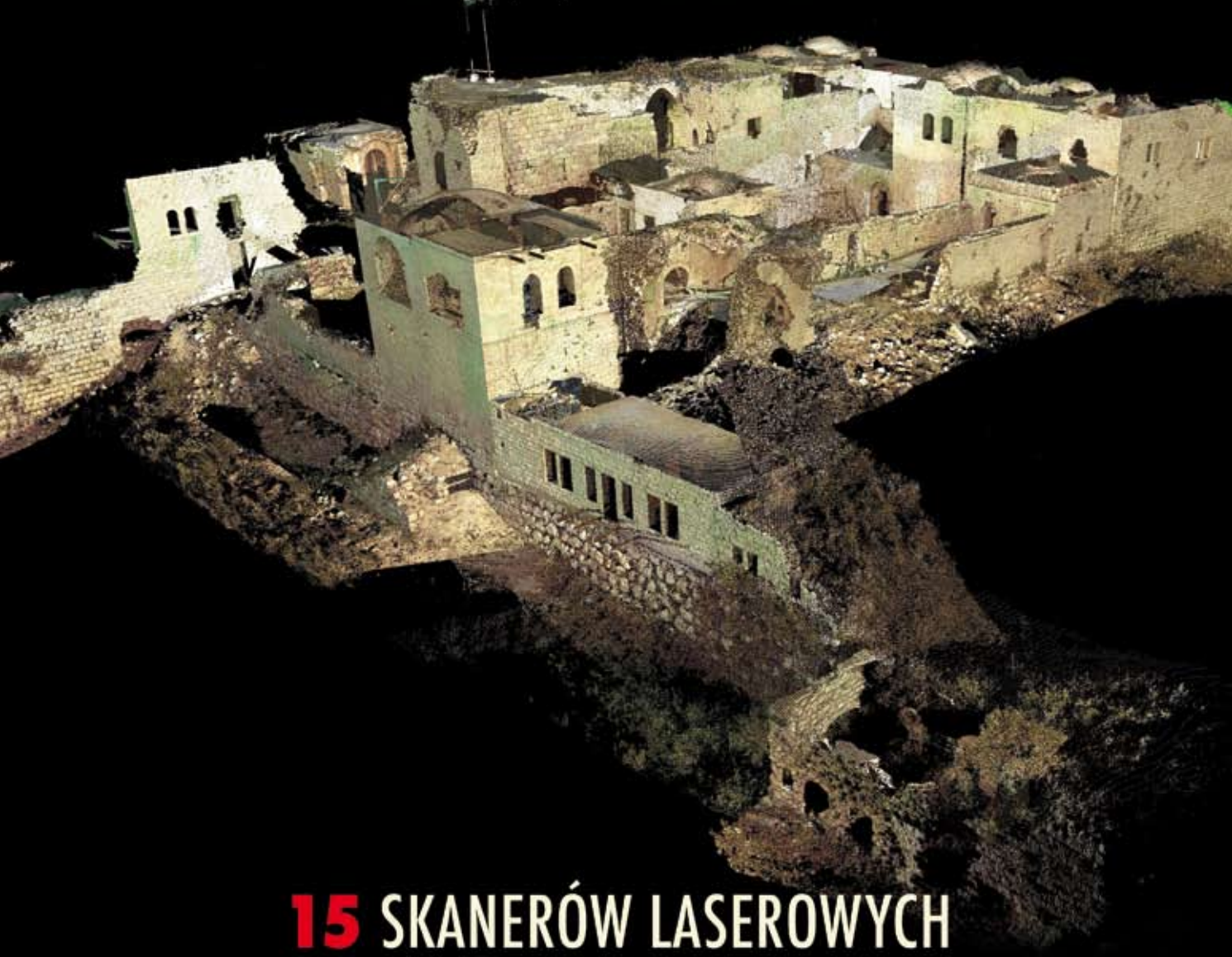
BEZPŁATNY DODATEK MIESIĘCZNIKA GEODETA

SKANERY LASEROWE

KWIECIEŃ 2008 NR 4 (155) ISSN 1234-5202 NR INDEKSU 339059



15 SKANERÓW LASEROWYCH
7 TACHIMETRÓW SKANUJĄCYCH

TOPCON
It's time.

- Nowoczesna technologia skanująca
- Tworzenie modeli 3D z chmury punktów
- Zintegrowany cyfrowy aparat fotograficzny
- Wewnętrzne baterie dla większej mobilności
- Wiązka lasera bezpieczna dla otoczenia

grafit-werbeagentur.de

TPI Sp. z o.o. · ul. Bartycka 22 · 00-716 Warszawa
tel. (0 22) 632 91 40 · faks (0 22) 862 43 09 · tpi@topcon.com.pl

GLS-1000 Skaner Laserowy

Tylko od Topcona, światowego lidera w cyfrowym obrazowaniu przestrzeni.

www.topcon.com.pl

FOT. AGATA WENCEL

SKANUJ RAZEM Z NAMI!

Pierwszy w historii GEODETY dodatek na temat skanowania laserowego zapełnił się artykułami nadspodziewanie szybko. Użytkownicy chętnie dzielą się swoimi doświadczeniami, bo technologia – choć na świecie już od kilku lat wykorzystywana produkcyjnie – w Polsce wciąż ma jeszcze posmak nowości. Ale skanerów z miesiąca na miesiąc przybywa i u nas. Pewnie firmy kupowałyby ich jeszcze więcej, gdyby nie słona cena – jakieś ćwierć miliona złotych – która zmusza do myślenia o wcześniejszym zapełnieniu portfela usług.

I z tym jest najgorzej. Władze miast bardzo powoli przekonują się do nowej technologii, choć precyzyjny model 3D z nałożonymi teksturami to nie tylko narzędzie pracy dla wielu służb miejskich, ale i wspaniała reklamówka przyciągająca turystów. Inni potencjalni użytkownicy, czasami z dziedzin tak odległych od geodezji, jak policja (skanowanie miejsca zbrodni albo wypadku na autostradzie) czy straż pożarna (skanowanie miejsca pożaru albo katastrofy budowlanej), nie mają ani pojęcia o tej technologii, ani pieniędzy, żeby z niej korzystać. O dziwo, nieźle wypadają w tej konkurencji archeolodzy, konserwatorzy zabytków i architekci. Skanowanie zabytków i wykopalisk idzie w najlepsze. Robimy to dla nich nawet za granicą.

Czas pokaże, czy przyszłością w dziedzinie tworzenia modeli 3D będą skanery czy też tachimetry z opcją skanowania wyposażone w moduł GPS. Najlepiej od razu z napędem na cztery koła.

KATARZYNA PAKUŁA-KWIECIŃSKA

Miesięcznik geoinformacyjny GEODETA. Wydawca: Geodeta Sp. z o.o.
Redakcja: 02-541 Warszawa, ul. Narbutta 40/20,
tel./faks (0 22) 849-41-63, 646-87-44
e-mail: redakcja@geoforum.pl, www.geoforum.pl
Zespół redakcyjny: Katarzyna Pakuła-Kwiecińska (redaktor naczelny), Anna Wardziak (sekretarz redakcji), Jerzy Przywara, Bożena Baranek, Marek Pudło, Paulina Jakubicka-Wilczyńska.
Opracowanie graficzne: Andrzej Rosołek.
Korekta: Katarzyna Buszkowska. Druk: Drukarnia Taurus.
Niezamówionych materiałów redakcja nie zwraca. Zastrzegamy sobie prawo do dokonywania skrótów oraz do własnych tytułów i śródtytułów. Za treść ogłoszeń redakcja nie odpowiada.

PROJEKT

Laser w arabskim Atturaif 4
Prace nad dokumentacją zabytkowego 350-letniego miasteczka Atturaif niedaleko Rijadu
Optech Lynx Mobile Mapper 10
Zintegrowany system moblinego skaningu laserowego 3D
Z laserem przez las 32

FIRMA

High-tech po niemiecku 12
W rodzinnej firmie Zoller+Fröhlich składa się miesięcznie blisko 30 sztuk nowoczesnego skanera laserowego IMAGER 5006

SPRZĘT

3 razy Trimble: VX, GX, Callidus 15
Skaner Z+F IMAGER 5006 18
Topcon GLS-1000 20
Badanie skanera Leica HDS 4500 28
Topcon GPT-9000 IS 44

TECHNOLOGIE

Skanowanie zabytków 36
Analiza wykorzystania naziemnego skaningu laserowego w inwentaryzacji architektonicznej
Laboratorium skanowania i modelowania 3D ... 51

ZESTAWIENIE

Skanuj w 3D 22
Zestawienie skanerów laserowych
Wolniejszy też daje radę 46
Zestawienie tachimetrów skanujących

NARZĘDZIA

Aplikacja Phidias 40

Na okładce zdjęcie ze zbiorów firmy Mabat 3D Technologies z Izraela

PRENUMERATA TRADYCYJNA

Cena prenumeraty miesięcznika **GEODETA** na rok 2008:
- **Roczna – 229,32 zł**
- **Roczna studencka/uczniowska – 141,24 zł**
- **Pojedynczego egzemplarza – 19,11 zł**
- **Roczna zagraniczna – 458,64 zł**

W każdym przypadku cena prenumeraty obejmuje 7% VAT i koszty wysyłki. Warunkiem realizacji zamówienia jest otrzymanie przez redakcję potwierdzenia z banku o dokonaniu wpłaty na konto: 04 1240 5989 1111 0000 4765 7759.
Realizujemy zamówienia telefoniczne i internetowe:
tel. (0 22) 646-87-44, e-mail: prenumerata@geoforum.pl

PRENUMERATA ELEKTRONICZNA

Miesięcznik **GEODETA** dostępny jest w wersji cyfrowej.
Numer z grudnia 2007 r. udostępniamy w wersji cyfrowej bezpłatnie (informacje na **www. geoforum.pl w zakładce PRENUMERATA**).
Zakupu pojedynczych egzemplarzy **GEODETY**, zamówienia prenumeraty i płatności można dokonać, wchodząc na naszą stronę **www.geoforum.pl (zakładka PRENUMERATA).**
Cena prenumeraty miesięcznika **GEODETA** w wersji cyfrowej:
- **Roczna – 172,80 zł,** w tym 22% VAT.
- **Półroczna – 86,40 zł,** w tym 22% VAT.
- **Pojedynczego egzemplarza – 15,62 zł,** w tym 22% VAT.

LASER W ARABS

Prace nad dokumentacją zabytkowego 350-letniego miasteczka Atturaif niedaleko Rijadu rozpoczęły się dokładnie w wigilię Bożego Narodzenia 2006 r. O tej porze roku w pustynnej Arabii Saudyjskiej są najlepsze warunki klimatyczne dla nieprzyzwyczajonego do upałów Europejczyka.

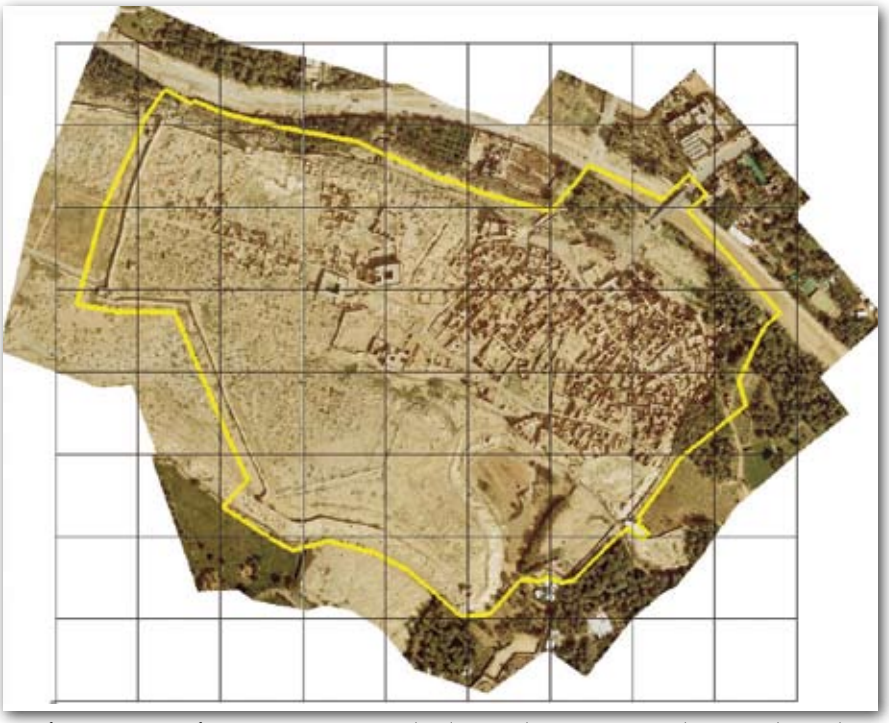
MAREK PUDŁO

Dwie krakowskie firmy geodezyjne – KPG Sp. z o.o. i Dephos Sp. z o.o. – pozyskały na początku 2006 roku zamówienie rządowej Agencji Rozwoju Miasta Rijad na przygotowanie dokumentacji geodezyjno-kartograficznej zabytkowego kompleksu pałacowego Atturaif. Miała ona obejmować nową cyfrową mapę sytuacyjno-wysokościową terenu oraz inwentaryzację obiektów metodą skaningu laserowego.

Atturaif to 350-letni zespół architektoniczny o powierzchni ok. 50 ha, zamknięty obronnym murem, na obszarze którego znajduje się 19 pałaców królewskich, meczet i budynki mieszkalne. Miejsce to jest jednym z nielicznych zachowanych zabytków w stolicy Arabii Saudyjskiej i zarazem kolebką królewskiego rodu Saudów. Ostatni mieszkańcy zabytkowych budowli opuścili je 50 lat temu, kiedy to wszystkie prywatne domy zostały wykupione przez agencję rządową. Niestety, budulec obiektu (glina, kamienie, drewno i liście palmowe) jest bardzo wrażliwy na warunki atmosferyczne i przy braku konserwacji ulega szybkiemu zniszczeniu. Pół wieku bardzo poważnie naruszyło konstrukcje budowlane Atturaif. Agencja Rozwoju Miasta postanowiła ratować pozostałości i przekształcić całość w żywe muzeum. Podjęto decyzję, że pałace królewskie i meczet będą przedmiotem kompleksowej renowacji, a dawne budynki mieszkalne zostaną zaadaptowane na sklepiki, kafejki, księgarnie itp. Trzecia, najbardziej zniszczona część miasta będzie pozostawiona dla badań archeologicznych. Całość ma stać się atrakcją turystyczną Rijadu. Arabia Saudyjska, czerpiąca do tej pory zyski głównie z ro-

Żeby zinwentaryzować cały obiekt, wykonano aż 2100 skanów

KIM ATTURAIF



Ortofotomapa Atturaif wygenerowana z 16 zdjęć lotniczych zarejestrowanych w ramach projektu

py naftowej, postanowiła rozwijać inne dziedziny gospodarki, w tym turystykę. Dokumentacja geodezyjno-kartograficzna ma posłużyć do opracowania scenariusza prac konserwatorsko-urbanistyczno-budowlanych w Atturaif.

Do Rijadu 10-osobowy zespół z Polski (5 osób z KPG i 5 z Dephosa) wyjechał dwa tygodnie przed świętami Bożego Narodzenia. Sami mężczyźni. Surowe prawo koraniczne skutecznie uniemożliwiło wyjazd paniom. Wysłanie choćby jednej kobiety wiązałoby się z poważnymi problemami organizacyjnymi na miejscu.

Choć już na starcie, z powodów proceduralnych, poślizg w realizacji zadania wynosił blisko trzy miesiące, to na domiar złego skrzynie transportowe ze sprzętem pomiarowym utknęły na dobre 2 tygodnie w urzędzie celnym w Rijadzie. 14 dni bez-

Okazuje się, że w grudniu w Arabii Saudyjskiej też może być chłodno

MÓWIĄ MARCIN PROCHASKA I ARTUR JACH

Cała procedura zdobywania zamówienia trwała dość długo. Pierwsza prezentacja możliwości technologicznych naszych firm (Dephos i KPG) miała miejsce jeszcze w kwietniu 2005 roku. Przez kolejnych 12 miesięcy odbywała się korespondencja z zamawiającym i odpowiadanie na konkretne pytania. Dokładnie rok później, w kwietniu 2006 roku, otrzymaliśmy informację o akceptacji naszej oferty. Właściwie wtedy rozpoczęły się na dobre przygotowania do wyjazdu. Oprócz samych kwestii logistycznych, trzeba było sporządzić mnóstwo dokumentów (m.in. tłumaczenia wypisów naszych firm z KRS, uprawnień zawodowych, referencji itp.). Saudyjczycy zażyczyli sobie, by cały projekt został precyzyjnie rozpisany na konkretne dni, godziny, osoby, z wyszczególnieniem używanego do pomiarów sprzętu. Zamierzaliśmy rozpocząć prace we wrześniu 2006 r. Niestety, z powodów formalnych 10-osobowy zespół wyjechał do Rijadu dopiero 2 tygodnie przed świętami Bożego Narodzenia. Paradoksalnie najtrudniejszym zadaniem całego projektu nie była jego techniczna realizacja, ale logistyka. Podejmując się tego dużego projektu, mieliśmy świadomość, że praktycznie nikt w Polsce nie jest w stanie podzielić się z nami doświadczeniami w zakresie transportu, organizacji prac czy doświadczeń kulturowych. Rozpatrzeć trzeba było wszystkie aspekty zadania – od trasy transportu lotniczego po decyzję o zakupie odpowiednich samochodów. Niektóre decyzje były strzałem w dziesiątkę, inne okazały się niewypałami. Jednak te ostatnie nie wpłynęły na przebieg pomiarów. Cieszymy się przede wszystkim nie z tego, że udało nam się szczęśliwie zakończyć prace w Rijadzie, ale raczej z faktu, że przetarliśmy ścieżki do działania na szerszą skalę. Arabia Saudyjska to bardzo szybko rozwijające się państwo, mądrze zarządzane i bogate. A to czyni z niego ogromny rynek dla naszych usług, nie tylko skaningu laserowego, ale innych zadań z zakresu fotogrametrii i opracowań obrazowych.
prezes firmy Dephos

MARCIN PROCHASKA,
prezes firmy Dephos Sp. z o.o. z Krakowa
ARTUR JACH,
dyrektor ds. fotogrametrii i informacji przestrzennej
w KPG Sp. z o.o. z Krakowa

Pomiary zabytkowego kompleksu wykonywano modelem skanera Z+F – IMAGEREM 5003

produktywnego oczekiwania na przesyłkę i rozłąka z rodziną nie wpływały mobilizująco na morale zespołu. Pierwsze czynności pomiarowe przeprowadzono natychmiast po odzyskaniu sprzętu, jeszcze w wigilię, tuż przed połamaniem się opłatkiem.

Geodeci podzielili się na cztery 2-osobowe zespoły. Dwa z nich miały za zadanie założenie i pomiar głównej osnowy sytuacyjno-wysokościowej, a kolejne dwa – wykonywanie skanowania. Dodatkowo jedna osoba była odpowiedzialna za logistykę i planowanie prac oraz jedna za robienie szczegółowych zdjęć obiektu (kilka tysięcy). Na wstępnym etapie prac zastabilizowano i wyznaczono współrzędne 21 punktów osnowy. Pierwszy raz wykorzystano je jako fotopunkty, bowiem jednym z zadań projektu było zlecenie nalotu fotogrametrycznego, w wyniku którego zarejestrowano 16 zdjęć lotniczych z pikselem 2 cm. Na ich podstawie przygotowana została mapa sytuacyjno-wysokościowa terenu, ortofotomapa z pikselem 2 cm oraz model powierzchni terenu. Był to pierwszy widoczny efekt prac na obiekcie Atturaif przedstawiony i zaakceptowany przez zleceniodawcę.

W tym czasie trwały już najważniejsze i najbardziej pracochłonne czynności skanowania laserowego. Jeden z zespołów skanujących był odpowiedzialny za rozklejanie na obiektach specjalnych papierowych znaczków pomiarowych (szachownica), które stanowiły punkty łączące pojedyncze skany z różnych stanowisk. Równolegle druga dwójka przeprowadzała skanowanie. Geodeci zakładający wcześniej osnowę dostali nowe zadanie – wszystkim papierowym znaczkom należało wyznaczyć współrzędne bezlustrowym tachimetrem (użyto do tego instrumentów Topcon i Trimble), tak by ostateczna chmura punktów była poprawnie zorientowana w przestrzennym układzie współrzędnych. Kompleksowemu skanowaniu (z zewnątrz i wewnątrz) podlegały pałace królewskie i meczet. W zwykłych budynkach pomierzono jedynie fasady. Wszystkie obiekty zostały ponumerowane i nadano im jednakową nomenklaturę opisową, tak by zachować spójność i czytelność dokumentacji.

O ogromie całego przedsięwzięcia świadczą same liczby. Skanowanie obiektu Atturaif przeprowadzono jednym skanerem laserowym Z+F IMAGER 5003 i trwało to blisko cztery miesiące. Zespo-

Współrzędne 13 000 punktów łącznych do skanowania pomierzono tachimetrami elektronicznymi

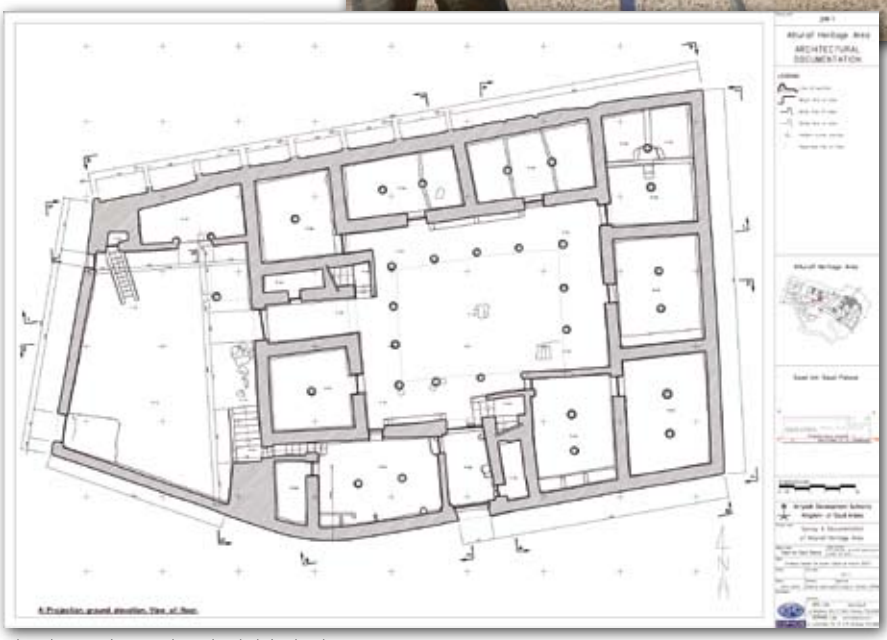
Przykładowe chmury punktów obiektu Atturaif. Na zdjęciu u dołu oprócz pomierzonych punktów umieszczono numery znaczków pomiarowych do łączenia skanów

ły pracowały po 10-12 godzin dziennie, przez 6 dni w tygodniu. Zarejestrowały one około 2100 skanów, a każdy to chmura z kilkoma milionami punktów. Wyznaczono tachimetrycznie (bezlustrowo) współrzędne około 13 000 znaczków pomiarowych. Nikt z wykonawców nie podjął się określenia liczby wszystkich punktów zebranych skanerem, ale pliki z projektu miały łącznie kilka terabajtów objętości!

W zorganizowanym na miejscu biurze praktycznie na bieżąco prowadzono kontrolę i wstępną obróbkę pozyskanych danych. Wszystkie chmury punktów zostały połączone w jeden obiekt i zorientowane przestrzennie. Procedury kontroli jakości wykazały, że trzeba wykonać 30 skanów uzupełniających. 30 stanowisk z ponad 2000 to raptem 1,5% błędu! Całkiem nieźle?

4 miesiące prac terenowych to nie koniec projektu. Już w Polsce przez kolejnych 120 dni 15-20 osób przetwarzało dane w oprogramowaniu fotogrametrycznym Dephos (z modułem obsługi chmury punktów). Przygotowane zostały przykładowe przekroje i plany zinwentaryzowanych obiektów. Wszystko pod bacznym nadzorem doświadczonego architekta. Prace kameralne kontrolowały na bieżąco 2 osoby.

