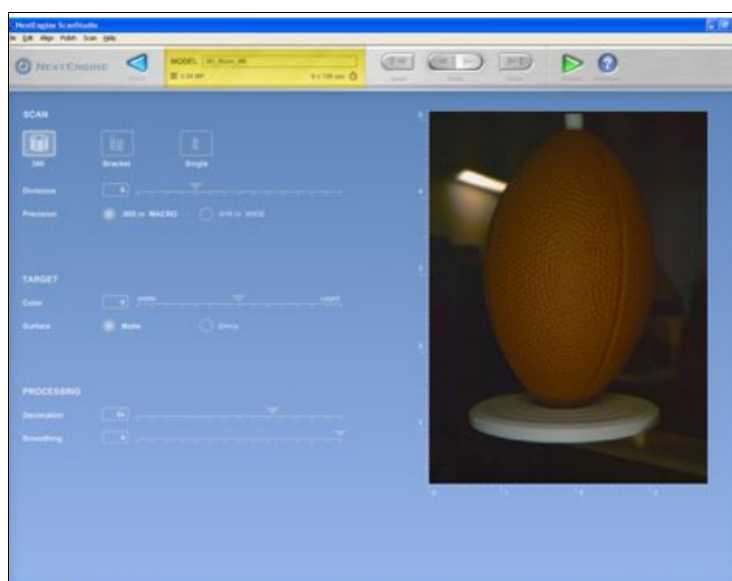
Aby umożliwić zeskanowanie obiektu z każdej strony, umieszcza się go na sterowanym numerycznie stole obrotowym. Następnie wykonuje się skanowanie płaszczyznowe (rysunek 4.4b) z n-kierunków, standardowo jest to sześć kierunków. Podczas pomiaru laserowego metoda skanowa-

ROZDZIAŁ 4

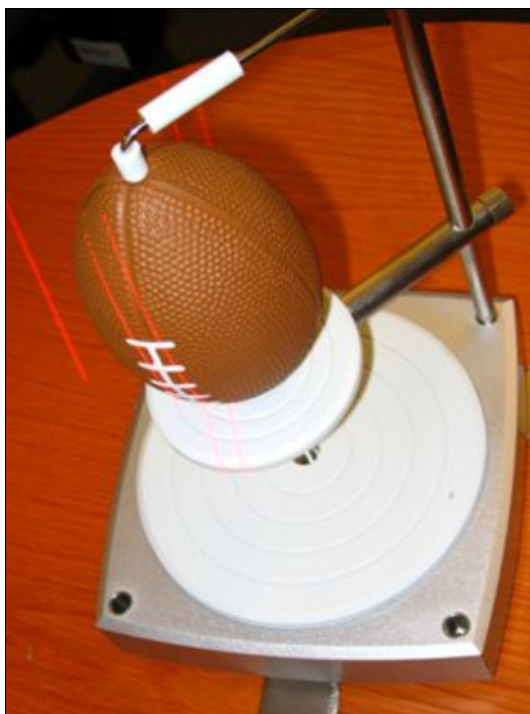
nia płaszczyznowego urządzenie wykonuje ruchy kamerą w lewo i w prawo skanując dana warstwę (poziom), a następnie skaner obniża się do następnej warstwy.

Użytkownik może ręcznie zdefiniować obszary do skanowania oraz tak zaprogramować stół obrotowy, by obracał się ze zdefiniowanym krokiem. Istnieje możliwość skanowania większych detali i łączenia zrzutów w programie ScanStudio. Dodatkowo jest możliwość pomiaru tekstury, w czym pomagają wbudowane w skaner dwie lampy dające światło białe.

Poniżej pokazano kolejne kroki pomiaru systemem „Desktop 3D Scanner” firmy NextEngine. Na rysunku 4.8 pokazano okno programu ScanStudio, na którym widać w podglądzie mierzony obiekt. Jest nim mała piłka do futbolu amerykańskiego, umieszczona na stanowisku pomiarowym tak jak na rysunku 4.9.