Pomiar jednego z 21 punktów osnowy

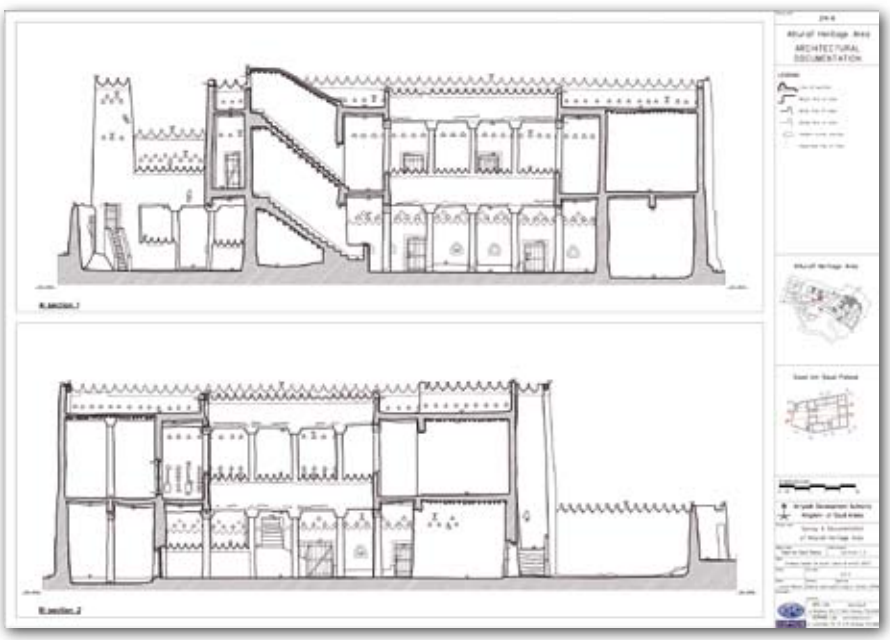


Plan (u góry) i przekrój (u dołu) obiektu 214 – królewskiego pałacu Saad bin Saud – narysowany na podstawie chmury punktów

Ważne jest to, że byli to członkowie zespołu pomiarowego. Oprócz sprawdzenia geometrycznych aspektów rysunku, bardzo istotna była poprawna interpretacja chmury punktów.

Projekt zakończono w sierpniu 2007 r., a Agencji Rozwoju Miasta Rijad został on przekazany w postaci cyfrowej. Załączono do niego aplikację Dephos i przeszkolono w jej obsłudze personel techniczny urzędu. Zbiór chmury punktów jest z powodzeniem wykorzystywany przez Agencję i, na szczęście, efekt blisko 12-miesięcznej pracy nie trafił na zakurzone piaskiem pustyni saudyjskie półki.

MAREK PUDŁO,
Zdjęcia MAREK ŚWIĘCH



- **Precyzyjne wymiarowanie**
- **Pełna wizualizacja 3D**
- **Redukcja kosztów projektów**
- **Pełne modelowanie 3D CAD**

Do realizacji każdego projektu zawsze należy wybrać odpowiednie narzędzie. System Leica High-Definition Surveying (HDS) zapewnia realizację pomiarów inwentaryzacyjnych, topografii i szczegółów terenu oraz obiektów inżynierskich. W celu uzyskania szczegółowych informacji prosimy o kontakt z naszymi konsultantami.

Leica Geosystems Sp. z o.o.
ul. Ostrobramska 101A
04-041 Warszawa
tel. +48 22 338 15 00
fax +48 22 338 15 22
www.leica-geosystems.pl

- when it has to be **right**

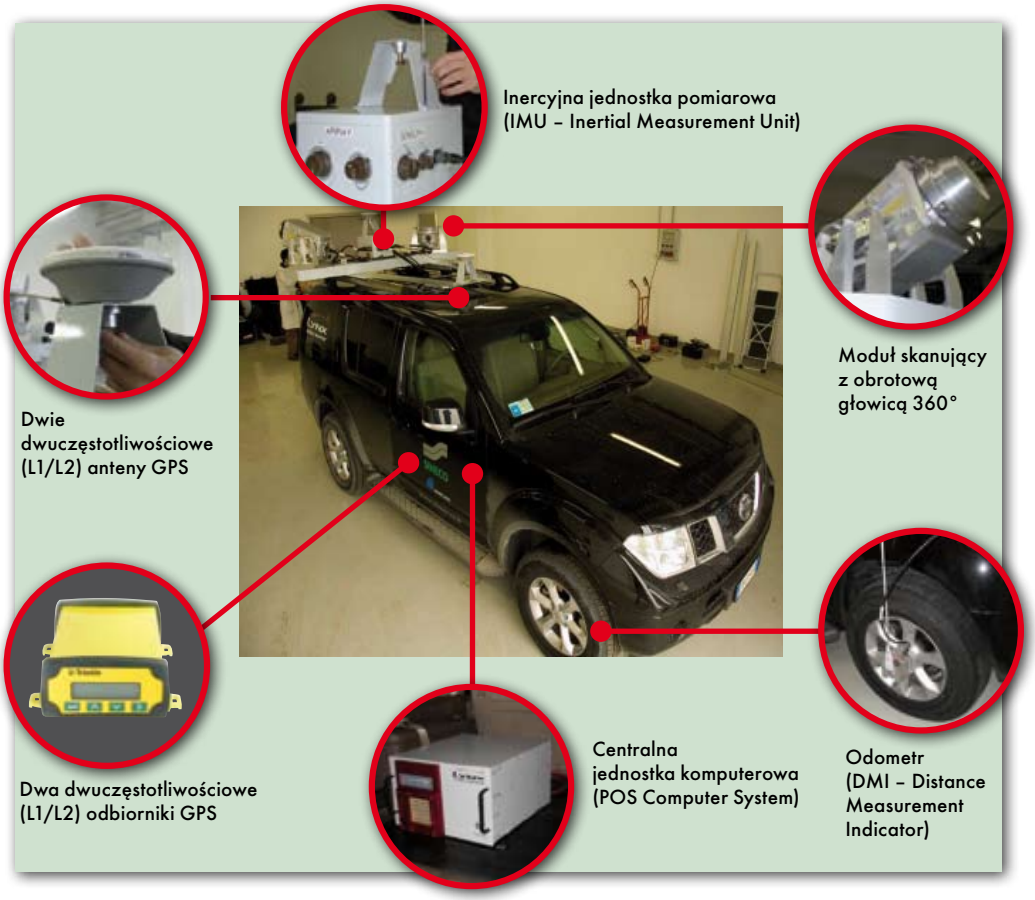
Leica Geosystems

OPTECH LYNX MOBILE MAPPER

Wynikiem ponaddwuletnich prac badawczych kanadyjskiej firmy Optech i włoskiej Sineco jest zintegrowany system mobilnego skaningu laserowego 3D – Lynx Mobile Mapper. Jak wskazują pierwsze eksperymentalne pomiary, technologia pod względem szybkości i efektywności zbierania danych bije na głowę stacjonarne systemy skanujące.

Głównym zadaniem Lynx Mobile Mapper jest wykonywanie pomiarów skanerem laserowym, zamontowanym na ruchomej platformie. Działa on w trybie profilowania, tzn. jego praca odbywa się tylko w jednej płaszczyźnie. Sprzęt może być zainstalowany zarówno na samochodzie, jak i łodzi, dźwigu czy drezynie poruszającej się po torach kolejowych. Nie ma w tym niby nic odkrywczego, ale pomysłodawcy postanowili, że dane ze skanera w postaci chmury punktów zostaną poddane obróbce wraz z informacjami z dwóch dodatkowych sensorów wyznaczających pozycję: inercjalnego i satelitarnego GPS. Wynikiem tego typu pomiarów jest chmura punktów, których współrzędne są korygowane ze względu na zakłócenia ruchu pojazdu i zorientowane przestrzennie w globalnym układzie współrzędnych WGS-84. Lynx tworzą więc: skaner laserowy, inercyjny system wyznaczania pozycji Applanix POS LV oraz zestaw odbiorników GPS.

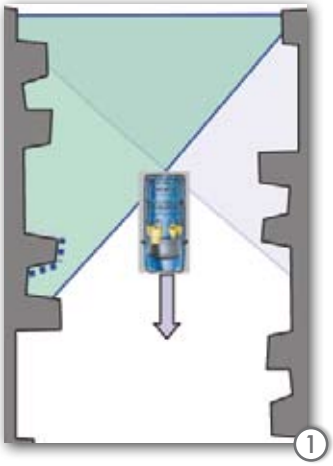
Podstawowym elementem systemu Lynx jest stworzony przez kanadyjskiego Optecha specjalnie do tego celu skaner laserowy z obrotową głowicą 360°, pracujący tylko w jednej płaszczyźnie. Posiada on zasięg ok. 100 m, a prędkość skanowania wynosi 100 000 pkt/s. Głowica obraca się z prędkością 9000 obr./min i – co bardzo interesujące – działa nawet w temperaturze -20°C, co przy innych skanerach jest praktycznie niemożliwe. Na pojeździe zamontowany jest minimum jeden skaner, a najbardziej efektywne jest użycie dwóch sensorów. Inżynierowie z firm Optech i Sineco zaproponowali, żeby ustawić je pod kątem 30-40° do toru jazdy, a nie prostopadle, jak to ma miejsce w większości podobnych systemów. Okazuje się bowiem, że taki układ daje najlepsze efekty podczas skanowania (np. miast z dużą ilością zabudowy) i zapewnia najmniejszą liczbę tzw. mar-



twych pól (miejsc nieobjętych skanowaniem, rys. 1). Lynx Mobile Mapper jest tak zaprojektowany, że może współpracować z maksymalnie czterema skanerami na raz. Jest przystosowany także do podłączenia dwóch skalibrowanych kamer wideo, z których obraz służy do nakładania rzeczywistych kolorów na chmury punktów.

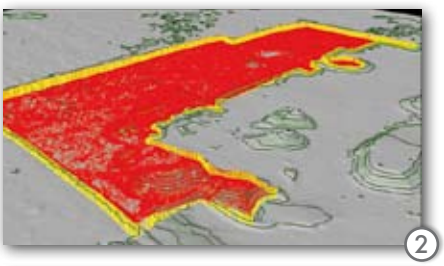
Elementem segmentu inercyjnego Applanix jest jednostka pomiarowa z trzema akcelerometrami i trzema żyroskopami. Uzupełnia ją zainstalowany na kołach pojazdu odometr, który dostarcza precyzyjnych danych o przebytej drodze. Ta część systemu odpowiada za określanie wszystkich parametrów ruchu pojazdu (pozycji względnej, prędkości liniowej, przyspieszenia, orientacji i zakłóceń kątowych ruchu pojazdu).

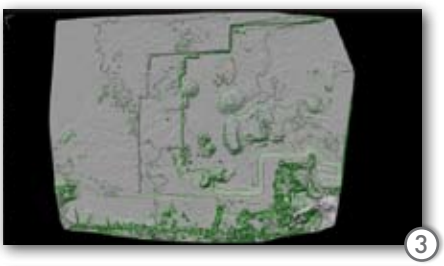
Zestaw uzupełniają dwa dwuczęstotliwościowe (L1/L2) odbiorniki satelitarne GPS. Jeden z nich (zwany stacjonarnym) pracuje jako instrument podstawowy i dostarcza danych o pozycji samochodu. Drugi (określany mianem ruchomego) pełni funkcję elektronicznego kompasu. Pomiary z obu anten nie są wykorzystywane w trybie czasu rzeczywistego, tylko poddawane postprocessingowi razem z danymi ze stacji bazowej (lub permanentnie działającej stacji referencyjnej). Podzespoły systemu inercyjnego i satelitarnego są spięte w centralnym komputerze, który odpowiada za przetwarzanie i gromadzenie danych pozycyjnych.

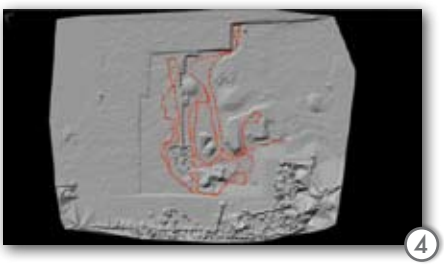

1

Podczas przejazdu pomiarowego wszystkie urządzenia zbierają dane niezależnie. Końcowy wynik jest efektem całościowego opracowania obserwacji. W procesie obróbki danych brane są pod uwagę tylko dwa pliki: SBET (Smoothed Best Estimated Trajectory) z systemu Applanix, który zawiera informacje o parametrach ruchu jednostki pomiarowej podczas skanowania, oraz ROW z Optecha z danymi ze skanowania (odległość, kąt, rozdzielczość i czas).

Pojazd z systemem Lynx może poruszać się z maksymalną prędkością 100 km/h i wtedy producent gwarantuje dokładność modelu 3D (o rozdzielczości 1 cm) na poziomie 5 cm.


2


3


4

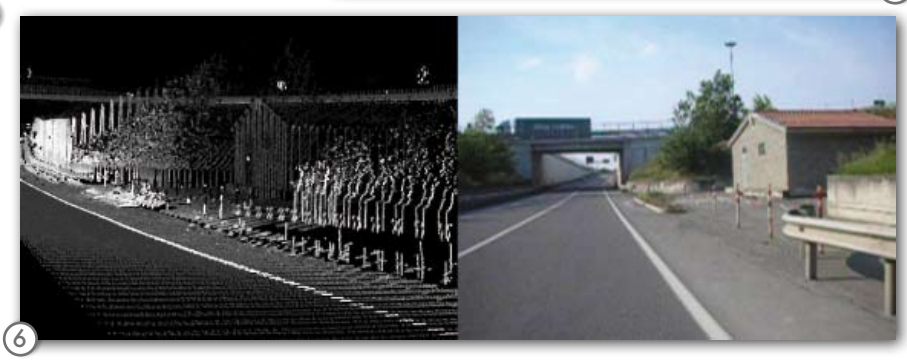
Wstępne eksperymenty z zastosowaniem systemu Lynx wykonano jeszcze z topograficznym skanerem Optech ILRIS-3D. Na pierwszy ogień poszła kopalnia odkrywkowa. Zadaniem był pomiar całego obiektu (wraz z hałdami) i wtórne obliczenie objętości wydobywanego kruszcu na podstawie chmury punktów. Z powodu ciężkich warunków drogowych samochód poruszał się z prędkością 5 km/h. Pomierzono obiekt o wymiarach 500 x 600 m w 30 minut i zebrano około 19 mln punktów z rozdzielczością 10 cm. Dokładności składowe poszczególnych instrumentów (ILRIS-3D – 7 mm, POS – 30 mm, GPS – 10 mm) dały wynikową precyzję wytworzonego modelu na poziomie 40 mm. Obliczenia objętości, wygenerowanie przekrojów i powierzchni oraz stworzenie siatki (rys. 2, 3, 4) przeprowadzono w komercyjnym oprogramowaniu PolyWorks.

W tej samej aplikacji opracowane zostały pomiary przeprowadzone podczas przejazdu po publicznej drodze asfaltowej. Pomierzono wszystkie obiekty otaczające odcinek trasy (budynki, chodniki, mosty, znaki drogowe itp., rys. 5, 6). Odcinek o długości 8 km pokonano w 30 minut ze średnią prędkością 15-20 km/h. Zebrano ok. 9 mln punktów, a ich gęstość wyniosła ok. 60 na m^2. W tym przypadku osiągnięto trochę gorszą dokładność modelu, spowodowaną głównie przerwami w odbiorze sygnału GPS.

Dystrybutorem firmy Optech na polskim rynku jest firma Czerski Trade Polska Ltd.

Opracowanie redakcji na podstawie artykułu opublikowanego w „GIM International" nr 1/2008, którego autorami są:
DARIO CONFORTI odpowiedzialny w firmie Optech za wsparcie techniczne klientów z zakresu skanerów laserowych na obszarze Europy, Afryki, Azji i Bliskiego Wschodu;
FEDERICA ZAMPA zajmująca we włoskiej firmie Sineco S.p.A stanowisko menedżera projektu w dziale badań i rozwoju nowych technologii pomiarowych

5


6

HIGH-TECH PO NIEMIECKU

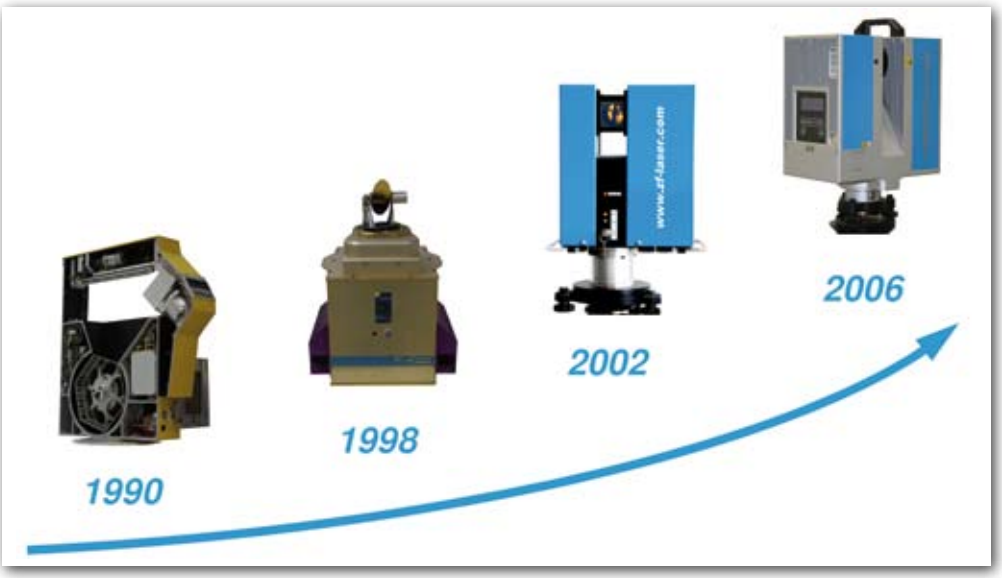
Niedaleko Jeziora Bodeńskiego w przepięknym XV-wiecznym miasteczku Wangen im Allgäu w południowych Niemczech, w rodzinnej firmie Zoller+Fröhlich składa się miesięcznie blisko 30 sztuk nowoczesnego skanera laserowego IMAGER 5006.

Choć doświadczenie w produkcji skanerów laserowych w Z+F jest dość długie (pierwszy powstał bowiem już w 1990 r.), to jednak historia fabryki sięga znacznie wcześniej. W 1963 roku panowie Hans Zoller i Hans Fröhlich rozpoczęli produkcję specjalnych okuć (nasadek) na kable elektryczne. W kolejnych latach wachlarz produktów poszerzał się o różnorodne maszyny automatyzujące obróbkę nasadek z kablami, a następnie o systemy kontroli linii produkcyjnych w branży motoryzacyjnej, stoczniowej i przemysłowej. Dotychczasowa działalność zaowocowała opatentowaniem kilkudziesięciu rozwiązań produkcyjnych, uznaną marką i pozycją na rynku. Produkcja dla różnych gałęzi przemysłu jest obecnie głównym filarem działalności Z+F.

Na początku lat 90. syn Hansa Fröhlicha Christoph (fot. na s. obok), w ramach pracy doktorskiej na Uniwersytecie w Monachium, stworzył pierwowzór dzisiejszych skanerów – kamerę laserową LSR, która charakteryzowała się polem widzenia 60° x 40° i rejestrowała obraz o wymiarach 180 x 320 pikseli. Wydarzenie to dało początek nowemu działowi w firmie Z+F i oznaczało start prawdziwej produkcji tego typu urządzeń. Prace badawcze nad kolejnym modelem trwały dość długo. Dopiero w 1998 opracowano skaner laserowy Scene Modeller. Był to pierwszy instrument 3D o polu widzenia 60° x 360°, w którym zastosowano wirujące lustro do propagowania wiązki laserowej. Pomysł był na tyle innowacyjny, że został uhonorowany przez władze landu Badenia-Wirtembergia nagrodą dr. Rudolfa Eberle. Instrument sprzedał się w „zawrotnej" liczbie 12 egzemplarzy i był podwaliną konstrukcyjną obecnych narzędzi. Już 4 lata później na rynek trafił pierwszy profesjonalny i technologicznie unowocześniony model – IMAGER 5003 – skaner laserowy 3D, który potrafił mierzyć 500 000 pkt/sekundę. Inżynierowie Z+F otwarci na sugestie i uwagi użytkowników przez kolejne 3 lata rozwijali urządzenia, a wynikiem jest najnowszy instrument IMAGER 5006, który po premierze na targach INTERGEO w Monachium w 2006 r. okazał się ogromnym sukcesem handlowym (opis na s. 18).

ZOLLER+FRÖHLICH GmbH

Grupa Z+F to oprócz samej centrali w Wangen dwa oddziały: w Wielkiej Brytanii (Z+F UK Ltd., Manchester) i w USA (Z+F USA Inc., Bridgeville, Pensylwania). W centrali i w dwóch oddziałach pracuje łącznie blisko 200 osób. Skanerami laserowymi i oprogramowaniem do nich zajmuje się w sumie ok. 40 osób (produkcja, sprzedaż, wsparcie techniczne, serwis itp.). Działalność na innych rynkach odbywa się za pośrednictwem partnerów handlowych. Dyrektorem firmy Z+F jest dr Christoph Fröhlich. Generalnym przedstawicielem na Polskę jest Jacek Krawiec.



IMAGER 5006 powstaje w centralnej fabryce Zoller+Fröhlich w Wangen im Allgäu w południowych Niemczech. Produkcja instrumentów sprowadza

się właściwie do końcowego montażu poszczególnych podzespołów skanera, które są częściowo wytwarzane na miejscu, a częściowo nabywane u podwykonawców (np. układy scalone), oraz kontroli jakości. Proces produkcji podzielony jest na trzy zasadnicze etapy. W dziale mechanicznym kilka osób (przeważnie 4) składa podzespoły odpowiedzialne za motorykę skanera (np. serwomotory). Równolegle w dziale elektronicznym kolejnych kilka osób (najczęściej 4) kompletuje elementy cyfrowe (np. różnego rodzaju przetworniki, układy scalone, moduły pomiaru odległości). W obu miejscach każdy z elementów przed montażem przechodzi kontrolę jakości i poprawności działania.

Kiedy już wszystkie elementy mechaniczne i elektroniczne znajdą się pod obudową urządzenia, trafia ono do zespołu kalibracyjnego (2-4 osoby). Jest on odpowiedzialny za doprowadzenie metrologiczne skanera do używalności w terenie (regulowany jest tutaj zarówno system pomiaru kątów, jak i odległości). W wyniku tej procedury do każdego egzemplarza wydawany jest certyfikat kalibracyjny. Obaj specjaliści, oprócz zadań produkcyjnych, zajmują się także serwisowaniem instrumentów użytkowników. Ponowną adjustację sprzętu producent zaleca co pół roku albo co 130 dni roboczych (czyli takich, w których wykonano co najmniej trzy skany). Cała procedura trwa 3-4 dni, a kontroli podlegają wszystkie kluczowe mechanizmy pomiarowe. Podczas takich przeglądów upgrade'owane jest także oprogramowanie wewnętrzne skanera (firmware), a także ewentualnie podzespoły, które zostały w dalszym etapie produkcji wymienione przez fabrykę z powodu wad wrodzonych. Na koniec instrument przechodzi 20-godzinny test pomiarowy, podczas którego w warunkach laboratoryjnych sprawdzana jest (w różnych temperaturach) poprawność wyznaczania kątów i odległości. Cały proces kończy się wydaniem certyfikatu potwierdzającego sprawność skanera.

Moce przerobowe firmy wystarczają na złożenie ok. 30 skanerów miesięcznie. W porównaniu z ubiegłym rokiem zwiększono produkcję z 200 do 300 sztuk. To i tak za mało. Średni czas oczekiwania na urządzenie to około 6 tygodni. Zainteresowanie modelem 5006 jest tak duże, że czasu tego nie da się, niestety, skrócić. Do połowy roku ma powstać nowa hala produkcyjna, do której zostanie przeniesiona cała załoga zajmująca się skanerami. I o ile nie będzie problemu z warunkami lokalowymi, to nie zniknie kłopot ze znalezieniem nowych osób do pracy. Dr Christoph Fröhlich mówi, że obecnie zatrudnienie inżyniera na południu Niemiec, szczególnie w małym 20-tysięcznym Wangen, graniczy z cudem.

TECHNOLOGIE SKANEROWE Z+F

- **1990 r. – LSR Kamera** – kamera laserowa, wyprodukowana w 1 egzemplarzu
- **1998 r. – Scene Modeller** – skaner laserowy 3D, wyprodukowany w 12 egzemplarzach
- **2002 r. – IMAGER 5003** – skaner laserowy 3D, wyprodukowany w 180 egzemplarzach
- **2006 r. – IMAGER 5006** – skaner laserowy 3D, wyprodukowany w 270 egzemplarzach

Integralną częścią załogi fabryki skanerów Zoller+Fröhlich jest zespół programistów, który tworzy i unowocześnia stronę informatyczną skanowania laserowego. W całym procesie gromadzenia danych software jest nie mniej ważny niż sprzęt. Podstawowe narzędzie do obróbki skanów – Z+F LaserControl – jest tworzone w Wangen. W gestii informatyków z Wielkiej Brytanii leży rozwój pakietu LFM Modeller.

Z+F LaserControl to bardzo prosta w obsłudze aplikacja służąca zarówno do sterowania pracą IMAGERA 5006 i natychmiastowej wizualizacji pomierzonej chmury punktów, jak również biurowej obróbki danych, tzn. łączenia skanów w jedną chmurę punktów, nadawanie punktom kolorów pobranych ze

zdjęcia cyfrowego, generowania rzutu ortogonalnego na dowolnie zdefiniowaną płaszczyznę czy wykonywania podstawowych pomiarów wektorowych (odległość, powierzchnia).

Oprogramowanie to może być uzupełnione o Z+F ProjectView – system do zarządzania dużymi projektami oparty na technologii sieciowej i przeglądarce internetowej.

Wyższym stopniem wtajemniczenia software'owego jest pakiet z rodziny Light Form Modeller (LFM), który przeznaczony jest do obróbki bardzo dużych zbiorów danych. LFM Modeller to pakiet narzędzi zarówno do przeglądania, jak i łączenia skanów, ale głównie do modelowania 3D obiektów. Zdefiniowane biblioteki elementów konstrukcyjnych (np. rur o różnych średnicach) ułatwiają szybkie sprawdzenie poprawności projektu względem rzeczywistej sytuacji i automatyczne wykrycie ewentualnych kolizji. Żeby modelowanie 3D i praca z chmurą były możliwe w najpopularniejszym oprogramowaniu CAD (np. AutoCAD, MicroStation, PDMS, Smart Plant), potrzebna jest „wtyczka" LFM Server. Wspomniane aplikacje posiadają bowiem ograniczenie w liczbie obsługiwanych punktów. Na koniec warto wspomnieć jeszcze o bardzo specyficznym narzędziu oferowanym ze skanerami Z+F – oprogramowaniu Visual Sensor Fusion (VSF), które przeznaczone jest do opracowania chmur punktów w rekonstrukcji zdarzeń kryminalnych, a w szczególności przy odtwarzaniu rzeczywistego wzrostu osób niebędących w pozycji wyprostowanej.

Przez 20 lat działalności „skanerowej" firma Zoller+Fröhlich sprzedała już blisko 450 egzemplarzy skanerów laserowych. Tymczasem w samym 2008 roku ma powstać ok. 300 sztuk IMAGERA 5006! Jak zapewnia dyrektor firmy Christoph Fröhlich, duża część zarobionych pieniędzy idzie na prace badawcze i rozwojowe. Jednym z ich wyników ma być wprowadzenie do końca tego roku specjalnej wersji 5006 oznaczonej literami EX, przystosowanej do pracy w środowisku zagrożonym eksplozjami (np. w kopalniach węgla), gdzie standardowo nie mogą pracować żadne urządzenia mogące być źródłem iskry.

Na zakończenie ciekawostka. O jakości i zaawansowaniu technologicznym IMAGERA 5006 niech świadczy fakt, że sprzedawany jest on jako OEM dla dwóch szwajcarskich firm: Amberg, która oferuje zaawansowane systemy skanujące dla kolei szynowych, oraz dla potęgi na rynku sprzętu pomiarowego – Leiki. Model HDS6000 to nic innego, jak IMAGER 5006 w szaro-czerwonej obudowie (fot. powyżej). Wszystkie trzy są składane w tej samej fabryce w Wangen. Wyśmienita reklama dla niebieskich instrumentów spod znaku Z+F.

Tekst i zdjęcia MAREK PUDŁO

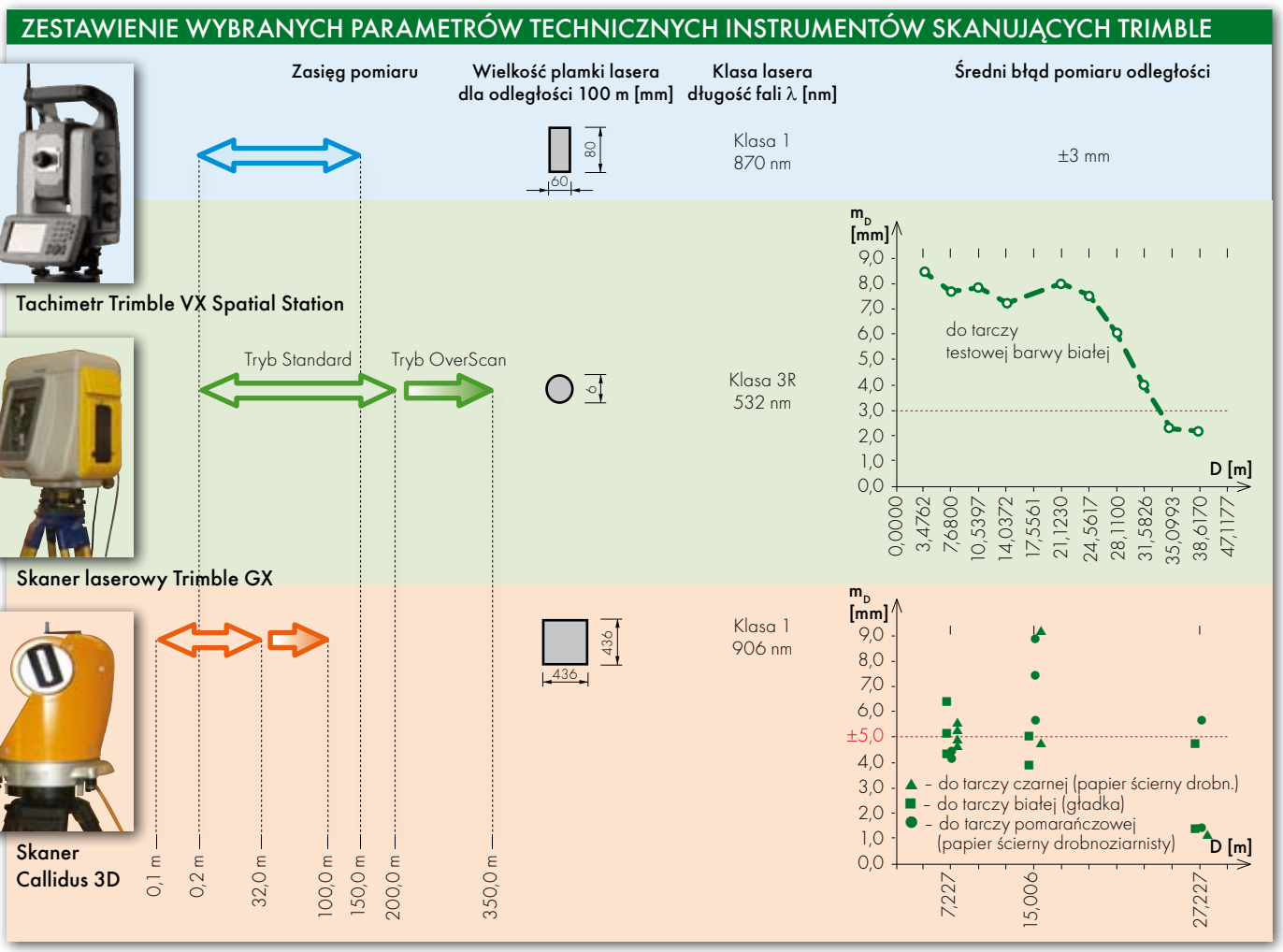
3 RAZY TRIMBLE

Okresowe pomiary w ramach monitoringu geodezyjnego prowadzonego instrumentami skanującymi, tj. tachimetrami i skanerami laserowymi, pozwalają uzyskiwać modele punktowe (o charakterze quasi-ciągłym) łatwe do obróbki i analizy. Na szczególną uwagę zasługują trzy instrumenty Trimble: tachimetr skanujący VX oraz skanery panoramiczne GX i Callidus.

RAFAŁ GAWAŁKIEWICZ

Potrzeba częstej inwentaryzacji obiektów przemysłowych nabiera szczególnego znaczenia na terenach górniczych, gdzie deformacje podłoża wywołane eksploatacją podziemną powodują szkody górnicze w postaci spękań, uszkodzeń i wychyleń elementów konstrukcyjnych, a w skrajnych przypadkach – częściową lub całkowitą ich destrukcję. Bardzo często charakter tych zmian, ich wielkość oraz częstotliwość, a także złożoność geometryczna i geomorfologiczna obserwowanych obiektów wymuszają stosowanie technik pomiarowych o wysokiej dokładności. Z uwagi na niewielką liczbę mierzonych punktów (najczęściej sygnalizowanych na powierzchni) klasyczne sposoby pomiaru umożliwiały tylko przybliżoną interpretację zmian. Dotyczy to zarówno inwentaryzowanych powierzchni terenu (tworzenie numerycznego modelu terenu) lub modeli obiektów o nieregularnej geometrii (np. hałd, składowisk, zwałowisk), jak i wielkokubaturowych obiektów inżynierskich (chłodni kominowych, kominów, zbiorników cieczy i gazów, wyrobisk górniczych kopalń podziemnych i odkrywkowych).

Alternatywna metoda fotogrametryczna, mimo walorów wynikających z charakteru rejestracji danych w formie zdjęć (możliwość „obrysowania" dowolnych szczegółów ze stereogramów), napotyka jednak znaczące ograniczenia np. w szczególnych warunkach atmosferycznych (zamglenie na powierzchni



Przykłady wykorzystania w Polsce instrumentów laserowych Trimble

Pomiary deformacji chłodni hiperboidalnej w EC Kraków

Pomiary wychylenia komina w KS Bochnia

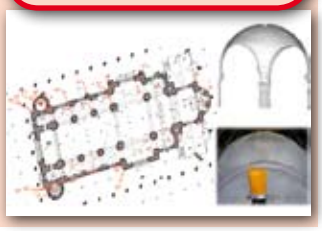
Pomiar geometrii zabytkowego Kopca Krakusa

Rektyfikacja w terenie górniczym 11-kondygn. bloku

Inwentaryzacja latarni Stilo

Inwentaryzacja Smoczej Jamy na Wawelu

Inwentaryzacja kościoła ZNMP w Inowrocławiu



POMIAR – SKANOWANIE OBIEKTU I POZYSKANIE „CHMURY PUNKTÓW"

Wczytywanie danych do programów: 3D – Extractor, 3D ReaL Works Survey

↓

Obróbka danych pomiarowych
- matematyczne (półautomatyczne) wpasowanie płaszczyzn. stożków, walców we wskazane fragmenty „chmury punktów"
- „powlekanie chmury punktów" siatkami 3D
- „filtracja" zbioru danych

↓

Tworzenie numerycznego modelu 3D obiektu

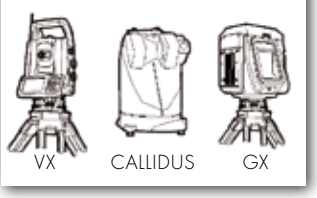
↓

Eksport danych w formacie DXF do programu środowiska CAD

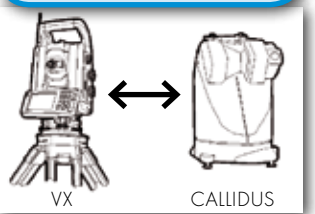
↓

Analizy i obróbka danych skaningowych oraz wizualizacja wyników

GEODEZJA INŻYNIERYJNO-PRZEMYSŁOWA

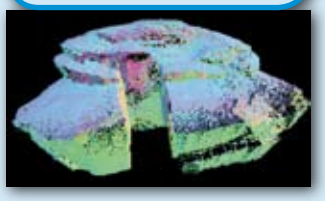


GEODEZJA GÓRNICZA



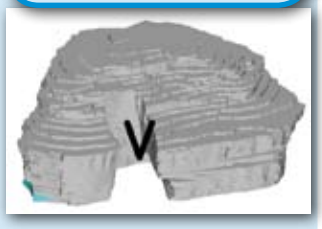
INNE PRZYKŁADY WYKORZYSTANIA DANYCH

Archiwizacja stanu obecnego obiektów. Wyrobiska górnicze (pochodzenia technogennego) komora solna E. Barącza w KS Wieliczka

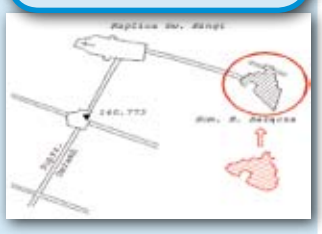


Generowanie przekrojów poziomych i pionowych z chmur punktów

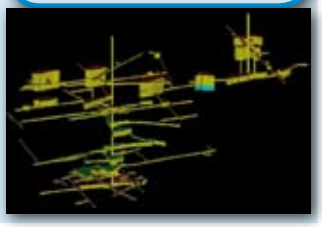
Wyznaczanie objętości wyrobisk – komora E. Barącza w KS Wieliczka



Aktualizacja map wyrobisk – komora E. Barącza w KS Wieliczka

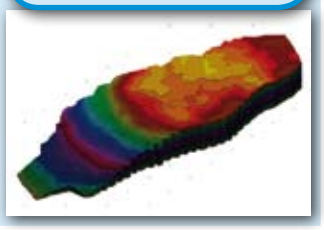


Tworzenie map przestrzennych kopalń (nie tylko zabytkowych)

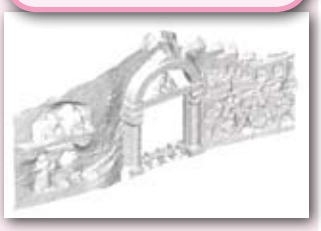


Inwentaryzacja geometrii zbiorników retencyjnych w ZG Rudna

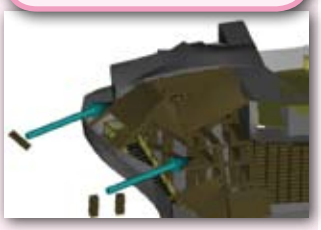
Badanie odkształceń stropów i konwergencji objętościowej w Kaplicy Św. Kingi



Architektura w górnictwie Kaplica Św. Kingi w KS Wieliczka



Ochrona wyrobisk



Animacja 3D – wizualizacja zespołu komór M. Saurau w KS Wieliczka

Prezentacje reklamowe obiektów (nie tylko architektury)

ŹRÓDŁO: GRANTY: 5T12E 03124, 5T12E 01622, 4T12E 05729, BADANIA WŁASNE: 10.10.150.184

lub zapylenie powietrza w wyrobiskach podziemnych lub odkrywkach). Innym mankamentem metody jest ograniczona zdolność tworzenia ze zdjęć modeli przestrzennych obiektów o charakterze nieregularnym (wysoki stopień generalizacji szczegółów), takich jak wyrobiska podziemne, jaskinie czy groty.

Obraz przestrzenny znacznie lepiej oddaje charakter i geometrię inwentaryzowanego obiektu niż opracowania płaskie, zwłaszcza gdy dotyczy skomplikowanych brył. Laserowe techniki automatycznego pomiaru pozwalają obecnie w krótkim czasie uzyskiwać gęste modele punktowe badanego obiektu, ułatwiające kontrolę prac realizacyjnych na dowolnym etapie jego wznoszenia, jak również rejestrację zmian geometrii (deformacji strukturalnych) podczas użytkowania budowli w dłuższym okresie czasu (monitoring). Obie metody (fotogrametryczna i skaning laserowy) w terenie dostarczają tylko półproduktów w postaci:

- przestrzennego rysunku wektorowego (metoda fotogrametryczna);
- modelu punktowego pokrywającego powierzchnię badanego obiektu (skaning laserowy).

Wspólną cechą obu metod jest obraz otrzymywany w drodze pomiaru. Chmura punktów ze skanera zawiera nieuporządkowaną informację, a zobrazowanie fotogrametryczne w postaci zdjęć charakteryzuje brak informacji topologicznej. Zatem zdjęcie i skan są tylko półproduktami (efektami pomiaru), które wymagają specjalistycznego przetwarzania dostępnymi narzędziami dla uzyskania informacji użytecznej dla końcowego opracowania, np. modelu przestrzennego.

TRIMBLE VX SPATIAL STATION

Kiedy w ramach prowadzonych badań po raz pierwszy zetknąłem się z wybranymi modelami skanerów laserowych i tachimetrów skanujących, główne kryteria oceny stopnia przydatności określonych modeli do realizacji zadań inwentaryzacyjnych budowli powierzchniowych i podziemnych stanowiły: dokładność pomiaru, zasięg, rodzaj impulsu świetlnego (długość fali świetlnej) i wielkość plamki lasera, szybkość pomiaru, zakres pola widzenia (bez zmiany położenia okna pomiarowego głowicy skanującej), sposób przestrzennego pozycjonowania instrumentu oraz orientacji względem różnego rodzaju sygnałów referencyjnych.

Spośród testowanych instrumentów na wyróżnienie zasługuje, jeden z najszybszych na świecie, tachimetr skanujący VX Spatial Station Trimble. Będąc rozwinięciem modelu S6, umożliwia automatyczny pomiar do 15 pkt/s i zawiera wiele nowinek technicznych. W szczególności zaletą tego instrumentu jest zaczerpnięta z drogich technologii skaningowych wbudowana i zintegrowana z układem kątomierczym kamera działająca w technologii VISION. Pozwala ona na wizualizację pola pomiaru na kolorowym ekranie kontrolera Trimble CU lub Trimble TSC2. Integracja obu modułów umożliwia podgląd szczegółów oraz wybór obszaru skanowania bezpośrednio na ekranie kontrolera za pomocą polilinii o dowolnym kształcie (analogicznie jak w skanerze GX). Zatem wybór obszarów pomiaru zlokalizowanych nawet bezpośrednio nad stanowiskiem nie wymaga stosowania specjalnych okularów z pryzmatami łamiącymi. Dodatkowo użytkownik może w ramach kontroli automatycznie zwizualizować punkty pomiarowe na ekranie kontrolera, a tym samym uzupełnić ewentualne braki w danych przy znaczącym skróceniu czasu związanego z koniecznością prowadzenia szkiców polowych.

Innym unikalnym rozwiązaniem jest technologia Spatial Imaging (obrazowanie przestrzenne), stanowiąca połączenie technik tachimetrycznych, skaningu laserowego oraz zdjęć metrycznych. Dzięki niej użytkownik może uzyskiwać informacje przestrzenne bezpośrednio z wykonanych kamerą VX zdjęć panoramicznych bez konieczności ich dodatkowej kalibracji lub wpasowania (odpowiednik technologii fotogrametrycznej).

W praktyce VX stanowi uproszczoną wersję skanera (z uwagi na mniejszą wydajność), choć dzięki połączeniu możliwości pomiarowych oferowanych przez tradycyjne tachimetry oraz technologię skaningu umożliwia kompleksową realizację grupy zadań związanych z: inwestycjami (tyczeniem), pomiarem osnowy realizacyjnej, inwentaryzacją powykonawczą, kontrolą kolejnych etapów budowy oraz szczegółowym opisem geometrii wybranych elementów budowli.

SKANER TRIMBLE GX

Panoramiczny skaner laserowy GX o szybkości pomiaru do 5000 pkt/s (rozbudowany model GS 200) jest profesjonalnym instrumentem pomiarowym. Ma dwuosiowe kompensatory do wprowadzania poprawek z tytułu wychylenia osi pionowej skanera. Współpracuje ze spodarkami Wild, dzięki czemu możliwa jest pełna kontrola pozycjonowania głowicy względem punktów osnowy. Wbudowane serwomotory pozwalają na skanowanie w pełnym horyzoncie (360°), co dodatkowo umożliwia budowanie korzystnej geometrii transformacyjnych tarcz referencyjnych. Znacznik osi celowej (środka układu dalmierczego) na korpusie pozwala na bezpośrednie wyznaczenie wysokości głowicy względem przyjętego układu współrzędnych wysokościowych. Oszczędność czasu skanowania i wielkości pliku danych osiąga się dzięki możliwości wskazania obszaru skanowania na panoramicznym zdjęciu wykonanym wbudowaną w głowicę kamerą CCD.

SKANER CALLIDUS 3D

Innym panoramicznym skanerem laserowym jest – należący jeszcze do niedawna do koncernu Trimble – Callidus (szybkość pomiaru 1750 pkt/s). Od instrumentów VX i GX różni się znacznie krótszym maksymalnym oraz minimalnym zakresem pomiarowym. Z uwagi na swoje gabaryty i ciężar posiada nietypową spodarkę (tylko dwie śruby nastawcze i jedna nieruchoma), wyposażoną w specjalne uchwyty dopasowane do głowicy specjalnego statywu. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest ustawianie skanera bezpośrednio na stabilnym płaskim podłożu lub statywie. Instrument ma elektroniczny kompas magnetyczny, który pozwala na orientację magnetyczną poszczególnych skanów. Ma to szczególne znaczenie w przypadku pomiaru trudnodostępnych pustek (jaskiń, grot, wyrobisk górniczych), ułatwiając wzajemne łączenie sąsiednich skanów. Pozycjonowanie głowicy może odbywać się dzięki realizacji klasycznego wcięcia kątowego do minimum trzech pryzmatów geodezyjnych o znanych współrzędnych przestrzennych (m_p = 0,6 mm) lub poprzez pomiar tachimetryczny pryzmatu lub przegubowej tarczy Callidusa montowanej na głowicy skanującej skanera. Panoramiczny charakter pomiaru, tj. 360° x 140° (również w kierunku zenitalnym), także w pozycji odwróconej (*up-side-down*) czyni Callidusa przydatnym w inwentaryzacji wnętrz obiektów na powierzchni i wyrobisk kopalni podziemnych.

Dodatek do prezentowanych instrumentów stanowi specjalistyczne oprogramowanie do obróbki danych przestrzennych. Dzięki zaawansowanemu technologicznie i informatycznie, ale prostemu w obsłudze programowi 3D Real Works Survey możliwa jest profesjonalna obróbka danych umożliwiająca tworzenie modeli przestrzennych mierzonych obiektów.

Sprzęt do testowania udostępniła firma Geotronics Sp. z o.o. z Krakowa.

DR INŻ. RAFAŁ GAWAŁKIEWICZ
Katedra Ochrony Terenów Górniczych, Geoinformatyki i Geodezji Górniczej
Wydział GGiIŚ AGH w Krakowie

SKANER Z+F IMAGER 5006

Z rąk inżynierów zza Odry wyszedł w 2006 roku pierwszy skaner laserowy, w którym zintegrowano panel sterowania, wewnętrzny dysk twardy, oprogramowanie sterujące i wymienne baterie wewnętrzne.

Skaner laserowy 3D IMAGER 5006 to jeden z najszybszych tego typu instrumentów na rynku. Maksymalna prędkość skanowania wynosi bowiem aż 500 000 punktów na sekundę! Przekładając to na bardziej działające na wyobraźnię dane, czas skanowania 400 mln punktów (rozdzielczość super high) wynosi niecałe 7 minut. Urządzenie Z+F należy do grupy instrumentów fazowych. Oznacza to, że charakteryzuje się niewielkim zasięgiem, ale bardzo wysoką dokładnością pomiaru. Maksymalny zasięg pracy to 79 m i wynika on z parametrów działania modułu dalmierczego (długości fali i jej częstotliwości), a dokładność liniowa na 50 m wynosi 1 mm.