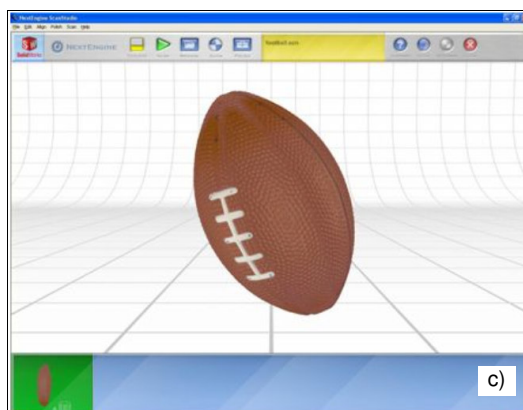
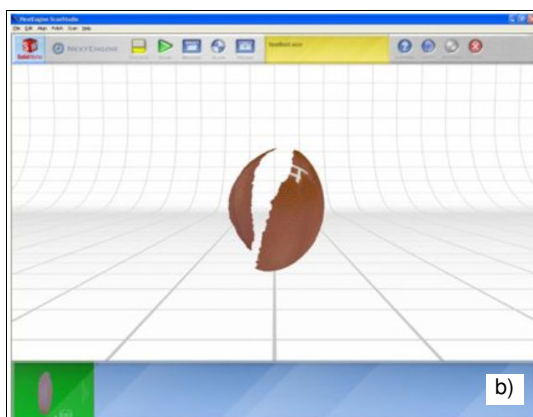
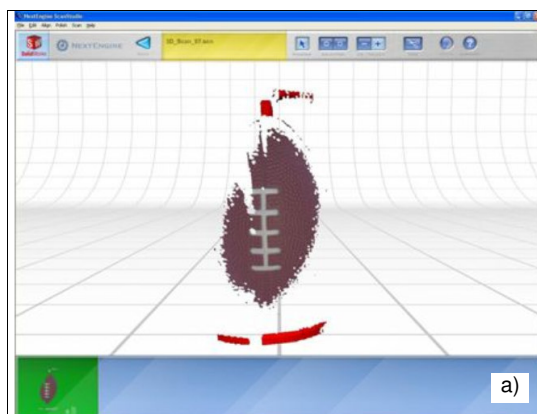
Rys. 4.8. Okno programu ScanStudio firmy NextEngine [CNS]



Rys. 4.9. Umieszczenia małej piłki futbolowej podczas pomiarów skanerem firmy NextEngine (widoczne pionowe, czerwone linie od światła lasera wykorzystywanego do skanowania) [CNS]

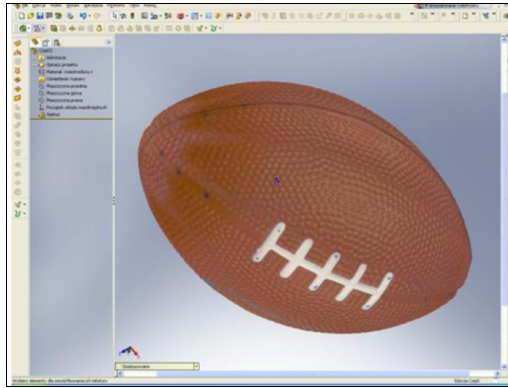
Po ustawieniu parametrów pomiaru, następuje pomiar z pierwszego kierunku (rysunek 4.10a), a następnie z kolejnych (rysunek 4.10b), aż do zeskanowania całego obiektu (rysunek 4.10c).

ROZDZIAŁ 4

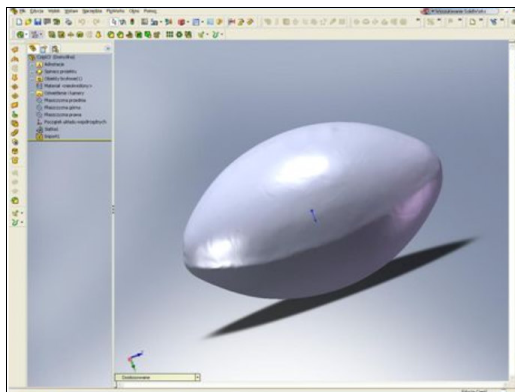


Rys. 4.10. Widok programu ScanStudio: (a) po wykonaniu pomiaru z pierwszego kierunku, (b) po pomiarze z dwóch kierunków, (c) po wykonaniu pomiarów ze wszystkich kierunków [CNS]

Wynikiem pomiarów o obróbki danych w programie ScanStudio jest siatka trójkątów. Ta siatkę można zaimportować do innych programów 3D, w celu jej obejrzenia (rysunek 4.11) lub użycia (np. w programach 3D CAM lub 3D CAE). Jeśli taką siatkę planuje się modyfikować lub na niej rozciąć powierzchnie (rysunek 4.12), to firma NextEngine sugeruje użyć do tego moduł ScanTo3D z systemu SolidWorks. oczywiście możliwe jest skorzystanie i z innych programów komputerowych m.in. Geomagic Studio.