Największe zmiany w porównaniu z poprzednikiem – IMAGEREM 5003 – zaszły w kwestii szumów pomiarowych, czyli niepożądanych błędnych obserwacji, które muszą być eliminowane z obliczeń w drodze filtracji. Teraz nie powinny być one większe niż 1,2 mm na 10 m i zmniejszyły się aż 5-krotnie.

Światło lasera jest widoczne dla oka, ma kolor czerwony i klasę bezpieczeństwa IIIR, co oznacza, że nasz wzrok nie jest zagrożony. Mechanizmy serwomotorów obracają instrument w zakresie 360° w poziomie i 310° w pionie. Takie jest więc pole „widzenia" sprzętu. Warto jeszcze wspomnieć, że niemiecki producent oferuje także specjalną serię 5006 o nazwie PROFILER. Różni się ona od IMAGERA tym, że pracuje tylko w jednej płaszczyźnie – obraca się w pionie.

Nowością IMAGERA 5006 jest wbudowany panel sterowania. Posiada on 4-liniowy ciekłokrystaliczny ekran z podświetleniem oraz 6 klawiszy. Zintegrowano go z wewnętrznym modułem komputerowym i dyskiem twardym na dane o pojemności 80 GB. W środku znajdziemy system operacyjny Linux i oprogramowanie sterujące pracą urządzenia. Jego menu zostało ograniczone do minimum, tak by obsługa nie była nadto uciążliwa. Mimo tego operator może bez problemu przeprowadzić proces skanowania. Otrzyma informacje o stanie pamięci, nazwie pliku (projektu), w którym zapisywane są obserwacje, założy/skasuje plik z dysku twardego, ustawi rozdzielczość skanowania, wykona zdjęcie cyfrowe czy zdefiniuje „okno" skanowania.

Możliwość obsługi skanera bez dodatkowych zewnętrznych interfejsów to przełom technologiczny w porównaniu z poprzednią generacją tego typu sprzętu i większością sprzedawanych na rynku modeli. Zalety takiego podejścia do sposobu sterowania pojawiają się już na etapie transportu. Nie trzeba więcej myśleć o dodatkowym laptopie, kablach, zewnętrznym zasilaniu itp. Równocześnie zmniejszają się znacząco koszty zakupu gotowego do pracy urządzenia i jego dalszego używania. Ciemniejszą stroną obsługi „panelowej" jest niemożność obejrzenia wyników pomiaru natychmiast po jego zakończeniu i konieczność bezpośredniego dostępu do urządzenia.

Gdybyśmy jednak chcieli wykonać bardziej ambitne zadania pomiarowe, należy wyposażyć się w zewnętrzny interfejs. Może nim być laptop, IPod, palmtop, a nawet telefon komórkowy. Można wtedy działać na dwa sposoby. W pierwszym rozwiązaniu urządzenia łączą się ze sobą bezprzewodowo (przez Bluetooth, a w przyszłości radiowo przez Wi-Fi), a jedyną aplikacją konieczną do sterowania skanowaniem jest przeglądarka internetowa. Komunikacja odbywa się przez protokół TCP/IP, a skaner ma przypisany konkretny adres IP. Dane są zapisywane na wewnętrznym dysku IMAGERA. Wciąż jednak nie można wyświetlić chmury punktów na komputerze, ale za to z pełną swobodą „bezkablowości" obsługujemy skaner ustawiony np. na wysokim rusztowaniu, w pobliżu elementów przemysłowych będących pod napięciem elektrycznym, w oparach trujących gazów – jednym słowem – w miejscach niebezpiecznych dla człowieka.

Drugie rozwiązanie wymaga dostępu do komputera podłączonego do skanera kablem przez port ethernet. Dzięki temu możemy na bieżąco kontrolować wyniki pomiarów. Na komputerze mamy wtedy zainstalowane oprogramowanie Z+F LaserControl, które pozwoli nam zarówno skonfigurować sprzęt, jak i oglądać natychmiast efekty pracy. W biurze będziemy mogli z jego użyciem wykonać podstawowy postprocessing danych (łączenie chmur w jednolite skany, generowanie przekrojów, rzutów, wykonywanie podstawowych pomiarów i obliczeń itp.). Do bardziej zaawansowanych procedur modelowania 3D użyjemy pakietu LFM Modeller.

Zebrane przez skaner laserowy chmury punktów mogą być pokolorowane. Odbywa się to w oprogramowaniu LaserControl, a informacje o barwach pochodzą ze zdjęcia cyfrowego wykonanego ze stanowiska skanera. Tu producent daje użytkownikowi aż cztery możliwości przeprowadzenia tej czynności, zależnie od zasobności jego portfela. Najtańsza, to pstryknięcie fotki „z ręki" najzwyklejszym „cyfrakiem".

FOT. PRZEMYSŁAW STANIEK

Marka	Zoller+Fröhlich
Model	**IMAGER 5006**
Tryb pracy skanera	fazowy
Dokładność wyznaczania odległości [mm]/kąta [°]	1/0,007
Rozdzielczość skanowania [mm]	0,1
Prędkość skanowania maksymalna/minimalna [pkt/s]	500 000/250 000
Zasięg skanowania maksymalny/minimalny [m]	79/1
Pole widzenia w pionie/w poziomie [°]	310/360
Minimalna wielkość mierzonego przyrostu w pionie/w poziomie [°]	0,0018/0,0018
Wbudowany interfejs	ekran 4-linijkowy, 6 klawiszy, system operacyjny Linux, dysk twardy 80 GB
Standardowe porty wejścia/wyjścia	2 x USB, ethernet, bezprzewodowe, zasilanie
Zasilanie/czas pracy [h]	Li-Ion/1,5
Oprogramowanie sterujące/biurowe	Z+F LaserControl/Z+F LaserControl, pakiet LFM, VSF, Geomagic Studio
Wymiary [mm]	268 x 190 x 372
Waga [kg]	14
Temperatura pracy [°C]	0 do +40
Dystrybutor	Jacek Krawiec, www.zf-laser.pl

Trochę droższa to zamontowanie na korpusie skanera aparatu Nikon D40 (lub Canon 350D). Jeszcze droższa to wykonywanie panoramicznych obrazów specjalnym aparatem montowanym na statywie, na którym stał skaner. Najdroższa, ale zarazem najwygodniejsza i najbardziej efektywna metoda zbierania obrazów cyfrowych to zewnętrzna niewielka kamera cyfrowa, instalowana w górnej części instrumentu. Posiada ona mechanizm sterujący ruchem, automatyzujący rejestrację zdjęć. W pierwszych trzech konfiguracjach ta czynność musi być wykonana ręcznie przez operatora.

Gdzie więc znajdzie zastosowanie IMAGER 5006? Prawie wszędzie – na arabskiej pustyni (opis projektu na s. 4), w Pałacu Wilanowskim, w bazylice pw. Krzyża Świętego i Narodzenia Matki Bożej na Jasnej Górze (fot. obok), na lodowcu na Spitsbergenie – to tylko niektóre prace realizowane już przez polskich specjalistów (głównie Dephos i KPG z Krakowa). W odmianie 2D (PROFILER) jest to wyśmienite urządzenie do pomiarów dynamicznych – ustawiony na samochodzie lub pojeździe szynowym instrument wykonuje pomiar profili prostopadłych do kierunku jazdy. Ta technologia pracy jest już stosowana na kolejach brytyjskich i amerykańskich (Nowy Jork), które w określonych interwałach czasu są zobligowane do inwentaryzacji swojej sieci i wykrywania ewentualnych przeszkód w transporcie.

Bardzo ciekawym projektem jest inicjatywa Volkswagena. W jego ramach na samochodzie VW Transporter zainstalowano specjalną konstrukcję z 5-metrowym rozkładanym masztem, która służy do dokumentowania wypadków na autostradach. Cały system zintegrowany jest z sensorami pomiarowymi auta – prędkościomierzem i odometrem – które dostarczają informacji o miejscu wypadku. Zainstalowany jest również GPS. Zestaw wyznacza pozycję z błędem nie większym niż 20 cm.

Interesujący może być również fakt, że niemiecka policja kryminalna używa skanerów Z+F do dokumentowania miejsc przestępstw.

Przykłady można by mnożyć, a zakres zastosowania skanera laserowego jest właściwie ograniczony tylko wyobraźnią zamawiającego i wykonawcy zadania.

MAREK PUDŁO

TOPCON GLS-1000

PREMIERA

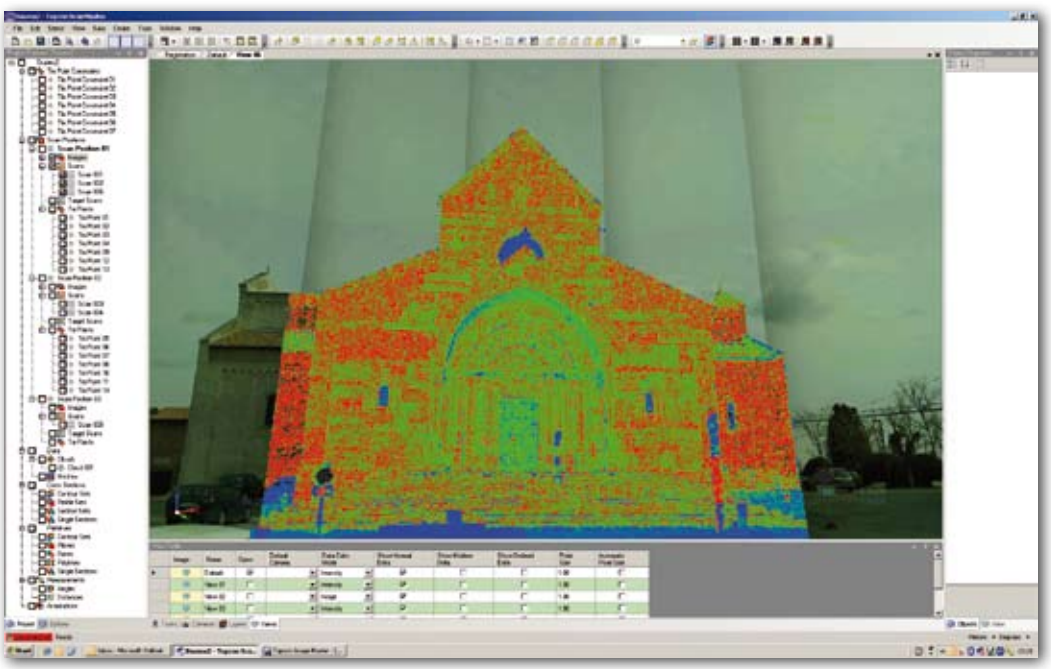
Długoletnie doświadczenie w produkcji wysokiej jakości dalmierzy laserowych ma przynieść Topconowi sukces na rynku skanerów laserowych 3D. GLS-1000 już w swojej konstrukcji mechanicznej mocno nawiązuje do tachimetrów.

Świadczą o tym chociażby zamontowane w obudowie leniwki z serwomotorami. Korzysta się z nich podczas ręcznego definiowania obszaru skanowania. Jeszcze jedną charakterystyczną cechą jest zainstalowany dwuosiowy kompensator. Wydawać by się mogło, że procedury manualne w geodezji i metrologii już dawno odeszły do lamusa. A tu niespodzianka – w branży skanerów laserowych rozbudowa obsługi bez używania zewnętrznego komputera to najnowszy trend technologiczny. GLS-1000 wpisuje się w niego dzięki interfejsowi z małym wyświetlaczem i kilkoma przyciskami. Pozwalają one operatorowi założyć nowy plik pomiarowy, podać parametry skanowania, wykonać zdjęcia mierzonego obiektu i uruchomić skanowanie.

Takiej konfiguracji musi towarzyszyć wewnętrzna pamięć na obserwacje. Topcon postawił na wymienne karty pamięci Secure Digital. I choć to bardzo wygodny sposób gromadzenia danych, to jednak rynek nie oferuje kart o pojemności choćby zbliżonej do możliwości pamięci masowych. W tej sytuacji przy dużych projektach przydałby się wewnętrzny dysk twardy. Integracja sprzętowa objęła również moduł zasilania. Cztery baterie są schowane szczelnie pod obudową i wystarczą na 3-4 h działania, tak więc kompletny skaner nosimy w wygodnej walizie transportowej, bez dodatkowych komputerów i zewnętrznych baterii. Gdybyśmy jednak uparli się podpiąć komputer, można wtedy użyć połączenia kablowego.

Dalmierz w Topconie GLS-1000 działa w technologii impulsowej, należy więc spodziewać się sporego zasięgu i raczej kilkumilimetrowej dokładności. Instrument potrafi zmierzyć obiekty oddalone maksymalnie o 350 m z dokładnością 4 mm. Nie jest to może wynik powalający, bo są instrumenty z zasięgiem kilometrowym. Atutem Topcona jest natomiast takie źródło lasera, które generuje światło niewidoczne i całkowicie niegroźne dla ludzkiego oka (1 klasa bezpieczeństwa). Analizując tabelę na kolejnych stronach, zauważymy, że to nieliczny przypadek godny pochwały. Istotnym parametrem charakteryzującym skaner laserowy, który przekłada się bezpośrednio na wydajność urządzenia, jest prędkość skanowania i pole widzenia. Topcon może rejestrować obserwacje z maksymalną szybkością 3000 punktów na sekundę, a z jednego stanowiska „zobaczy" obszar o rozpiętości kątowej 360° w poziomie i 70° w pionie.

Integracja w urządzeniu interfejsu sterowania, pamięci na dane i baterii ma, obok bezapelacyjnych zalet (np. bezkablowego zestawu pomiarowego), ten feler, że wymaga bezpośredniego dostępu do instrumentu. Specyfika klientów wykorzystujących dane pozyskane skanerami laserowymi (zakłady przemysłowe, budowniczowie, konstruktorzy, archeolodzy itp.) i realizowane dla nich zamówienia wymagają często pracy w trudnych i niebezpiecznych warunkach, gdzie bezpośrednia obecność operatora jest mocno niewskazana. Z tej patowej sytuacji pozwala wybrnąć opcja zdalnej obsługi Topcona. Wbudowane łącze Wi-Fi jest kanałem, którym z laptopa z zainstalowanym specjalnym opro-



gramowaniem wydawane są komendy instrumentowi. Taka współpraca może odbywać się w promieniu ok. 100 m od stanowiska pomiarowego.

Uzupełnieniem hardware'owej części opisywanego instrumentu jest warstwa aplikacyjna. Skanowanie bez oprogramowania obejść się nie może, a efekty pracy są widoczne w pełnej krasie dopiero na ekranie komputera. Użytkownik w komplecie z urządzeniem dostanie aplikację Image Master, która zainstalowana na pececie posłuży do sterowania sprzętem w terenie. Będzie można więc ustawić parametry skanowania (rozdzielczość, dokładność), a także wybrać obszar do pomiaru wskazując go na zdjęciu, które zostaje zarejestrowane przez wbudowany aparat cyfrowy. Co ważniejsze, narzędzie umożliwia podgląd on-line zarejestrowanych chmur punktów, a operator ma na bieżąco wgląd w wyniki i może natychmiast zdecydować o powtórzeniu lub uzupełnieniu pomiaru, jeśli zachodzi taka potrzeba.

Image Master pomoże także we wstępnej obróbce danych. Wykonamy więc łączenie w jeden plik chmur punktów zebranych z różnych stanowisk pomiarowych, przeprowadzimy podstawowe pomiary wektorowe między punktami, wygenerujemy przekroje, rzuty, a jeśli zajdzie potrzeba, wyeksportujemy obserwacje do najpopularniejszych formatów CAD (np. DWG, DXF).

Podsumowując parametry pomiarowe GLS-1000, możemy ustawić go obok takich instrumentów, jak Leica ScanStation 2 czy Trimble GX, i to właśnie z nimi będzie bezpośrednio walczył o klientów. Mogą być nimi inżynierowie budowlani, konstruktorzy, projektanci różnego rodzaju sieci przemysłowych, architekci, konserwatorzy zabytków, archeolodzy czy autorzy gier komputerowych, którzy chcą w swoich produkcjach posiadać realistyczne modele 3D miast, a nawet ludzi.

Pierwszy raz Topcon GLS-1000 został zaprezentowany szerokiej publiczności na wrześniowych targach INTERGEO 2007 w Lipsku. Był już wtedy w pełni funkcjonalnym instrumentem. Skaner jest już oficjalnie wprowadzany do sprzedaży w krajach Europy Zachodniej. Do Polski trafi najwcześniej w połowie tego roku. Jego cena nie jest jeszcze znana.

Tekst i zdjęcie MAREK PUDŁO

Marka	**Topcon**
Model	**GLS-1000**
Tryb pracy skanera	impulsowy
Dokładność wyznaczania odległości [mm]/kąta [°]	3/0,006
Prędkość skanowania maksymalna/minimalna [pkt/s]	3000/3000
Zasięg skanowania maksymalny/minimalny [m]	350/1,5
Pole widzenia w pionie/w poziomie [°]	70/360
Wbudowany interfejs	ekran 4-linijkowy, 20 klawiszy, karty pamięci SD, leniwki z serwomotorami
Standardowe porty wejścia/wyjścia	Wi-Fi, zasilanie
Zasilanie/czas pracy [h]	wymienne Li-Ion/4
Oprogramowanie sterujące/biurowe	Image Master
Wymiary [mm]	260 x 260 x 576
Waga [kg]	12
Dystrybutor	TPI Sp. z o.o.

SKANUJ W 3D

Specjaliści od fotogrametrii bliskiego zasięgu twierdzą: skanowanie laserowe jest najszybszą technologią pozyskiwania danych quasi-obrazowych.

MABAT 3D TECHNOLOGIES, IZRAEL

Laserowy skaner 3D to bardzo zaawansowana mutacja tachimetru elektronicznego. Skaner podobnie wyznacza współrzędne przestrzenne (X, Y, Z) mierzonych punktów, określając odległość i kąty. Bardzo zbliżone są też dokładności realizowanych przez skaner czynności pomiarowych. Parametrem najbardziej odróżniającym te dwa urządzenia jest prędkość pracy, oczywiście na korzyść skanera.

Skaner ma też dużą przewagę nad metodami obrazowymi, a mianowicie rejestruje czwartą współrzędną – siłę odbicia powracającego sygnału świetlnego wysłanego przez skaner. Znany jest przypadek, w którym po pomiarze sklepienia kościoła odkryto, że jedna z belek jest wykonana z innego materiału niż pozostałe. Kiedy indziej, po skończeniu inwentaryzacji fasady zabytkowej budowli okazało się, iż pod świeżymi tynkami utrzymuje się wilgoć.

Które parametry techniczne skanera są najważniejsze? Trudno znaleźć jednoznaczną odpowiedź na to pytanie, ponieważ każdy użytkownik oczekuje czegoś innego. Można zaryzykować stwierdzenie, że skanery laserowe warto rozpatrywać pod kątem trzech podstawowych parametrów: **wiarygodności** (dokładność pomiaru kąta i odległości, rozdzielczość), **wydajności pracy** (prędkość skanowania, pole widzenia i zasięg skanera) oraz **funkcjonalności w terenie** (sposób obsługi, wielkość, oprogramowanie).

Żeby poprawnie zinterpretować parametry z grupy „wiarygodności" zawarte w tabelach na kolejnych stronach, trzeba pamiętać o kilku faktach „laserowych". W skanerach montowane jest przeważnie źródło, które emituje światło widoczne dla ludzkiego oka (czerwone lub zielone), ale są też egzemplarze pracujące w bliskiej podczerwieni. Kolor jest ściśle związany z długością fali.

Trzeba wiedzieć, że fala elektromagnetyczna (laser) używana do wyznaczania odległości może mieć dwie formy sygnałów pomiarowych: fazową i impulsową. Sprzęt fazowy to urządzenia bardzo szybkie i dokładne, ale z ograniczonym do kiludziesięciu metrów zasięgiem. Impulsowe z kolei charakteryzują się dużymi możliwościami odległościowymi (nawet 1800 m), ale ich prędkość jest dużo mniejsza niż w wersji fazowej.

Na końcową dokładność pomiaru skanerem współrzędnych punktów ma wpływ – oprócz błędu wyznaczania dystansu – precyzja mierzenia kąta (poziomego i pionowego). Większość skanerów korzysta z systemów odczytowych podobnych do tych w tachimetrach.

Wykonując pomiary skanerem, należy mieć świadomość, że wiązka ma charakter rozbieżny i średnica plamki lasera zwiększa się wraz ze wzrostem odległości. Parametr wielkości plamki lasera jest skorelowany z dokładnością pomiaru, zdolnością rozdzielczą skanera (minimalną odległością między mierzonymi punktami), a tym samym możliwością jego zastosowania w różnych zadaniach pomiarowych.

Podsumowując „wiarygodność", nie można pominąć minimalnej wielkości mierzonego przyrostu (w poziomie i pionie), który decyduje bezpośrednio o szczegółowości odwzorowania, a w prostej linii – dokładności modelu mierzonego obiektu. Im przyrost będzie mniejszy, tym lepiej – urządzenie wyznaczy więcej punktów danego obiektu.

Przejdźmy do „wydajności". Tutaj brylują dwie cechy – prędkość skanowania i pole widzenia skanera. Skanery fazowe są szybsze od impulsowych. W zestawieniu znajdziemy sprzęt fazowy, który pracuje z częstotliwością 500 000 pkt/s. Najszybszy impulsowy ma osiągi 50 000 pkt/s, a przeważnie jest to niewiele więcej niż kilka tysięcy punktów na sekundę.

Pole widzenia skanera określa się oddzielnie w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Prezentowane w tabeli modele obracają się o 360° wokół własnej osi. Wniosek jest więc taki, że to właśnie zakres pracy w pionie wpływa na wydajność pracy danym instrumentem. W większości prac skaner ustawiany jest na tradycyjnym statywie, dlatego jego pole widzenia będzie w pewnym stopniu ograniczone. Realizacja dużych projektów skanerem o mniejszej szybkości i mniejszym polu widzenia może się wydłużyć nawet dwukrotnie. Z dwóch instrumentów to ten o polu widzenia większym o kilkadziesiąt stopni będzie potrzebował do zeskanowania obiektu nawet o kilkanaście stanowisk mniej.

I już jesteśmy w punkcie „funkcjonalność". Najważniejszymi parametrami w tej kategorii są oczywiście sposób obsługi instrumentu i stopień jego skomplikowania ze względu na używane oprogramowanie oraz liczba komponentów wchodzących skład zestawu pomiarowego.

Prezentowane na kolejnych stronach modele skanerów można podzielić pod względem obsługi na dwie grupy:

S. 27 ▶

SKANERY LASEROWE

MARKA	3rdTech	Amberg Technologies	Faro Technologies
MODEL	**DeltaSphere-3000IR**	**Profiler 5003**	**Photon 80/20**
ROK WPROWADZENIA NA RYNEK	2001	2006	2008
PRZEZNACZENIE	archeologia, prace renowacyjne, kryminalistyka	inżynierskie, pomiary tunelowe, kolejowe	inżynierskie, ochrona zabytków, leśnictwo
TRYB PRACY skanera [fazowy/impulsowy]	fazowy	fazowy	fazowy
LASER			
średnica plamki w zależności od odległości [mm/m]	7/9	3/1	3,3
długość fali [nm]	780	650	785
moc [mW]	8	brak danych	20
klasa bezpieczeństwa	3R	3R	3R
DOKŁADNOŚĆ WYZNACZANIA			
odległości [mm/m]	7,5/12	<4/25	1,2/25
kąta [°]	0,015	0,007	brak danych
ROZDZIELCZOŚĆ SKANOWANIA [mm]	0,25	0,1	0,6
PRĘDKOŚĆ SKANOWANIA			
maksymalna [pkt/s]	43 000	500 000	120 000
średnia [pkt/s]	15 000	250 000	120 000
ZASIĘG SKANOWANIA			
minimalny [m]	0,5	1	0,6
maksymalny [m]	15	79	76/20
POLE WIDZENIA			
w pionie [°]	290	310	320
w poziomie [°]	360	360	360
MINIMALNA WIELKOŚĆ MIERZONEGO PRZYROSTU			
w pionie	0,067°	0,0018°	0,009°
w poziomie	0,067°	0,0018°	0,00076°
OBSŁUGA SKANERA PRZEZ WBUDOWANY INTERFEJS			
wewnętrzny dysk twardy [MB]	nie dotyczy	2 GB	80 GB
ekran	nie dotyczy	4 linie	nie dotyczy
liczba klawiszy	nie dotyczy	6	2
funkcje obsługiwane z poziomu panelu	nie dotyczy	zarządzanie plikami, definiowanie rozdzielczości skanowania, obsługa kompensatora	uruchomienie pomiaru
KOMPUTER ZEWNĘTRZNY I OPROGRAMOWANIE			
minimalne wymagania techniczne	Pentium, 512 MB, Windows XP/Vista	2 GHz, 512 MB RAM, 40 GB HDD, Win XP	Pentium 1 GHz, 1 GB RAM, Windows XP
oprogramowanie do prowadzenia pomiarów	**SceneVision-3D** (kontrola skanowania, ustawianie parametrów, modelowanie 3D, łączenie skanów, ich kolorowanie, komentarze, dodatkowe funkcje rekonstrukcji zdarzeń, import/eksport danych)	w zlaeżności od zastosowania	**FARO Scene** (obsługa skanowania, obróbka chmury punktów. import/eksport, zarządzanie danymi, analizy przestrzenne, pomiary na punktach)
oprogramowanie do opracowywania wyników	**SceneVision-3D** (kontrola skanowania, ustawianie parametrów, modelowanie 3D, łączenie skanów, ich kolorowanie, komentarze, dodatkowe funkcje rekonstrukcji zdarzeń, import/eksport danych)	**TMS-Scan, TMS-Tunnelscan, TunelMap, GRP RailCloud** lub innych producentów (np. **PolyWorks**)	w zależności od pakietu: **Reconstructor, Geomagic Qualify, Studio, InovX, ATS RRTunnel, FARO Cloud**
REJESTRACJA DANYCH			
format zapisu obserwacji	RTPI	ZFS	FLS
format importu/eksportu	RTPI, XYZ, 3DD/RTPI, XYZ, VRML	zależnie od aplikacji	WRL, DXF, XYZ, XYB, IGS, PTS, PTX, PTC
KOMPENSATOR	nie	czujnik pochylenia	tak
APARAT CYFROWY			
wbudowany/zewnętrzny (nazwa)	zewnętrzny (Fuji Finepix S5 Pro)	zewnętrzny	zewnętrzny (Nikon D70/D200)
rozdzielczość [megapiksele]	12	zależnie od modelu	7-10,2
format zapisu zdjęć	JPEG	zależnie od modelu	RAW, JPEG
SENSORY ZEWNĘTRZNE	nie dotyczy	kamery, wózki do pomiarów geometrii torów, GPS	nie dotyczy
STANDARDOWE PORTY WEJŚCIA/WYJŚCIA	Ethernet, USB	2 x USB, Ethernet, Bluetooth, zasilanie	2 x USB
ZASILANIE			
rodzaj baterii/czas ciągłej pracy [h]	brak danych/7	Li-Ion/1,5	brak danych/5-8
zasilanie zewnętrzne	tak	tak	tak
INFORMACJE DODATKOWE	brak danych	brak danych	brak danych
OGÓLNE			
wymiary (dł. x szer. x wys.) [mm]	355 x 355 x 102	268 x 190 x 372	410 x 160 x 280
waga [kg]	10	14	14,5
norma pyło- i wodoszczelności	brak danych	brak danych	brak danych
temperatura pracy [°C]	0 do +45	0 do +40	5 do +40
wyposażenie standardowe	skaner, statyw, torba podróżna, okablowanie, SceneVision-3D, okulary ochronne, opcja: aparat cyfrowy, laptop, wózek, dodatkowe oprogramowanie	zależnie od wersji	brak danych
gwarancja [miesiące]	12	12-24	36
dystrybutor	Grafinta S.A. (Hiszpania), Inition Ltd. (Wlk. Brytania), FTS S.A. (Grecja) www.3rdtech.com	Czerski Trade Polska Sp. z o.o. www.czerski.com	FARO Technologies Polska www.faro.com

SKANERY LASEROWE

MARKA	Leica HDS	Leica HDS	Maptek I-Site 3D Laser Imaging
MODEL	**Leica ScanStation 2** (opis na s. 36)	**Leica HDS6000**	**I-Site 4400LR**
ROK WPROWADZENIA NA RYNEK	2007	2006	2006
PRZEZNACZENIE	pomiary inżynierskie, geodezyjne, architektura, inwentaryzacja	pomiary inżynierskie, geodezyjne, architektura, inwentaryzacja	pomiary topograficzne
TRYB PRACY skanera [fazowy/impulsowy]	impulsowy	fazowy	impulsowy
LASER			
średnica plamki w zależności od odległości [mm/m]	4/50	8/25	140/100
długość fali [nm]	brak danych	650	905
moc [mW]	1,5	brak danych	10
klasa bezpieczeństwa	3R	3R	3R
DOKŁADNOŚĆ WYZNACZANIA			
odległości [mm/m]	4/50	<4/25	50/700
kąta [°]	12″	25″	0,04
ROZDZIELCZOŚĆ SKANOWANIA [mm]	<1	od 1,6 do 50,6	1
PRĘDKOŚĆ SKANOWANIA			
maksymalna [pkt/s]	50 000	500 000	4400
średnia [pkt/s]	zależna od gęstości i zakresu	zależna od gęstości i zakresu	4400
ZASIĘG SKANOWANIA			
minimalny [m]	1	1	5
maksymalny [m]	300	79	700
POLE WIDZENIA			
w pionie [°]	270	310	80
w poziomie [°]	360	360	360
MINIMALNA WIELKOŚĆ MIERZONEGO PRZYROSTU			
w pionie	<1 mm	1,6 mm	0,108°
w poziomie	<1 mm	1,6 mm	0,108°
OBSŁUGA SKANERA PRZEZ WBUDOWANY INTERFEJS			
wewnętrzny dysk twardy [MB]	nie dotyczy	60 GB	nie dotyczy
ekran	nie dotyczy	4 linie	nie dotyczy
liczba klawiszy	nie dotyczy	6	nie dotyczy
funkcje obsługiwane z poziomu panelu	nie dotyczy	zakres i gęstość skanowania, kontrola sensora pochylenia	nie dotyczy
KOMPUTER ZEWNĘTRZNY I OPROGRAMOWANIE			
minimalne wymagania techniczne	1,4 GHz, 512 MB RAM, 80 GB HDD, Win XP	1,7 GHz, 1024 MB RAM, 80 GB HDD, Win XP	tablet PC, 20 GB HDD, pamięć flash 2 GB
oprogramowanie do prowadzenia pomiarów	**CycloneSCAN** (ustawianie parametrów skanowania, automatyczna identyfikacja celu, wcięcie, bezpośrednie wprowadzanie współrzędnych stanowiska, obsługa sensora pochylenia, podgląd chmury punktów, nałożenie koloru)	**CycloneSCAN** (ustawianie parametrów skanowania, automatyczna identyfikacja celu, wcięcie, bezpośrednie wprowadzanie współrzędnych stanowiska, obsługa sensora pochylenia, podgląd chmury punktów, nałożenie koloru)	**HHC 2.1 I-Site Studio 3.1** (ustawianie parametrów pracy, zarządzanie pomiarami i chmurą punktów, podgląd wyników, eksport/import danych, podgląd zdjęć cyfrowych, kontrola spoziomowania)
oprogramowanie do opracowywania wyników	**Leica CloudWorx** (modelowanie danych, tranformacja współrzędnych, wizualizacja 3D, pomiary inżynierskie, usługi serwerowe)	**Leica CloudWorx** (modelowanie danych, tranformacja współrzędnych, wizualizacja 3D, pomiary inżynierskie, usługi serwerowe)	**I-Site Studio 3.1** (modelowanie 3D, łączenie skanów, ich kolorowanie, filtrowanie, pomiary i obliczenia na chmurze punktów, import/eksport danych)
REJESTRACJA DANYCH			
format zapisu obserwacji	IMP Leica Cyclone	IMP Leica Cyclone, ZFS, ZFC	3DP
format importu/eksportu	COE, DXF, ASCII, LandXML, ZFS, ZFC, 3DD	COE, DXF, ASCII, LandXML, ZFS, ZFC, 3DD	3DP, 3DV, MA, VRML, DXF, DWG, DXB, OBJ, OOT, DGD, TXT, 3DI, ARCH_D, JPG, IREG
KOMPENSATOR	tak	czujnik pochylenia	tak
APARAT CYFROWY			
wbudowany/zewnętrzny (nazwa)	wbudowany	zewnętrzny	wbudowany
rozdzielczość [megapiksele]	1	dowolna	37
format zapisu zdjęć	TIFF, JPEG, BMP	TIFF, JPEG, BMP	JPEG
SENSORY ZEWNĘTRZNE			brak danych
STANDARDOWE PORTY WEJŚCIA/WYJŚCIA	2 x zasilanie, Ethernet	zasilanie, Ethernet, 2 x USB, Bluetooth	Ethernet, USB
ZASILANIE			
rodzaj baterii/czas ciągłej pracy [h]	brak danych/3	Li-Ion/1,5	Ni-MH/brak danych
zasilanie zewnętrzne	tak	tak	nie dotyczy
INFORMACJE DODATKOWE	brak danych	brak danych	zintegrowana luneta geodezyjna
OGÓLNE			
wymiary (dł. x szer. x wys.) [mm]	265 x 370 x 510	240 x 260 x 300	271 x 365 x 431
waga [kg]	18,5	16	14 (z baterią)
norma pyło- i wodoszczelności	IP52	IP54	IP65
temperatura pracy [°C]	0 do +40	0 do +40	-10 do +50
wyposażenie standardowe	skaner, statyw, spodarka, 2 akumulatory, ładowarka, kable, pojemniki na skaner i baterie, CycloneSCAN	skaner, statyw, spodarka, 2 akumulatory, ładowarka, kable, pojemniki na skaner i baterie, CycloneSCAN	skaner, tablet HHC, pendrive 2 GB, 2 baterie, ładowarka
gwarancja [miesiące]	12-36	12-36	12
dystrybutor	Leica Geosystems Sp. z o.o. www.leica-geosystems.com	Leica Geosystems Sp. z o.o. www.leica-geosystems.com	Maptek www.isite3d.com

Maptek I-Site 3D Laser Imaging	Riegl Laser Measurement Systems GmbH	Riegl Laser Measurement Systems GmbH	RIEGL Laser Measurement Systems GmbH
I-Site 4400CR	**LMS-Z420i**	**LMS-Z390i**	**LPM-321**
2007	2003	2007	2007
pomiary topograficzne	pomiary topograficzne, architektoniczne, archeologiczne, inżynieryjne, budowlane	pomiary topograficzne, architektoniczne, archeologiczne, inżynieryjne, budowlane	pomiary topograficzne, architektoniczne, archeologiczne, inżynieryjne, budowlane
impulsowy	impulsowy	impulsowy	impulsowy
140/100	16/50	16/50	80/100
905	bliska podczerwień	bliska podczerwień	bliska podczerwień
10	brak danych	brak danych	brak danych
3R	1	1	1M
50/400	10/50	6/50	25/50
0,04	0,0025	0,001	0,009
1	5	1	brak danych
4400	24 000	24 000	24 000
4400	11 000	11 000	1000
2	2	1	10
400	1000	400	6000
80	80	80	150
360	360	360	360
0,108°	0,004°	0,002°	0,018°
0,108°	0,004°	0,002°	0,018°
nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy
nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy
nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy
nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy
tablet PC, 20 GB HDD, pamięć flash 2 GB	1 GB, Windows 2000/XP, karta graficzna z Open GL	1 GB, Windows 2000/XP, karta graficzna z Open GL	1 GB, Windows 2000/XP, karta graficzna z Open GL
HHC 2.1 I-Site Studio 3.1 (ustawianie parametrów pracy, zarządzanie pomiarami i chmurą punktów, podgląd wyników, eksport/import danych, podgląd zdjęć cyfrowych, kontrola spoziomowania)	**RiSCAN PRO** (obsługa skanera, rejestracja zdjęć cyfrowych, zapis danych GPS, automatyczne skanowania punktów charakterystycznych, półautomatyczna kalibracja aparatu cyfrowego)	**RiSCAN PRO** (obsługa skanera, rejestracja zdjęć cyfrowych, zapis danych GPS, automatyczne skanowania punktów charakterystycznych, półautomatyczna kalibracja aparatu cyfrowego)	**RiPROFILE** (obsługa skanera, rejestracja zdjęć cyfrowych, zapis danych GPS, automatyczne skanowania punktów charakterystycznych, półautomatyczna kalibracja aparatu cyfrowego)
I-Site Studio 3.1 (modelowanie 3D, łączenie skanów, ich kolorowanie, filtrowanie, pomiary i obliczenia na chmurze punktów, import/eksport danych)	**RiSCAN PRO** (automatyczne łączenie skanów, wyrównanie obserwacji, filtrowanie danych, nakładanie tekstury, generowanie ortoobrazów, tworzenie przekrojów, rzutów, pomiar odległości, kątów, pola, objętości, tworzenie animacji)	**RiSCAN PRO** (automatyczne łączenie skanów, wyrównanie obserwacji, filtrowanie danych, nakładanie tekstury, generowanie ortoobrazów, tworzenie przekrojów, rzutów, pomiar odległości, kątów, pola, objętości, tworzenie animacji)	**RiPROFILE** (automatyczne łączenie skanów, wyrównanie obserwacji, filtrowanie danych, nakładanie tekstury, generowanie ortoobrazów, tworzenie przekrojów, rzutów, pomiar odległości, kątów, pola, objętości, tworzenie animacji)
3DP	3DD	3DD	3DD
3DP, 3DV, MA, VRML, DXF, DWG, DXB, OBJ, OOT, DGD, TXT, 3DI, ARCH_D, JPEG, IREG	3DD, 3PF, VTP, ASCII, POL, DXF, STL, OBJ, PLY	3DD, 3PF, VTP, ASCII, POL, DXF, STL, OBJ, PLY	3DD, 3PF, VTP, ASCII, POL, DXF, STL, OBJ, PLY
tak	tak	tak	nie
wbudowana	zewnętrzny (Nikon D300)	zewnętrzny (Nikon D300)	zewnętrzny (Canon EOS 400D)
37	13,1	13,1	10,5
jpeg	JPEG, TIFF, RAW	JPEG, TIFF, RAW	JPEG, TIFF, RAW
brak danych	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy
Ethernet, USB	Ethernet, RS-232	Ethernet, RS-232	Ethernet, RS-422
Ni-MH/brak danych	Pb-Gel/9	Pb-Gel/9	Pb-Gel/9
nie dotyczy	tak	tak	tak
zintegrowana luneta geodezyjna	synchronizator czasu GPS	synchronizator czasu GPS	analizator mocy powracającego sygnału odbitego
271 x 365 x 431	463 x 210	463 x 210	315 x 370 x 445
14 (z baterią)	16	15	16
IP65	IP64	IP64	IP64
-10 do +50	0 do +40	0 do +40	0 do +45
skaner, tablet HHC, pendrive 2 GB, 2 baterie, ładowarka	brak danych	brak danych	brak danych
12	12	12	12
Maptek www.isite3d.com	Riegl Austria www.riegl.com	Riegl Austria www.riegl.com	Riegl Austria www.riegl.com

SKANERY LASEROWE

MARKA	Optech Incorporated	Optech Incorporated	Topcon
MODEL	**ILRIS-3DER**	**ILRIS-3D**	**GLS-1000** (opis na s. 20)
ROK WPROWADZENIA NA RYNEK	2007	2001-2005	2008
PRZEZNACZENIE	pomiary topograficzne, inżynierskie (kopalnie odkrywkowe), architektoniczne, archeologiczne	pomiary topograficzne, inżynierskie (kopalnie odkrywkowe), architektoniczne, archeologiczne	pomiary topograficzne, inżynierskie
TRYB PRACY skanera [fazowy/impulsowy]	impulsowy	impulsowy	implulsowy
LASER			
średnica plamki w zależności od odległości [mm/m]	8/50	8/50	6/50
długość fali [nm]	1535	1535	brak danych
moc [mW]	brak danych	brak danych	brak danych
klasa bezpieczeństwa	1	1	1
DOKŁADNOŚĆ WYZNACZANIA			
odległości [mm/m]	7/50	7/50	4
kąta [°]	0,0046	0,0046	0,006
ROZDZIELCZOŚĆ SKANOWANIA [mm]	1,2	1,2	brak danych
PRĘDKOŚĆ SKANOWANIA			
maksymalna [pkt/s]	2500	2500	3000
średnia [pkt/s]	2500	2500	3000
ZASIĘG SKANOWANIA			
minimalny [m]	3	3	1,5
maksymalny [m]	1800	1500	350
POLE WIDZENIA			
w pionie [°]	40 (opcja 360)	40 (opcja 360)	70
w poziomie [°]	40 (ocja 360)	40 (ocja 360)	360
MINIMALNA WIELKOŚĆ MIERZONEGO PRZYROSTU			
w pionie	4″	4″	brak danych
w poziomie	4″	4″	brak danych
OBSŁUGA SKANERA PRZEZ WBUDOWANY INTERFEJS			
wewnętrzny dysk twardy [MB]	2 GB	2 GB	karta SD
ekran	kolorowy VGA	kolorowy VGA	tak
liczba klawiszy	1	1	20
funkcje obsługiwane z poziomu panelu	brak danych	brak danych	programowania pełnego skanowania
KOMPUTER ZEWNĘTRZNY I OPROGRAMOWANIE			
minimalne wymagania techniczne	Pocket PC, Wi-Fi, Windows Mobile	Pocket PC, Wi-Fi, Windows Mobile	brak danych
oprogramowanie do prowadzenia pomiarów	**Controller 4.3.0.2** (parametry skanowania, przekazywanie obrazu z wbudowanej kamery i możliwość zmiany jej ustawień, graficzne zaznaczanie obszaru skanowania na zdjęciu)	**Controller 4.3.0.2** (parametry skanowania, przekazywanie obrazu z wbudowanej kamery i możliwość zmiany jej ustawień, graficzne zaznaczanie obszaru skanowania na zdjęciu)	**Image Master** (obsługa skanowania, ustawianie parametrów pomiaru, rejestracja zdjęć)
oprogramowanie do opracowywania wyników	**Parser 4.3.5.4** (eksport wyników w różnych formatach z nałożeniem intensywności odbicia lub informacji RGB z kamery cyfrowej), IMAlign (import, łączenie skanów, georeferencja), opcja: PolyWorks (oprogramowanie do pomiarów inżynierskich, pomiar objętości, inwentaryzacja, generowanie powierzchni), Z-Map (system CAD, generowanie ortofoto)	**Parser 4.3.5.4** (eksport wyników w różnych formatach z nałożeniem intensywności odbicia lub informacji RGB z kamery cyfrowej), IMAlign (import, łączenie skanów, georeferencja), opcja: PolyWorks (oprogramowanie do pomiarów inżynierskich, pomiar objętości, inwentaryzacja, generowanie powierzchni), Z-Map (system CAD, generowanie ortofoto)	**Image Master** (łączenie chmur punktów, nakładanie zdjęć cyfrowych, transformacja współrzędnych, generowanie rzutów i przekrojów, podstawowe pomiary na chmurze punktów)
REJESTRACJA DANYCH			
format zapisu obserwacji	HDR, BLK, ASC, JPEG	HDR, BLK, ASC, JPEG	wewnętrzna baza danych
format importu/eksportu	XYZ, PIF, RAW, PTX, 3DV, BWP, S3D, PTC, BLF, IVA, IXF	XYZ, PIF, RAW, PTX, 3DV, BWP, S3D, PTC, BLF, IVA, IXF	TXT, DXF, DGN, inne
KOMPENSATOR	nie	nie	tak
APARAT CYFROWY			
wbudowany/zewnętrzny (nazwa)	wbudowany lub zewnętrzny: Nikon, Canon	wbudowany lub zewnętrzny: Nikon, Canon	wbudowany
rozdzielczość [megapiksele]	6	6	brak danych
format zapisu zdjęć	JPEG	JPEG	brak danych
SENSORY ZEWNĘTRZNE	GPS, INS, kamera termalna lub spektralna	GPS, INS, kamera termalna lub spektralna	nie dotyczy
STANDARDOWE PORTY WEJŚCIA/WYJŚCIA	2 x USB, GPS, ethernet, Wi-Fi, zasilanie	2 x USB, GPS, Ethernet, Wi-Fi, zasilanie	brak danych
ZASILANIE			
rodzaj baterii/czas ciągłej pracy [h]	AntonBauer Hytron140/3-4	AntonBauer Hytron140/3-4	Li-Ion/4
zasilanie zewnętrzne	tak	tak	tak
INFORMACJE DODATKOWE	zdalne sterowanie przez Wi-Fi, rozbudowa o moduł do skanowania w ruchu, mocowany na statywie geodezyjnym, 2-dniowe szkolenie w Toronto	zdalne sterowanie przez Wi-Fi, rozbudowa o moduł do skanowania w ruchu, mocowany na statywie geodezyjnym, 2-dniowe szkolenie w Toronto	wbudowane leniwki z serwomotorami do ręcznego sterowania ruchem głowicy skanującej
OGÓLNE			
wymiary (dł. x szer. x wys.) [mm]	320 x 320 x 220	320 x 320 x 220	260 x 576
waga [kg]	13	13	12 (z bateriami)
norma pyło- i wodoszczelności	brak danych	brak danych	brak danych
temperatura pracy [°C]	0 do +40	0 do +40	brak danych
wyposażenie standardowe	skaner, statyw, kontroler PDA, zasilacz sieciowy, okablowanie, Wi-Fi, pendrive 2 GB	skaner, statyw, kontroler PDA, zasilacz sieciowy, okablowanie, antena Wi-Fi, pendrive 2 GB	brak danych
gwarancja [miesiące]	12-24	12-24	brak danych
dystrybutor	Czerski Trade Polska Sp. z o.o. www.czerski.com.	Czerski Trade Polska Sp. z o.o. www.czerski.com	TPI Sp z o.o. www.topcon.com.pl

Trimble	Zoller+Fröhlich
GX	**IMAGER 5006** (opis na s. 18)
2005	2006
pomiary inżynierskie, topograficzne, budowlane	pomiary inżynierskie, archeologiczne, przemysłowe, topograficznego średniego zasięgu
impulsowy	fazowy
3/50	3/1; 5/10
532	650
brak danych	brak danych
3R	3R
4/50	1
0,0006	0,007
3,2	0,1
5000	500 000
5000	250 000
brak danych	1
350 (w technologii OverScan)	79
60	310
360	360
0,0009°	0,0018°
0,0018°	0,0018°
nie dotyczy	80 GB
nie dotyczy	4 linie
nie dotyczy	6
nie dotyczy	zarządzanie plikami, obsługa skanowania
brak danych	Pentium 1,2 GHz, 512 MB RAM, Windows XP
PointScape, PocketScape (parametry skanowania, pomiary na chmurze punktów, rendering)	**Z+F LaserControl** (parametry skanowanie, przeglądanie i edycja danych, eksport/import)
Real Works Survey (orientowanie skanów i ich łączenie, georeferencja chmur, pomiary, raporty, eksport do CAD, modelowanie 3D, obsługa przetworzonych danych GPS i total stadion – umieszczenie różnych rodzajów danych pomiarowych w jednym pliku projektowym)	**Z+F LaserControl** (łączenie chmur punktów, nadawanie kolorów, rzut ortogonalny, przecięcia, pomiary), LFM (pakiet narzędzi do obróbki chmur punktów pod kątem modelowania 3D, serwer danych dla aplikacji CAD)
PPF, SOI, ASCII	ZFS
ASCII, DXF, DWG, inne	ZFS, ZFC, JPEG, VRML, PTZ, PTX, ASC, SAT, OBJ, LFD, ASCII
tak	czujnik pochylenia
wbudowany	zewnętrzny (Nikon D40 lub kamera przemysłowa)
brak danych	6,1
JPEG	JPEG
nie dotyczy	możliwość podłączenia odbiornika GPS i odbiór NMEA
USB, Ethernet	2 x USB, Ethernet, bezkablowe, zasilanie
brak danych/8	Li-Ion/1,5
tak	tak
poprawka termiczna w czasie rzeczywistym, autofokus z możliwością kontroli przez operatora	pod koniec 2008 r. dostępny model EX do pracy w miejscach podwyższonego ryzyka wybuchu (np. w kopalniach)
343 x 323 x 404	268 x 190 x 372
13,6	14
IP53	brak danych
0 do +40	0 do +40
skaner, statyw, okablowanie, zasilacz, tarczki celownicze, oprogramowanie, walizka transportowa	skaner, statyw, 2 baterie, ładowarki, okablowanie, Z+F LaserControl
12	12-36
Geotronics Polska Sp. z o.o. www.geotronics.com.pl	Jacek Krawiec www.zf-laser.pl

niewymagające i wymagające zewnętrznego interfejsu. Do pierwszej grupy należy wciąż niewiele instrumentów, ale jest to najnowszy trend technologiczny – tak skonstruować skaner, by wszystkie jego podzespoły znajdowały się w jednej obudowie (dysk twardy, ekran, klawisze, aparat cyfrowy, baterie). Wtedy w teren można pójść jedynie z niewielką skrzynią transportową o wadze kilkunastu kilogramów. Przy drugim sposobie obsługi skanera wymagane jest podłączenie (kablowe lub bezkablowe) zewnętrznego rejestratora (palmtopa, tabletu, laptopa itp.) z zainstalowanym oprogramowaniem sterującym. Niezaprzeczalną zaletą takiego zestawu jest możliwość bieżącej kontroli pomiarów na ekranie komputera, ale bardzo uciążliwą wadą – powiększona waga całego kompletu, dochodząca często (wraz z akumulatorami zewnętrznymi) do kilkudziesięciu kilogramów!