Rys. 4.11. Widok programu SolidWorks z zacieniowaną siatką trójkątów z nałożoną na nią teksturą obiektu. [CNS]



Rys. 4.12. Widok programu SolidWorks z bryłą uzyskana poprzez rozcięcie płatów powierzchni NURBS na siatce trójkątów. [CNS]

ROZDZIAŁ 4

5

Bibliografia

W tym rozdziale:

- Literatura na temat inżynierii odwrotnej
- Strony internetowe dot. skanerów 3D
- Strony internetowe dot. oprogramowania

- [3Dscanningservices] – strona internetowa:
<http://www.3dscanningservices.net/neometrix-3d-laser-scanning-orlando.asp>
- [Asme] –
http://memagazine.asme.org/articles/2008/july/working_backward.cfm
- [Bis Jan] – prezentacja multimedialna dr inż. Jana Bisa wygłoszona na Formu Stowarzyszenia ProCAx [ProCax],
- [Cnheads] – <http://www.cnheads.co.uk/gallerys/scanner/scanner.html>
- [CNS] – materiały informacyjne i strona internetowa firmy CNS Solutions: www.cns.pl,
- [Creaform] – materiały informacyjne i strona internetowa firmy Creaform: (<http://www.creaform3d.com/>)
- [Faro] – materiały informacyjne i strona internetowa firmy Faro: (<http://www.faro.com/>)
- [Grawer24] – strona internetowa:
http://www.grawer24.eu/Category_Display.php?u_id_kat_lev1=74&u_id_kat_lev0=19
- [Hexagon] – materiały informacyjne i strona internetowa firmy Hexagon Metrology: (<http://www.hexagonmetrology.com.pl/>)
- [ITTC] – materiały informacyjne i strona internetowa firmy ITTC: (<http://www.ittc.co.in/hardware.htm>)
- [KNMIIS] – strona internetowa Studenckiego Koła Naukowego Mechaniki i Informatyki Stosowanej Politechniki Białostockiej:
(http://knmiis.pb.edu.pl/print.php?type=A&item_id=6)
- [Kon-Inż] http://www.konstrukcjeinzynierskie.pl/prototypowanie_I.htm
- [Logismarket] – strona internetowa:
<http://www.logismarket.pl/hexagon-metrology/wspolrzednoscowe-maszyny-pomiarowe/1373580948-981941889-p.html>
- [Oberon] – materiały informacyjne i strona internetowa firmy Oberon: (<http://www.oberon.com.pl/>)
- [OGX] – materiały informacyjne i strona internetowa Instytutu Mikromechaniki i Fotoniki Politechniki Warszawskiej:
(<http://ogx.mchtr.pw.edu.pl/>)

- [QUEDEX] – strona internetowa <http://www.queuedex.com/>
- [ProCAx] – strona internetowa Stowarzyszenia Upowszechniania Systemów Inżynierskich „ProCAx”: (<http://www.procax.org.pl/>)
- [Roland] – materiały informacyjne i strona internetowa firmy Roland: (<http://www.rolanddg.com/>)
- [Rom] – strona internetowa: <http://www.rom.on.ca/media/3d.php>
- [Smarttech] – materiały informacyjne i strona internetowa firmy Smarttech: (<http://www.smarttech.pl/>)
- [Thinglab] – strona internetowa:
http://www.thinglab.co.uk/scanning_product.php?URL =product_digiscan_arius3d&SubCatID =30
- [UM3D] – strona internetowa University of Michigan 3D Lab:
(<http://um3d.dc.umich.edu/hardware/laserscanner/>)
- <http://www.david-laserscanner.com/>
- <http://www.mikroskopy.pl/Skaner-3D.html>