Aplikacja do sterowania pracą skanera i wykonywania podstawowych operacji na chmurach punktów musi być prosta w obsłudze. Trzeba mieć świadomość, że skanowanie to niewielki procent całego procesu przygotowania finalnej dokumentacji i nie musi być on wykonywany przez specjalistów biegłych w sprawach inżynieryjnych. Operator powinien bez większych problemów móc ustawić wszystkie parametry działania instrumentu: na zdjęciu wskazać obszar objęty pomiarem, określić liczbę mierzonych punktów (rozdzielczość) skanowanego obiektu (oddzielnie w pionie i w poziomie) czy podać maksymalny błąd wyznaczenia położenia punktu. Oprogramowanie powinno także wspomóc łączenie skanów z różnych stanowisk pomiarowych i przeprowadzić transformację lokalnego układu współrzędnych (w którym pracuje skaner) do układów geograficznych. Software powinien także oferować możliwości podstawowych pomiarów na chmurze punktów (odległości, kątów, azymutów, powierzchni itp.) czy wygenerowania przekrojów i rzutów.

Na koniec kilka słów o zastosowaniach skanera laserowego. Sprzęt topograficzny przydatny jest do realizacji wielkoobszarowych pomiarów na terenach górniczych, gdzie inwentaryzacji podlegają odkrywki, hałdy i inne uboczne produkty tej działalności, a następnie określane są ich objętości i na tej podstawie wyznaczana zdolność wydobywcza. Archeologia to także domena tego typu sprzętu, ale raczej też w wydaniu powierzchniowym, gdzie stawia się mocniejszy akcent na ogólny model niż poszczególne detale obiektu.

Sprzęt średniego zasięgu to modele o dużej precyzji. Mają one znacznie większe pole do popisu, jeśli chodzi o różnorodność zadań. Przemysł we wszelkich wydaniach, szczegółowa inwentaryzacja architektoniczna (patrz s. 4), archeologia i pomiar detali obiektów historycznych. Skaner z powodzeniem sprawdza się także w inwentaryzacji zasobów leśnych (patrz s. 32).

Oprócz podstawowego wydania skanera 3D większość producentów oferuje wersje przeznaczone do pomiarów profili. Instrumenty takie działają tylko w jednej płaszczyźnie i przeważnie instalowane są na obiektach ruchomych. Tzw. mobilny skaning można już spotkać na samochodach zbierających dane o drogach (patrz s. 10), na wózkach szynowych inwentaryzujących przebieg sieci kolejowej i jej bezpośrednie otoczenie czy chociażby na obiektach pływających, gdzie skaner łączony jest bezpośrednio z systemami wyznaczania pozycji (INS, GPS) i obserwacje na bieżąco korygowane są ze względu na zakłócenia ruchu statku.

OPRACOWANIE REDAKCJI

BADANIE SKANERA

Dokładność pomiaru skanerem jest kluczowym parametrem, który określa jego przydatność w inwentaryzacji obiektów inżynierskich, badaniu przemieszczeń czy wyznaczaniu wymiarów różnych elementów konstrukcyjnych. W Warszawskim Przedsiębiorstwie Geodezyjnym S.A. (WPG S.A.) podjęto się weryfikacji tego parametru i określenia ograniczeń stosowania skaningu laserowego.

PIOTR FALKOWSKI

Rozdzielczość pomiaru skanerem w wielu wypadkach pozwala na stworzenie modelu o gęstości punktów wyższej niż 1 pkt/cm^2. Jednak ze względu na błędy przypadkowe i ograniczenia interpretacyjne, nie zawsze jest możliwe poprawne wyznaczenie współrzędnych punktów z dokładnością adekwatną do rozdzielczości. Trzeba się więc zastanowić, jak określić najwyższą dokładność wyznaczenia współrzędnych punktu przy zastosowaniu różnych technik pomiaru i interpretacji chmury punktów. Szczególnie istotny jest tutaj potencjał programu do obróbki danych, a przede wszystkim rozwiązania i algorytmy ułatwiające i podnoszące dokładność interpretacji chmury punktów.

Podczas badań skupiono się na:

- analizie dostępnych instrumentów i oprogramowania,
- sprawdzeniu dokładności orientacji skanu z wykorzystaniem różnych technik pomiaru punktów osnowy,
- porównaniu dokładności wyznaczenia współrzędnych pojedynczego punktu na obiekcie na podstawie interpretacji obrazu wygenerowanego z chmury punktów i pojedynczych punktów oraz na podstawie automatycznego wykrywania kształtów obiektu.

SKANERY POD LUPĄ...

W eksperymencie wykorzystano pomiary wykonane naziemnymi skanerami laserowymi. Najważniejszym kryterium podziału tych instrumentów jest zastosowana technika pomiaru odległości. Mamy więc dwie grupy: impulsowe i fazowe. Metoda pomiaru odległości wpływa na prędkość, dokładność i zasięg skanera. Technika impulsowa ma większy zasięg, wyższą dokładność, ale za to niższą prędkość pomiaru w porównaniu z systemem fazowym. Tabela 1 przedstawia parametry techniczne dwóch skanerów Leica. Można na ich podstawie stwierdzić, że instrument fazowy pozwala na pomiar współrzędnych punktów i odtworzenie kształtu powierzchni z dokładnością około dwukrotnie niższą niż w przypadku instrumentu impulsowego. Natomiast jego dużą zaletą, decydującą w wielu zastosowaniach o wyborze modelu tego typu, jest znacznie większa prędkość pracy.

TABELA 1. PORÓWNANIE SKANERA IMPULSOWEGO I FAZOWEGO LEICA GEOSYSTEMS (DANE WG PRODUCENTA)

Model	HDS 3000	HDS 4500
Metoda pomiaru	impulsowa	fazowa
Zasięg	200 m	26 lub 52 m
Dokładność pomiaru punktu	6 mm dla 1-50 m	7,2 mm dla 10 m 16 mm dla 25 m
Dokładność wyznaczenia powierzchni	2 mm dla 1-50 m	1,6 mm dla 10 m 4,4 mm dla 25 m
Gęstość chmury punktów	3,1 mm dla 10 m 7,8 mm dla 25 m	3,5 mm dla 10 m 8,7 mm dla 25 m
Prędkość pomiaru	do 4000 pkt/s	do 500 000 pkt/s

Pomiary wykorzystane w badaniach, których rezultaty zaprezentowane są w artykule, wykonywane były naziemnym skanerem laserowym Leica HDS 4500 (z oprogramowaniem firmy Zoller-Fröhlich – Z+F LaserControl) na terenie kompleksu handlowo-biurowo-rozrywkowego Złote Tarasy w Warszawie. W tym modelu zastosowana jest fazowa metoda pomiaru odległości. Podczas obróbki danych zwracano uwagę na konieczność wprowadzania poprawki wynikającej z nieprostopadłości osi skanera i błędów pomiaru odległości. Uwzględniano je na podstawie wyników kalibracji oraz parametrów wyznaczonych podczas pomiarów.

... I OPROGRAMOWANIE TEŻ

Do pracy z chmurą punktów wykorzystywane były dwie aplikacje: OctoCAD (firmy Scan 3D) oraz HDS Cyclone (Leica Geosystems). O ich wyborze do testów zadecydował fakt, że reprezentują dwa różne podejścia do obróbki chmury punktów.

OctoCAD bazuje na obrazach wygenerowanych na podstawie próbkowania natężenia odbitego promieniowania laserowego. Obrazy te dla całego skanu przetwarzane są na plik rastrowy z wykorzystaniem odwzorowania walcowego.

FOT. JERZY PRZYWARA

TABELA 2. ZESTAWIENIE MOŻLIWOŚCI PROGRAMÓW DO PRACY Z CHMURĄ PUNKTÓW

Oprogramowanie	OctoCAD	HDS Cyclone
Technika pomiaru	na dwuwymiarowym obrazie	bezpośrednio na chmurze punktów
Automatyczne pomiary tarcz (fotopunktów)	częściowo (eliminacja szumów wynikających z błędów pomiarów odległości)	tak (automatyczne wpasowanie modelu tarczy w chmurę punktów i w wygenerowany obraz)
Automatyczne wykrywanie kształtów	nie	tak
Możliwość kalibracji skanera	tak	nie

Dzięki temu pomiary wykonywane są na dwuwymiarowym obrazie na podstawie interpretacji wizualnej uzyskanego obrazu (tak jak w przypadku zwykłych zdjęć). Współrzędne przestrzenne pozyskiwane są poprzez odniesienie punktu z obrazu dwuwymiarowego do chmury punktów.

W programie HDS Cyclone praca odbywa się bezpośrednio na chmurze punktów. Aplikacja dysponuje wieloma narzędziami ułatwiającymi interpretację i pomiary. Szczególnie ważna jest możliwość automatycznego wykrywania kształtów.

Program OctoCAD zazwyczaj wykorzystywany jest w pracach związanych z inwentaryzacją architektoniczną obiektów. W takich zastosowaniach szczególnie istotny jest dokładny rysunek detali oraz prawidłowe zwymiarowanie do poprawnego stworzenia rzutów elewacji. Zastosowane w HDS Cyclone funkcje automatycznego wykrywania kształtów w znacznym stopniu ułatwiają tworzenie trójwymiarowych wektorowych modeli obiektów. Czyni to z niego idealne narzędzie do pomiarów związanych z inwentaryzacją obiektów przemysłowych czy do tworzenia dwu- i trójwymiarowych map do celów projektowych.

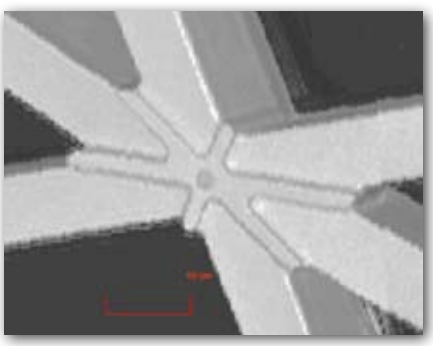
Stosowane w programach techniki obróbki danych mają także wpływ na dokładność wyznaczenia współrzędnych. Szczególnie istotny wydaje się fakt, iż w przypadku automatycznego wykrywania kształtów program wyszukuje wiele punktów tworzących powierzchnię odpowiadającą zadanemu kształtowi. Pozwala to zminimalizować wpływ błędów przypadkowych. Z porównania zaprezentowanego w Tabeli 1. wynika, że dokładność wyznaczenia współrzędnych jednego punktu w chmurze punktów jest około 3-4-krotnie niższa niż precyzja określenia powierzchni na bazie grupy punktów. Szczególnie duża różnica występuje przy interpretacji pomiarów ze skanera fazowego, gdzie występują większe błędy przypadkowe w pomiarze odległości.

Drugim istotnym elementem podnoszącym dokładność pomiarów skanerem jest wyznaczenie poprawek do elementów orientacji wewnętrznej instrumentu. Zauważono (Bornaz, Rinaudo, 2004), że większość skanerów nie zachowuje stałych elementów orientacji wewnętrznej i nawet przy każdym uruchomieniu niektóre z nich ulegają zmianie. Testowany program OctoCAD posiada możliwość wyznaczenia poprawek ze względu na nieprostopadłość osi instrumentu i zmianę skali przy pomiarze odległości.

Sprawdźmy więc, jak technologie pomiaru skanerem i zaawansowane funkcje obliczeniowe oprogramowania wpływają na końcową dokładność pracy.

● PRAKTYCZNA WERYFIKACJA TEORII

Do wyznaczenia dokładności pomiaru współrzędnych skanerem laserowym wykorzystano dane z inwentaryzacji Złotych Tarasów, a dokładnie kopuły nad atrium budynku. Zarejestrowano 40 chmur punktów o wysokiej gęstości. W celu orientacji skanów w jednolitym układzie współrzędnych założono osnowę fotogrametryczną składającą się ze 112 tarcz o rozmiarach 10 x 10 cm. (współrzędne fotopunktów pomierzono bezlustrowo tachimetrem ze średnim błędem 1,2 mm). Została ona zaprojektowana tak, aby na każdym skanie widocznych było przynajmniej 5 fotopunktów. Dodatkowo w jednej z części obiektu powstał poligon testowy, gdzie dwukrotnie wykonano rejestrację chmury punktów, a osnowę wzbogacono o dodatkowe punkty kontrolne. Na każdej z chmur punktów widocznych było od 3 do 5 dodatkowych punktów kontrolnych.



Rys. 1. Obraz pojedynczego fotopunktu w programie OctoCAD

● WPASOWANIE CHMURY PUNKTÓW

Pierwszym elementem poddanym sprawdzeniu była dokładność orientacji (wpasowania) chmury punktów na bazie osnowy. W badaniach porównano wyniki uzyskane w programach OctoCAD i HDS Cyclone. Dla OctoCAD wyznaczono wcześniej trzy parametry uwzględniające poprawki ze względu na nieprostopadłość osi i zmianę skali. Kontrolę przeprowadzono na 6 chmurach punktów zarejestrowanych w części budowli z poligonem testowym. Porównaniom poddano zarówno wartości błędu średniego uzyskanego na podstawie poprawek do współrzędnych fotopunktów, jak i wartości błędu średniego z zastosowaniem poprawek do współrzędnych punktów kontrolnych (wynik w tabeli 3)

TABELA 3. WARTOŚCI BŁĘDÓW ŚREDNICH UZYSKANYCH PODCZAS ORIENTACJI SKANÓW

Oprogramowanie	OctoCAD [mm]	HDS Cyclone [mm]
Błąd wpasowania w punkty osnowy	3,9 (skan 36) 3,2 (skan 37) 4,8 (skan 38) 4,5 (skan 39) 3,4 (skan 40)	5,3 (skan 36) 5,7 (skan 37) 6,3 (skan 38) 6,5 (skan 39) 4,9 (skan 40)
Wartość średnia	4,0	5,7
Błąd wyznaczony na bazie punktów kontrolnych	6,3 (skan 36) 7,8 (skan 37) 6,8 (skan 38) 7,9 (skan 39) 6,7 (skan 40)	8,2 (skan 36) 8,0 (skan 37) 8,4 (skan 38) 8,8 (skan 39) 7,3 (skan 40)
Wartość średnia	7,1	8,1

Należy zwrócić uwagę na różne techniki pomiaru punktów sygnalizacyjnych w programach OctoCAD i HDS Cyclone oraz ich wpływ na dokładność wyznaczenia położenia wszystkich punktów. W pierwszym pozycja tarczki wskazywana jest przez obserwatora (X, Y na obra-

zie intensywności, odległość od skanera interpolowana jest biliniowo z użyciem sąsiadujących punktów w chmurze). W drugim zaś pomiar fotopunktu odbywa się automatycznie poprzez wpisanie jego modelu w chmurę, co zwiększa dokładność. Mimo że w programie OctoCAD czynności nie są zautomatyzowane, to wartości błędów średnich obliczonych z wykorzystaniem poprawki do współrzędnych punktów po orientacji (tabela 3) są dla punktów kontrolnych niższe o około 12%. Należy zatem stwierdzić, że decydujący wpływ na taki wynik miały zastosowane poprawki do elementów orientacji wewnętrznej.

Uzyskane wartości błędów średnich są o około 20% gorsze od danych producenta, gdzie błąd średni wyznaczenia współrzędnych punktu kontrolnego można oszacować z podawanych dokładności identyfikacji i pomiaru punktu i wynosi on 5,0 mm/15 m. Zauważmy jednak, że wartość ta nie została wyznaczona na podstawie bezpośrednich pomiarów, ale przez szacowanie różnych parametrów z dokumentacji technicznej instrumentu, co znacznie obniża jej wiarygodność w porównaniach. Wyniki analizy zestawiono także z badaniami D. Dereka z Uniwersytetu w Perth (Gordon et al., 2003). Autor określił błąd średni wpasowania na poziomie 4,8 mm/10 m przy stabilnej i bardzo dobrze wyznaczonej osnowie. Aby wykorzystać ten wynik, należy przede wszystkim wprowadzić poprawkę ze względu na średnią odległość do punktów osnowy (na Złotych Tarasach wyniosła ona ok. 15 m). Wartość z badań Dereka poprawiono na podstawie danych nominalnych skanera (dla 10 i 25 m). Po wprowadzeniu poprawki ze względu na odległość wyinterpolowano błąd średni 7,7 mm/10 m.

Prezentowane wyniki wskazują, iż pomiary na Złotych Tarasach zostały wykonane i opracowane z podobną dokładnością, jaką uzyskiwali inni badacze (w porównaniu nie uwzględniono wpływu oprogramowania). Różnice wyników uzyskanych w programach OctoCAD i HDS Cyclone wskazują, iż dokładność orientacji skanów może być podniesiona o około 10-15% poprzez wprowadzenie poprawek do elementów orientacji wewnętrznej.

POMIAR WSPÓŁRZĘDNYCH PUNKTU I LINII

Kolejnym etapem analizy było oszacowanie możliwości wyznaczenia współrzędnych pojedynczego punktu na obiekcie. W analizach zastosowano dwie techniki pomiaru:

- bezpośrednio z chmury punktów na podstawie analizy wygenerowanego obrazu,
- poprzez automatyczne wpasowanie kształtu obiektu i wyznaczenie współrzędnych z uzyskanych wektorowych elementów geometrycznych.

Próba została przeprowadzona na podstawie pomiarów elementów konstrukcji kopuły Złotych Tarasów. Wyznaczano współrzędne środka czopka na łączeniu elementów tworzących konstrukcje kopuły. Ma on kształt walca o wymiarach około 5 x 3 cm (średnica x wysokość). Prace wykonano w programie OctoCAD na podstawie pomiarów na wygenerowanym obrazie, a w programie HDS Cyclone poprzez automatyczne wpasowanie kształtu walca w chmurę punktów, a następnie poprzez wskazanie współrzędnych środka uzyskanej podstawy walca.

Wyznaczono w ten sposób współrzędne 31 punktów, które zostały także pomierzone metodą klasyczną (bezlustrowym tachimetrem). Wyniki zostały porównane pod kątem błędów średnich. Dla programu OctoCAD wyniósł on 13,22 mm (błąd maksymalny 31,5 mm), a dla HDS Cyclone – 9,5 mm (18,5 mm).

Wartości te jednoznacznie wskazują, że zastosowanie automatycznych pomiarów punktów znacznie podnosi dokładność wyznaczenia współrzędnych. Zauważmy również, że uzyskany w programie HDS Cyclone błąd maksymalny jest znacznie niższy od analogicznego błędu w programie OctoCAD. Dowodzi to, że automatyczna detekcja kształtów nie tylko zwiększa średnią dokładność pomiarów, ale także w dużym stopniu poprawia precyzję pomiarów obiektów o obniżonej identyfikowalności (położonych w większej odległości od skanera lub zarejestrowanych pod ostrym kątem). Dla takich punktów zarejestrowano też największe wartości odchyłek.

Rys. 2. Obraz pojedynczego elementu konstrukcji z programu OctoCAD

BARDZO DOBRZE, ALE...

Zaprezentowane wyniki badań dokładnościowych wskazują, że technologia skaningu laserowego może znaleźć zastosowania w pomiarach, gdzie nie jest wymagana najwyższa precyzja wyznaczenia współrzędnych. Jednak wynik końcowy prac jest mocno uwarunkowany wieloma czynnikami. Bardzo ważna jest specyfika produktu wyjściowego. Pomimo dużej gęstości chmury punktów możliwości poprawy zdolności interpretacyjnych poprzez wykorzystanie obrazu intensywności (lub zdjęć cyfrowych) oraz względnie wysokiej dokładności wyznaczenia współrzędnych pojedynczego punktu w tej chmurze, dokładność identyfikacji konkretnych punktów i linii na obiekcie jest ograniczona. W metodologii pomiaru zamiast pomiaru pojedynczych punktów kładzie się nacisk na wykrywanie powierzchni i automatyczną identyfikację kształtów. Technika ta bazuje na wykorzystaniu wielu punktów jednocześnie, przez co wzrasta dokładność i zmniejsza się wpływ błędów przypadkowych.

Oddzielnym zagadnieniem wpływającym na zwiększenie dokładności pomiarów skanerem laserowym jest możliwość eliminacji w procesie postprocessingu błędów instrumentu. Stwierdzono, iż zastosowanie poprawek ze względu na nieprostopadłość osi oraz poprawek do pomiaru odległości pozwala podnieść o około 10-15% dokładność pomiaru współrzędnych.

PIOTR FALKOWSKI

konsultacje Jacek Uchański,
wiceprezes WPG S.A.

Literatura
- Bae Kwang-Ho, Lichti Derek, 2004, „Automated registration of unorginised point clouds from terrestrial laser scanners", Proceedings ISPRS Conference Commission V, Istanbul 2004
- Bornaz L., Rinaudo F., 2004, „Terrestrial laser scanner data processing", Proceedings ISPRS Conference Commission V, Istanbul 2004
- Fidera Artur Chapman Michael, Hong Jingook, 2004, „Terrestrial lidar for industrial metrology applications: modelling, enhancement and reconstruction", Proceedings ISPRS Conference Commission V, Istanbul 2004
- Gordon Stuart, Lichti Derek, Stewart Mike, 2004, „Application of a high-resolution, ground-based laser scanner for deformation measurements", Proceedings ISPRS Conference Commission V, Istanbul 2004
- Gordon Stuart, Lichti Derek, Stewart Mike and Franke Jochen, 2003, „Structural deformation measurement using terrestrial laser scanners", Proceedings 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece
- Leica HDS 3000 and HDS 4500 data sheets, 2007 accessible at www.leica-geosystems.com
- Leica HDS Cyclone handbook, 2007, Leica Geosystems
- Lichti Derek, 2004, „A resolution measure for terrestrial laser scanners", Proceedings ISPRS Conference Commission V, Istanbul 2004
- Z+F LaserControl handbook, 2007, Z+F documentation

Trimble® VX™ Spatial Station

Od pomiarów katastralnych, przez pomiary punktów geodezyjnych i pomiary powykonawcze, po pomiary objętości, Trimble VX Spatial Station to urządzenie do pomiarów geodezyjnych i obrazowania przestrzennego, które pracuje dla Ciebie.

Zaprojektowane tak, by rejestrować wszystko, od indywidualnych współrzędnych po kompletne skany 3D całych lokalizacji. Jeden Trimble VX oferuje zintegrowane rozwiązanie dla wielu zróżnicowanych potrzeb w zakresie gromadzenia danych. Dzięki precyzji i wszechstronności Trimble VX geodeci mogą teraz osiągnąć więcej każdego dnia.

Technologia Trimble VISION™
W terenie i w biurze, integracja technologii optycznych, obrazowania i skanowania 3D optymalizuje przepływy pracy i redukuje ilość koniecznych poprawek.

Napędy serwo MagDrive™
Duża szybkość i bardzo dokładne sterowanie zapewniają dokładne pozycjonowanie i większą efektywność.

Pomiary Trimble RealWorks™
Trimble RealWorks umożliwia użytkownikom przechwytywanie, odczytywanie i analizowanie danych z wielu różnych aplikacji geodezyjnych i obrazowania przestrzennego.

Aby uzyskać więcej informacji, odwiedź nas www.trimble.com/everyday

Trimble.

©2007, Trimble Navigation Limited. Wszelkie prawa zastrzeżone. Logo Trimble i znak globusa oraz trójkąta są zastrzeżonymi znakami towarowymi Trimble Navigation Limited zarejestrowanymi w urzędzie Patent and Trademark Office w Stanach Zjednoczonych. SUR-152

Z LASEREM PRZE

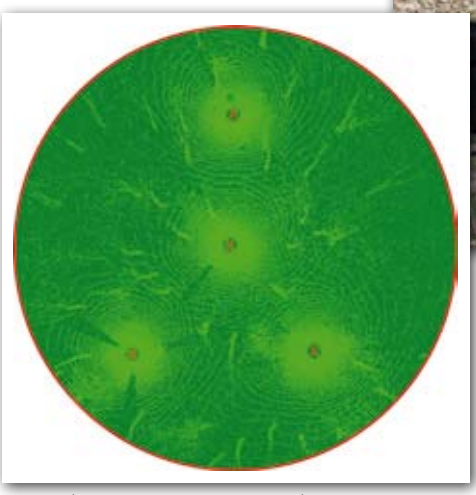
Szczegółowe pomiary przeprowadzone przez pracowników Katedry Urządzania Lasu Akademii Rolniczej w Poznaniu dowiodły, że skaner laserowy czuje się w lesie jak ryba w wodzie. Choć ta technologia pomiarowa ma ograniczenia, to jest szansa, że na dobre zagości wśród polskich drzew.

PAWEŁ STRZELIŃSKI

CAŁA PRAWDA O LEŚNIKACH

Leśnictwo jako dziedzina naukowo-badawcza raczej nie jest kojarzona z zaawansowanymi technologiami. Społeczeństwo wciąż postrzega pracownika leśnego jako pana w zielonym mundurze, z dubeltówką na ramieniu, dokarmiającego zimą sarenki. To oczywiście stereotyp mocno przerysowany.

FARO LS HE880 to zestaw kilku podstawowych elementów, ale ich łączna waga przekracza 60 kg



Obszar o promieniu 20 m skanuje się z 3-4 stanowisk

Wśród wielu różnych zadań realizowanych przez sektor gospodarki leśnej znajdują się również te z dziedziny urządzania lasu. Ich głównym celem jest ocena stanu, kontrola realizacji i wspomaganie w podejmowaniu decyzji. I właśnie tutaj stosuje się często najnowsze narzędzia.

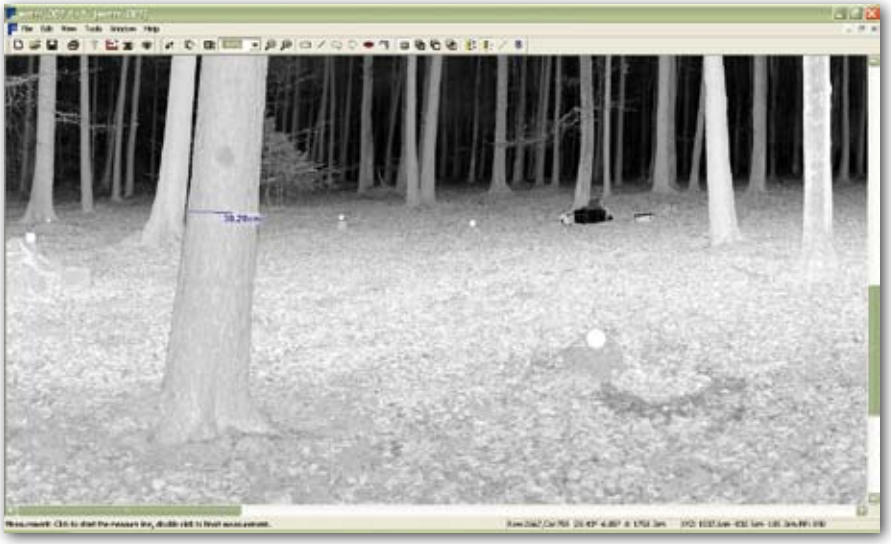
Przez dziesiątki lat przy pomiarach drzew wykorzystywano urządzenia mechaniczne. Ich precyzja oraz wprawa operatora pozwalały na wyznaczenie wysokości stojącego drzewa nawet z dokładnością 10 cm (standard to 50 cm). W latach 90. pojawiły się przyrządy elektroniczne wspomagające większość prac pomiarowo-rejestracyjnych. Przełom zapowiadały technologie łączące lotniczy skaning laserowy z wysokorozdzielczymi zdjęciami cyfrowymi. Okazało się jednak, że zakres informacji zdobywanych tymi metodami nie zaspokaja w pełni oczekiwań. Brakowało danych z wnętrza lasu przesłanianego często zwartymi koronami drzew.

A MOŻE SPRAWDZI SIĘ SKANER?

Technologię laserowego skaningu naziemnego zdecydowano się przetestować po raz pierwszy na szerszą skalę w ramach projektu „Opracowanie metody inwentaryzacji lasu opartej na integracji danych pozyskiwanych różnymi technikami geomatycznymi" finansowanego przez Dyrekcję Generalną Lasów Państwowych, a koordynowanego przez Wydział Leśny SGGW w Warszawie. Prace nad projektem rozpoczęły się w 2006 r., ale wybór dostawcy sprzętu poprzedziło „rozpoznanie" rynku i dostępnych urządzeń (przeprowadzone przez dr. Piotra Wężyka z Wydziału Leśnego AR w Krakowie). Najbardziej obiecującym okazał się skaner FARO LS HE880. Na poligonie badawczym w Nadleśnictwie Milicz w listopadzie 2006 roku przeprowadzono pierwsze testy (egzemplarzem wypożyczonym za dość wysoką odpłatnością). Wstępne wyniki były obiecujące.

Jednocześnie w Katedrze Urządzania Lasu na Wydziale Leśnym AR w Poznaniu przy ścisłej współpracy z Pracownią Ekofizjologii Instytutu Dendrologii PAN w Kórniku, powstawał nowy projekt badawczy dotyczący modnego, a jednocześnie ważnego tematu – pochłaniania dwutlenku węgla przez ekosystemy leśne. Uruchomiono go w kwietniu 2007 r. pod nazwą „Bilans węgla w biomasie głównych gatunków lasotwórczych w Polsce"

Z LAS



Pomiar charakterystycznych parametrów drzew odbywa się na tzw. obrazie intensywności

(koordynatorem została Katedra Urządzania Lasu na Wydziale Leśnym AR w Poznaniu). Do precyzyjnej rejestracji poletek badawczych, gdzie pomiarami obejmowane są nie tylko podstawowe elementy drzew (średnica i wysokość), ale także wiele innych parametrów, łącznie ze strukturą i wypełnieniem przestrzeni oraz szacowaniem biomasy roślinnej we wszystkich warstwach drzewostanów (z warstwą krzewów i runa włącznie), wybrano ponownie skaner laserowy FARO LS HE880. Zleceniodawca badań (Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych) wyraził zgodę na zakup skanera laserowego, co stało się jesienią 2007 r. Decyzję tę podjęto po przeprowadzeniu testów opisanych poniżej.

TESTOWANIE SKANERA

Pozytywne doświadczenia z Milicza, liczne opinie ekspertów (m.in. prof. H. Spieckera z Wydziału Leśnego na Uniwersytecie we Freiburgu) oraz staże naukowe doktorantów (np. w firmie TreeMetrics w Irlandii) potwierdziły słuszność wyboru instrumentu FARO. Mimo to postanowiono poddać skaner bardziej gruntownemu sprawdzeniu. Tym razem przetestowano go w różnych warunkach temperaturowych (zwłaszcza w minimalnej zalecanej przez producenta – ok. 5°C) oraz, co bardzo istotne, w drzewostanach o niejednolitym składzie gatunkowym i budowie warstwowej. W sumie, przed decyzją o zakupie wykonano skaning na terenie siedmiu nadleśnictw (Chojna, Chojnów, Grodzisk Wlkp., Łopuchówko, Sławno, Tuczno i Zielonka) oraz w dwóch drzewostanach o specyficznym charakterze parkowym (ogród dendrologiczny AR w Poznaniu oraz Wielkopolski Park Narodowy).

W pierwszej fazie testów wydawało się, że specyfika pracy w lesie nie sprawi skanerowi FARO szczególnych trudności. Podstawowe zadanie to pomiar, a właściwie inwentaryzacja powierzchni o promieniu ok. 15-20 m, z określeniem średnicy drzewa (najlepiej na dowolnej wysokości) z dokładnością nie gorszą niż 0,5 cm oraz wysokości z dokładnością nie gorszą niż 50 cm. Pierwsze problemy zaczęły się pojawiać przy pomiarze wysokości. W drzewostanach o dużym zagęszczeniu, zwłaszcza młodych, trudne okazało się wyselekcjonowanie wierzchołków niektórych drzew. Z kolei przy dużym zagęszczeniu krzewów problemem był nawet prawidłowy pomiar średnicy drzewa (standardowo mierzonej na wysokości 130 cm od podstawy pnia). Stąd pierwszy ważny wniosek – skaner trzeba ustawiać jak najdalej od drzew w celu zminimalizowania ich wzajemnego przesłaniania się. Ponieważ jednak efektu tego nie sposób uniknąć, do testów wykorzystano oprogramowanie firmy TreeMetrics, które wykonuje analizy oparte na modelach kształtu różnych gatunków drzew. Wówczas przy częściowo przesłoniętych drzewach możliwe jest modelowanie z wykorzystaniem inter- i ekstrapolacji.

GARŚĆ CENNYCH WSKAZÓWEK TERENOWYCH

Efekt przesłaniania można zminimalizować, wykonując na powierzchni badawczej większą liczbę skanów. Wydłuża to jednak czas pracy oraz zwiększa ilość danych (łączny rozmiar plików). Jaka metoda jest więc optymalna?

Najprostszym sposobem jest oczywiście centralne ustawienie skanera – w środku badanej powierzchni kołowej. Mimo trójwymiarowego odwzorowania powierzchni, nie zyskamy obrazu części drzewa niewidocznych dla skanera. A należy pamiętać, że w zakresie zainteresowań może być oszacowanie stopnia deformacji pni (krzywizny), ich uszkodzenia (np. odarcia z kory), objawy chorobowe (np. owocniki grzybów – huby) itp. By uzyskać pełne informacje, należy zaplanować minimum 3-4 skany na powierzchni. Dzięki zastosowaniu odpowiedniego oprogramowania i umieszczeniu na skanowanym obszarze tzw. kul referencyjnych otrzymuje się już w miarę precyzyjny model 3D. Należy tylko pamiętać o zachowaniu maksymalnej odległości pomiędzy pozycjami skanera (nie więcej niż 15 m) oraz dobrej widoczności kul referencyjnych (optymalnie wszystkich z każdego stanowiska skanera).

Kolejnym ważnym punktem jest wybór rozdzielczości skanowania, co skutkuje m.in. jakością obrazu, precyzją i dokładnością pomiarów, czasem ich trwania (oraz obróbki), a także ewentualną koniecznością zakupu wydajnej stacji graficznej. Doświadczenia wielu zespołów pokazały, że wystarczającym dla „leśnych" zastosowań jest skan z rozdzielczością ¼, co trwa ok. 7 min. i generuje pliki o wielkości 100 MB (z opcją „koloru" ok. 150 MB).

Niewątpliwie zakres zastosowań skanera rozszerza możliwość przyłączenia kamery cyfrowej. W badaniach leśnych ma to swoje uzasadnienie m.in. podczas identyfikacji gatunków (nie tylko drzew i krzewów, ale także roślin runa), co na obrazie intensywności nie zawsze jest możliwe.

LASER ZAMIAST SUWMIARKI

Zasadnicze analizy, czyli pomiary parametrów poszczególnych drzew i krzewów, odbywają się zazwyczaj na tzw. obrazie intensywności. Niestety, uzyskiwane w testach wyniki nie zawsze spełniały pokładane w laserze nadzieje. Na przykład na powierzchni testowej w Nadleśnictwie Milicz w porównaniu do tradycyjnych metod pomiarowych otrzymano różnicę średnicy 1,5 cm, zaś wysokości – 33 cm. Pojawia się oczywiście pytanie, który z pomiarów powinien być traktowany jako referencyjny?

W kolejnym teście skupiono się więc na najprostszym porównaniu pomiarów średnicy drzew. Analiza danych z Nadleśnictwa Gryfino (wrzesień 2007 r.) przeprowadzona dla trzech powierzchni (w sumie 101 drzew z gatunku buk zwyczajny) wykazała średnią różnicę pomiędzy po-

Chmura punktów w oprogramowaniu CAD (z lewej) oraz fotorealistyczny model 3D z nałożoną teksturą ze zdjęcia cyfrowego

miarem tradycyjnym a danymi z lasera na poziomie 0,07 cm!

Przy zachowaniu takiej dokładności można przejść do bardziej zaawansowanych analiz, m.in. pomiaru pozostałych części drzewa (konarów, drobnych gałązek, a nawet aparatu asymilacyjnego). Tego typu dane są najbardziej pożądane przy szacowaniu biomasy poszczególnych części drzewa, co z kolei jest niezbędne przy określaniu zdolności pochłaniania CO_2, a w konsekwencji – określaniu bilansu węgla w ekosystemach leśnych.

Do rozwiązania pozostaje więc tylko jeszcze jedna ważna kwestia – czasu poświęcanego na analizę danych zgromadzonych w postaci chmur punktów. Sam skaning laserowy jest czynnością niezbyt trudną ani też specjalnie długotrwałą. Pierwsze fazy opracowywania danych to ich odfiltrowanie i wyodrębnienie określonych obiektów i obszarów. Obiecujące wydaje się oprogramowanie wspomnianej już firmy TreeMetrics, umożliwiające daleko idącą automatyzację pomiarów określonych cech pojedynczych drzew. Całkiem osobnym zagadnieniem jest generowanie z chmur punktów modeli CAD oraz wizualizacja w formatach wideo.

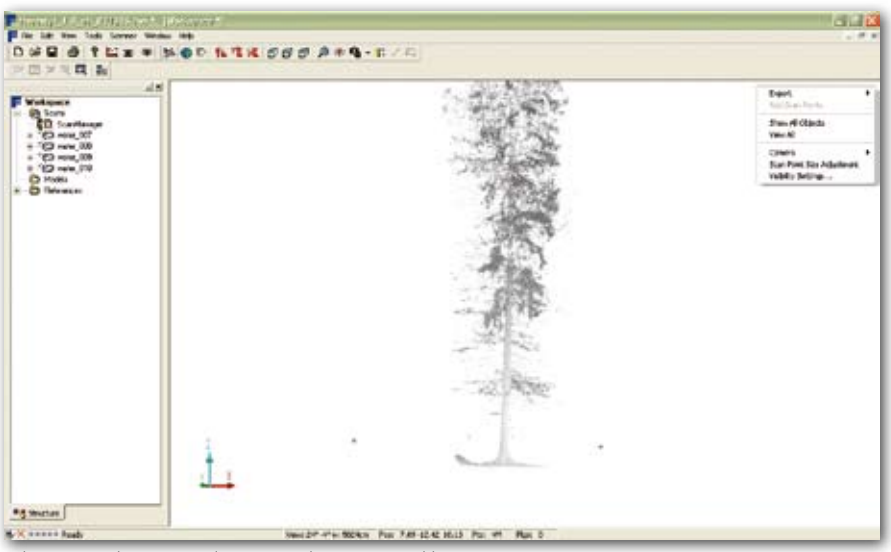
● Z PUNKTU WIDZENIA UŻYTKOWNIKA

Czy skaner jest urządzeniem komplementarnym, spełniającym wszystkie potrzeby leśnika-mierniczego? Niewątpliwie brakuje mu wbudowanego, precyzyjnego odbiornika GPS (lub chociaż możliwości podłączenia zewnętrznego sensora), który w trakcie skanowania wyznaczyłby pozycję skanera w układzie współrzędnych WGS-84 i nadał globalną georeferencję chmurze punktów. Dopracowania wymaga także montaż kamery cyfrowej. Mimo iż element ten był już w kolejnych modelach poprawiany, to ciągle oś optyczna obiektywu nie jest wystarczająco dokładnie „zgrana" z położeniem diody lasera, co przekłada się m.in. na niedokładności w generowaniu fotorealistycznego modelu 3D. Pewną niedogodnością może być ograniczenie stosowania jedynie dwóch modeli kamer cyfrowych: Nikona D70 lub Nikona D200 (obydwa w zestawie z obiektywem typu fish eye – Nikkor AF DX 10,5 mm f/2.8 G ED).

Pokręcić można jeszcze nosem na kwestię mobilności całego zestawu. Sam skaner waży 14,5 kg, kufer transportowy to kolejne 10 kg, statyw geodezyjny – 12 kg, akumulator – 14 kg, walizka z kulami referencyjnymi – ok. 5 kg, notebook – ok. 4 kg) oraz kamera cyfrowa – ok. 3 kg). W sumie daje to niebagatelny ciężar ok. 60 kg!

Zasadniczą kwestią jest więc możliwość „odchudzenia" tego zestawu. Pierwszym krokiem w tym kierunku może być wymiana ciężkiego drewnianego statywu na taki z włókien węglowych o odpowiedniej nośności (np. Gitzo GT5560SGT Systematic Carbon Triod – waga 3,41 kg, maksymalne obciążenie 25 kg). Oszczędzamy już ok. 8 kg. Drugi krok to zakup lżejszego o 11 kg akumulatora. Kolejnym elementem o nadprogramowym ciężarze jest urządzenie sterujące. Choć skaner FARO przystosowany jest do bezprzewodowego sterowania za pośrednictwem PDA, to jednak parametry tego typu urządzeń nie pozwalają na podgląd wykonanego skanu. Pozostaje więc podłączenie notebooka wydajnego graficznie (obsługa OpenGL), lecz niewielkiego wagą (ok. 1 kg) z pojemnym akumulatorem (6-8 godz. pracy). Warunki takie spełniają np. Sony VAIO VGN-TZ21 (ok. 1,19 kg; 7 godz. pracy) lub Toshiba Portege R500-121 (ok. 0,98 kg; 7 godz. pracy). Tu zarobiliśmy jedynie 2-3 kg, ale łączny spadek ciężaru całego zestawu to już ponad 20 kg!

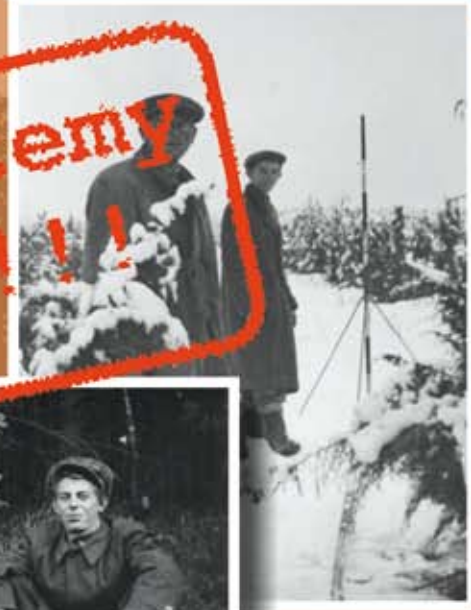
Wciąż jednak 40 kg sprzętu to za dużo, by transportowała go jedna osoba, a tym bardziej kobieta, bo wśród leśników też można je spotkać. Wskazana jest więc raczej praca w zespołach dwuosobowych.



Chmura punktów pojedynczego drzewa w aplikacji FARO Scene

Tekst i zdjęcie PAWEŁ STRZELIŃSKI
Katedra Urządzania Lasu
Wydział Leśny AR w Poznaniu

Teraz możemy więcej !!!



W swojej już prawie sześćdziesięcioletniej historii
Warszawskie Przedsiębiorstwo Geodezyjne S.A.
zawsze było prekursorem we wdrażaniu nowych technologii z zakresu geodezji i kartografii.
WPG S.A. już w 2005 roku wykonało pierwsze prace pomiarowe z wykorzystaniem skanera laserowego. Dzisiaj możemy zaoferować naszym klientom pełną technologię wykonywania pomiarów z zastosowaniem różnego rodzaju skanerów laserowych:

inwentaryzacje i wykonywanie modeli 3D urządzeń w zakładach przemysłowych

modele 3D budynków, opracowywanie modeli zabudowy, pomiary deformacji

pomiary i opracowanie modeli 3D urządzeń i detali z dokładnością do 0.05 mm

inwentaryzacje architektoniczne i architektoniczno - konserwatorskie obiektów zabytkowych

Warszawskie Przedsiębiorstwo Geodezyjne S.A.
ul. Nowy Świat 2, 00-497 Warszawa
tel. 022 621 44 61
fax 022 625 78 87
http://www.wpg.com.pl
e-mail: produkcja@wpg.com.pl

SKANOWANIE

Analizy wykorzystania naziemnego skaningu laserowego w inwentaryzacji architektonicznej jednego z warszawskich kościołów podjął się zespół badawczo-rozwojowy Katedry Teledetekcji i Geoinformatyki WAT w Warszawie pod kierownictwem dr. inż. Michała Kędzierskiego. Prace wykonano instrumentem Leica ScanStation 2 należącym do rodziny Leica Geosystems HDS.

MICHAŁ KĘDZIERSKI,
PIOTR WALCZYKOWSKI,
ANNA FRYŚKOWSKA

Naziemny skaning laserowy staje się powoli technologią znaną architektom i konserwatorom zabytków. Stosuje się go głównie jako narzędzie do zbierania danych do dokumentacji niezbędnej w odtworzeniu stanu faktycznego obiektu sprzed renowacji. Jednak zbyt mało uwagi zwraca się na możliwości badania uszkodzeń budowli sakralnych zarówno pod względem kształtu, jak i struktury. Najczęściej zniszczeniu ulegają elementy polichromiczne rzeźb, malowideł i ornamentów. W Polsce zasady inwentaryzacji architektonicznej regulują wytyczne techniczne G-3.4. Przewidują one wymagane materiały i informacje o aktualnym stanie obiektu, które umożliwią późniejsze wykorzystanie w pracach projektowych i technicznych służących ochronie zabytków.

PRACE BADAWCZE

W ramach projektu zeskanowaliśmy: elewację kościoła, główne sklepienie, ołtarze, ambonę i organy. Nasza praca polegała na zbadaniu potrzeb przeprowadzenia działań konserwatorskich czy pozyskania danych do celów architektonicznych. Dlatego skupiliśmy się nie tylko na stworzeniu modelu przestrzennego elewacji kościoła, ale również na zbadaniu precyzji skanera oraz przydatności zdolności zagęszczenia ścieżki skanowania poniżej 1 mm w miejscach wystąpienia pęknięć lub zniszczeń.

Z uwagi na kolumny i wysokość obiektu ustalono, że pomiary wykonane będą z trzech stanowisk, by można było pokryć punktami wszystkie elementy elewacji. Wybór stanowisk został podyktowany warunkami ekspozycji fasady, częściowo zasłoniętej przez obiekty, takie jak drzewa i samochody. Wynikiem skanowania elewacji budynku z rozdzielczością 7 mm były osobne skany – tzw. ScanWorlds – zapisane w postaci chmur punktów.

Tak powstałe skany muszą być połączone i zorientowane względem siebie. Wzajemna orientacja skanów pozyskanych z różnych stanowisk zwana jest rejestracją. Rejestracja skanów może odbyć się poprzez manualne odnalezienie odpowiadających sobie szczegółów pomierzonych obiektów na pokrywających się obszarach skanów. Możliwe jest też rozwiązanie w pełni automatyczne – przez wyszukiwanie punktów homologicznych w postaci celów HDS (metoda najbliższego punktu – ICP) bądź na podstawie cech geometrycznych obiektów (powierzchni płaskich lub konturów obiektów). Przykładem takiego rozwiązania jest zaproponowany przez C. Brennera i C. Dolda algorytm orientacji wzajemnej skanów, który najpierw automatycznie wyróżnia powierzchnie płaskie w każdej osobnej chmurze punktów, a następnie przyporządkowuje sobie trójki takich elementów pomiędzy różnymi zestawami pomierzonych danych. Służy to do wyznaczenia składowych orientacji wzajemnej: obrotu i przesunięcia względem siebie wszystkich chmur punktów, tworzących skan danego obiektu. Matematycznie sprowadza się to do wyznaczenia sześciu stopni swobody – najpierw macierzy rotacji R (zależność między punktami z dwóch skanów) i później wektora przesunięcia między punktami (t), wykorzystując definicję płaszczyzny (wyznaczoną przez wektory normalne n, m, p), analizę wektorów własnych oraz transformację. Takie podejście zapewnia równomierny rozkład błędu wyznaczenia wielkości kątowych orientacji pomiędzy dwoma odpowiadającymi sobie wektorami.

Rys. 1. Tarcze celownicze HDS

Łączenie skanów przeprowadziliśmy z wykorzystaniem pięciu tarcz celowniczych HDS (rys. 1), rozmieszczonych w taki sposób, aby były widoczne ze wszystkich stanowisk. Środki takich tarcz bardzo silnie odbijają światło, co pozwala na późniejsze, precyzyjne określenie ich położenia w przestrzeni. W procesie automatycznej rejestracji obrazów wyznaczone zostały błędy na każdym punkcie (tarczy celowniczej), a średni błąd wyniósł 0,004 m. Dokładność rejestracji i błędy na poszczególnych tarczach przedstawione są w tabeli poniżej.

Analizując wyniki łączenia skanów można stwierdzić, że wektorowe opracowanie elewacji kościoła może zostać przeprowadzone z dokładnością na poziomie 0,005 m. W przypadku tego opracowania daje to błąd względny na poziomie 1:6000. Na podstawie naszych badań stwierdzi-

RAPORT Z ŁĄCZENIA SKANÓW (wartości błędów w metrach)

Nazwa	ScanWorld	ScanWorld	Błąd średni	Wektor błędu	Błąd poziomy	Błąd pionowy
TargetID: 10	ScanWorld 1	ScanWorld 2	0,002	(-0,001, -0,001, -0,001)	0,001	-0,001
TargetID: 12	ScanWorld 1	ScanWorld 2	0,001	(-0,001, -0,001, -0,000)	0,001	0,000
TargetID: 14	ScanWorld 1	ScanWorld 2	0,002	(0,002, -0,001, -0,000)	0,002	0,000
TargetID: 10	ScanWorld 1	ScanWorld 3	0,003	(0,001, -0,003, -0,001)	0,003	0,001
TargetID: 12	ScanWorld 1	ScanWorld 3	0,008	(-0,006, 0,005, 0,000)	0,008	0,000
TargetID: 14	ScanWorld 1	ScanWorld 3	0,005	(0,005, -0,002, 0,000)	0,005	0,000
TargetID: 14	ScanWorld 2	ScanWorld 3	0,004	(0,003, -0,003, 0,000)	0,004	0,000
TargetID: 12	ScanWorld 2	ScanWorld 3	0,007	(-0,005, 0,004, 0,000)	0,007	0,000
TargetID: 10	ScanWorld 2	ScanWorld 3	0,003	(0,001, -0,002, 0,002)	0,002	0,002
TargetID: 11	ScanWorld 2	ScanWorld 3	0,004	0,002, 0,001, -0,003)	0,002	-0,003

ZABYTKÓW

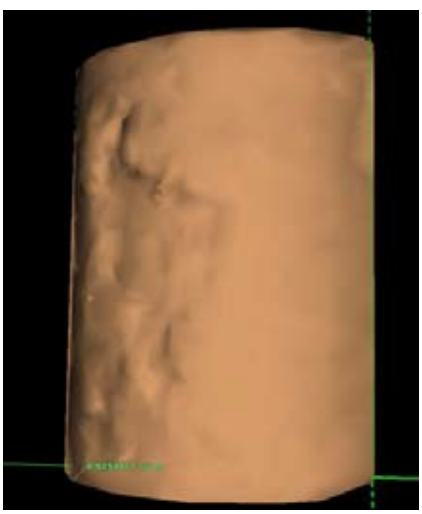
liśmy, iż nie ma potrzeby stosowania pomiarów na przykład metodą ciągu poligonowego, ponieważ największa dokładność może być uzyskana za pomocą tarcz HDS. W celu wiarygodnego szacowania błędu i pewności rejestracji skanów powinno się używać co najmniej 5 równomiernie rozmieszczonych w przestrzeni markerów (minimalna liczba to 3).

SZACOWANIE WIELKOŚCI USZKODZEŃ

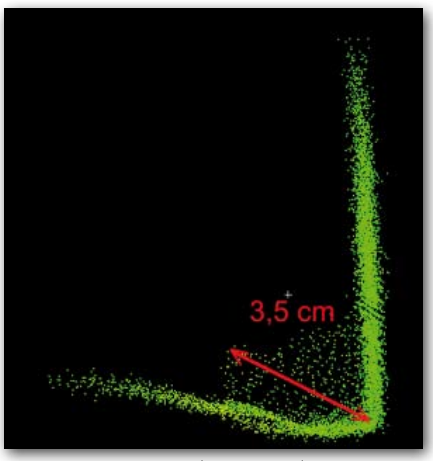
Za pomocą skanera pomierzyliśmy uszkodzenie kolumny (rys. 2), które w kolejnym kroku zostało zamodelowane (rys. 3). Jego wielkość z obliczeń wyniosła ok. 1350 cm^3. Oszacowaliśmy także głębokość szczeliny na podstawie jej przekroju (rys. 4). W miejscach newralgicznych ścieżka skanowania została zagęszczona poniżej 1 mm (rys. 5). Jednak z uwagi na dokładność kątową skanera, żeby spełnić ten rygor, odległość do skanowanego obiektu nie może przekraczać 17 m.

Na podstawie badań stwierdziliśmy (z poziomem ufności 0,95), iż głębokość szczeliny można wyznaczyć, jeśli nie jest

Rys. 2. Widok uszkodzenia kolumny (skan i zdjęcie)



Rys. 3. Możliwości detekcji i oszacowania wielkości pęknięć na obiekcie w miejscach trudno dostępnych



Rys. 4. Fragment przekroju szczeliny

Rys. 5. Wizualizacja przebiegu pęknięcia (maksymalna rozdzielczość skanowania)

LEICA SCANSTATION 2

PRZEMIEŃ

Ten uniwersalny skaner impulsowy charakteryzuje się wysoką dokładnością wyznaczenia pozycji (6 mm) i odległości (4 mm), a przede wszystkim niespotykaną dotąd zdolnością zagęszczenia ścieżki skanowania poniżej 1 mm. Takie rozwiązanie jest szczególnie przydatne przy precyzyjnych pomiarach niewielkich elementów architektonicznych czy przemysłowych. Zaletą systemu jest również możliwość wizualnego umiejscowienia pojedynczego, specyficznego punktu czy wybranego elementu obiektu na badanej powierzchni i wykonanie jego bardzo dokładnego pomiaru.

Optyka skanera składa się z pojedynczego zwierciadła, nadającego wiązce światła kierunek wychodzenia i powracania. Laser ma kolor zielony i jest widoczny dla człowieka. Wielkość plamki padającej na obiekt waha się od 4 do 6 mm w odległości od przeszkody nieprzekraczającej 50 m. System ma zdolność rejestracji nawet do 50 000 pkt/s. Zasięg pracy, gwarantowany przez producenta to 300 m (przy poziomie odbicia sygnału 90%, przy 18% będzie to 130 m). Urządzenie charakteryzuje się również poszerzonym w stosunku do poprzedniej wersji ScanStation polem widzenia (360° x 270°). Duże zasięgi pozwalają na skanowanie trudno dostępnych miejsc (stropy, tunele, mosty, wysokie budowle, kolumny, wieże) i monitorowanie rozległych obszarowo prac w terenie. Instrument posiada wbudowany aparat cyfrowy o rozdzielczości 1 megapiksela.

Sterowanie pracą urządzenia odbywa się za pośrednictwem komputera (podłączonego przez port Ethernet) z oprogramowaniem Leica CycloneSCAN. Zapewnia ono obsługę całego procesu skanowania i przetwarzania pomiarów. W aplikacji można zdefiniować gęstość ścieżki, obszar, a także sekwencje skanowania kolejnych obiektów.

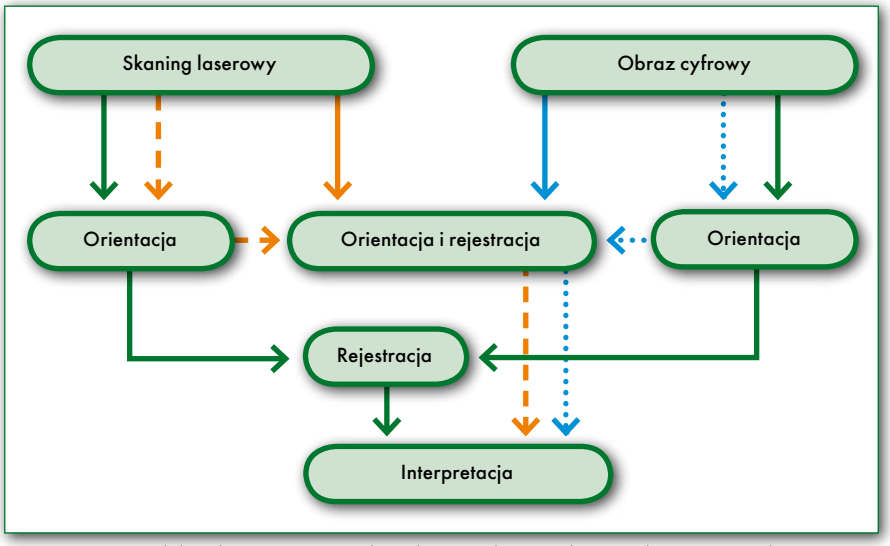
ona mniejsza niż 2 mm. Poniżej tej wartości, z uwagi na właściwości lasera, możliwości określenia i pomiaru struktury wewnętrznej pęknięcia są ograniczone.

TEKSTUROWANIE

Kolejnym z przykładów wykorzystania możliwości naziemnego skaningu laserowego do sporządzania dokumentacji zabytków sakralnych jest wykonanie precyzyjnych modeli sklepień wraz z ich strukturą i pokryciem. W tym celu można wykorzystać wewnętrzną lub zewnętrzną wysokorozdzielczą kamerę cyfrową.

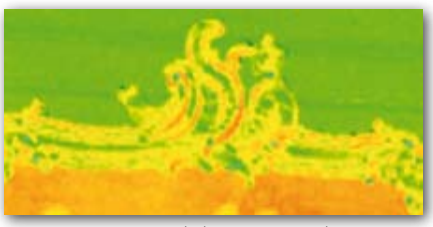
Aby stworzyć teksturę, używa się danych z pomiarów laserowych łącznie z obrazami z aparatu. Wówczas mamy do czynienia z dwoma zupełnie odmiennymi podejściami obrazowania struktury badanej powierzchni. Podczas gdy skaner realizuje pozyskanie metrycznej informacji w postaci chmury punktów o dokładnie znanym położeniu każdego z nich, dane z obrazu cyfrowego otrzymanego z kamery cyfrowej muszą być poddane dalszej obróbce i przetworzeniu w model 3D. Ponadto „tradycyjna" fotogrametria realizuje pomiar w sposób pasywny, gdzie konieczne jest oświetlenie obrazowanego przedmiotu. Daje jednak w zamian bardzo dokładne informacje na temat jego barwy, pokrycia czy topologii. Najlepszym rozwiązaniem wydaje się być połączenie obu technik, tylko wtedy bowiem możliwe jest odtworzenie realistycznych i metrycznych trójwymiarowych modeli obiektów o złożonej geometrii i teksturze (sufity, rzeźby czy elewacje – rys. 6).

Rys. 6. Widok fragmentu sufitu kościoła po nałożeniu tekstury zdjęcia

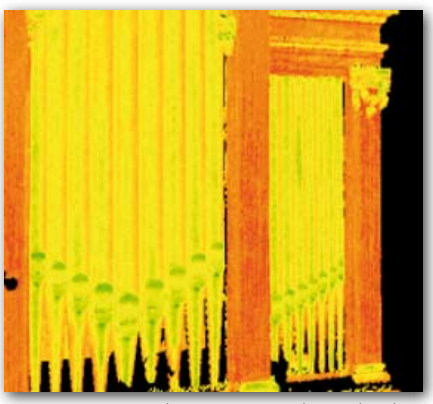


Rys. 7. Różne modele relacji i rejestracji danych na podstawie skaningu laserowego i kamery cyfrowej

Przedstawienie tekstury obiektu poprzez integrację danych ze skanera i kamery wymaga szczególnego podejścia do zagadnienia orientacji skanów. W procesie rejestracji pomiarów laserowych i danych obrazowych wykorzystywany jest algorytm wyodrębniający i wyszukujący obiekty homologiczne na obu zobrazowaniach i przeprowadzający między nimi transformację. Integracja tych dwóch sposobów pozyskania danych może odbywać się w dwóch kierunkach: dane laserowe do obrazu (np. podczas generowania ortofoto) i obraz do danych ze skaningu (tworzenie realistycznych siatek na podstawie chmury punktów i przypisanych do nich kolorów pikseli z obrazu, rys. 7).



Rys. 8. Fragment polichromii ramy obrazu przedstawiony w tonacji intensywności odbicia skanera



Rys. 9. Fragment skanu organów kościelnych

W naszych pracach do teksturowania wykorzystaliśmy zdjęcia pochodzące z zewnętrznej kamery cyfrowej Kodak DCS 14n Pro z matrycą o wymiarach 4500 x 3000 pikseli i obiektywem o stałej ogniskowej 24 mm. Proces został przeprowadzony z wykorzystaniem 7 punktów homologicznych obrazu i skanu. Jego dokładność określa błąd średni wpasowania, który w tym przypadku wyniósł 0,84 piksela. Wykonanie takich opracowań przydaje się przy pracach konserwatorskich szczególnie wtedy, gdy w dokumentacji potrzebne jest również przedstawienie fresków.

NAJLEPSZA METODA INWENTARYZACJI

W Polsce metoda skaningu laserowego jest stosowana dopiero od kilku lat. Nie ulega wątpliwości, że z uwagi na czas i dokładność realizacji, jest to najlepsza metoda inwentaryzacji obiektów architektonicznych. Szybkość skanowania na poziomie kilkudziesięciu tysięcy punktów na sekundę jest wystarczająca do tego typu prac. Z takich pomiarów można wykonać różnego rodzaju analizy. Impulsowa zasada działania skanera Leica ScanStation 2 pozwala pozyskiwać dane niemożliwe do zarejestrowania przez instrument fazowy (np. elementy polichromii czy obrazy – rys. 8, 9). Mogą one posłużyć do oceny zniszczeń i stanowić podstawowy materiał dokumentacyjny.

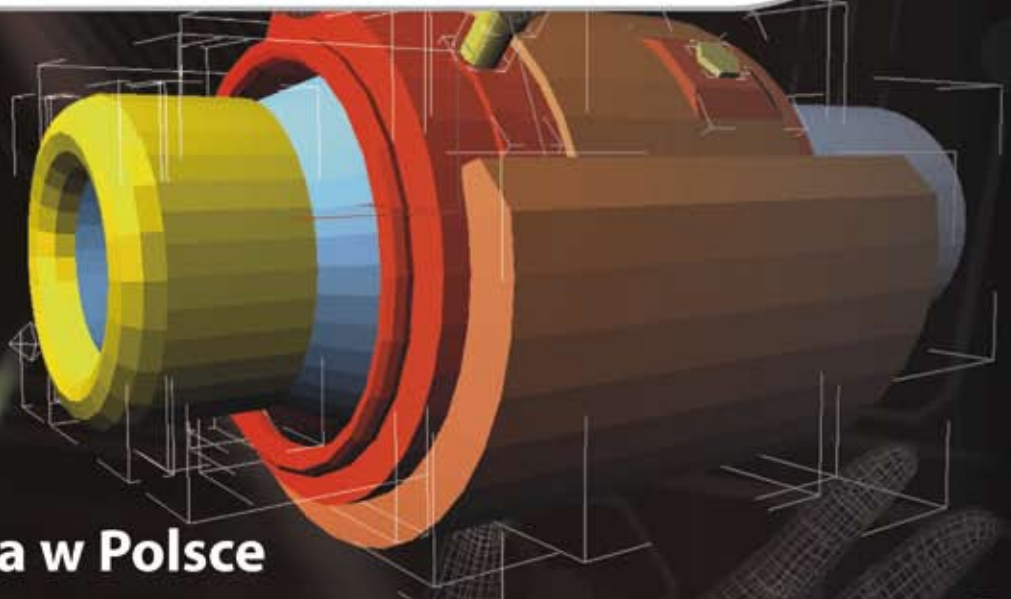
DR INŻ. MICHAŁ KĘDZIERSKI,
adiunkt, mkedzierski@wat.edu.pl
DR INŻ. PIOTR WALCZYKOWSKI,
adiunkt, pwalczykowski@wat.edu.pl
ANNA FRYŚKOWSKA,
asystentka, afryskowska@wat.edu.pl
Katedra Teledetekcji i Geoinformatyki WAT

www.wirtotechnologia.pl

21 – 23 października 2008

WIRTOTECHNOLOGIA

Międzynarodowe Targi Metod i Narzędzi do Wirtualizacji Procesów



Pierwsza w Polsce specjalistyczna wystawa systemów inżynierskich

Główna tematyka Targów

- skanery laserowe 3D
- systemy HDS
- Rapid Prototyping
- rzeczywistość wirtualna
- systemy ERP, MRP, PLM
- programy z grupy CAD, CAM, CAE
- biura projektowe

Wirtualna Technologia – Realny Biznes

Kontakt
Robert Torka – Menedżer Projektu
tel. 032 78 87 512, fax 032 78 87 526, tel. kom. 510 031 697
e-mail: wirtotechnologia@kolporter.com.pl
www.wirtotechnologia.pl

Adres do korespondencji
Expo Silesia – Kolporter EXPO
Sosnowiec, ul. Braci Mieroszewskich 124
www.exposilesia.pl

Współpraca merytoryczna

Organizator
KOLPORTER EXPO

Patronat Honorowy
prof. dr hab. Michał Kleiber
Prezes Polskiej Akademii Nauk

Miejsce ekspozycji
expo silesia

Główny Patron Medialny
decyzje-IT.pl

Główny Patron Internetowy
3D CAD.pl SOFTVo.pl

Partnerzy Medialni

APLIKACJA PHIDI

Jednym z programów wykorzystujących dane naziemnego skaningu laserowego do opracowań inwentaryzacyjnych jest Phidias niemieckiej firmy PHOCAD. Niewątpliwie twórcy tego narzędzia chcieli nawiązać do kunsztu Fidiasza. Czy przywoływanie starożytnego mistrza rzeźby jest jednak uzasadnione?

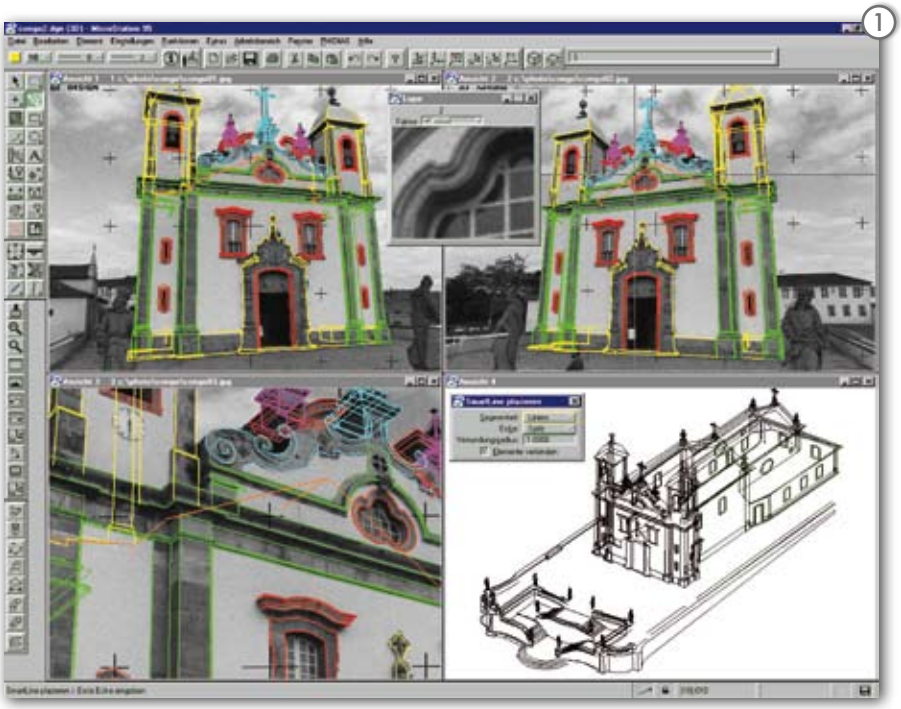
JERZY TURKIEWICZ

Phidias to potężna aplikacja fotogrametryczna osadzona w CAD-owskim systemie MicroStation, przeznaczona głównie do realizacji zadań z dziedziny fotogrametrii „bliskiego zasięgu". Na rynku komercyjnym dostępnych jest wiele wersji tego oprogramowania, różniących się między sobą paletą dostępnych funkcji. Najbardziej rozbudowany jest Phidias MS (Multi-image evaluation System, czyli system opracowujący wiele zdjęć). Jest on przeznaczony do realizacji wszechstronnych zadań mierniczych bez ograniczeń związanych z wielkością czy złożonością obiektu. Co istotne, dostępna jest opcja łączenia poprzez superimpozycję zdjęć i chmur punktów zarejestrowanych skanerem laserowym. Bezpośrednio do aplikacji można wczytać chmury punktów zapisane w formacie skanerów firmy Riegl (3DD), pozostałe formaty trzeba zaimportować pośrednio, najpierw eksportując oryginalną chmurę punktów do formatu ASCII (XYZ, ASC). Pliki ASCII mogą zawierać dodatkowe informacje o punktach, tj. intensywność bądź wartość RGB.

Aplikacja jest przeznaczona do pomiaru dwuwymiarowych lub trójwymiarowych obiektów w MicroStation. Wszystkie istotne funkcje dotyczące zadań mierniczych wykonywanych metodami fotogrametrycznymi – począwszy od rektyfikacji zdjęć poprzez wyrównanie metodą niezależnych wiązek po przetwarzanie danych – są bezpośrednio dostępne w środowisku CAD. Aplikacja pracuje z większością formatów zapisu zdjęć, które można wczytać jednocześnie nawet do ośmiu okien MicroStation. Zaletą takiego opracowania zdjęć jest możliwość swobodnego korzystania z funkcji CAD-owskich (np. kopiowanie, odbicie lustrzane) w celu uzyskania najwierniejszego geometrycznie modelu mierzonego obiektu, a także przyspieszenie i bardziej efektywna realizacja projektu. Dzięki wyświetleniu zdigitalizowanych elementów na tle zdjęć użytkownik może natychmiast ocenić kompletność wykonanej digitalizacji, a przede wszystkim poprawność geometrii skomplikowanych obiektów 3D (rys. 1). Do digitalizacji obiektu mogą posłużyć oprócz funkcji liniowych również funkcje powierzchniowe i przestrzenne, dzięki którym wykonanie i późniejsza analiza przekrojów znajdzie się w „zasięgu ręki".

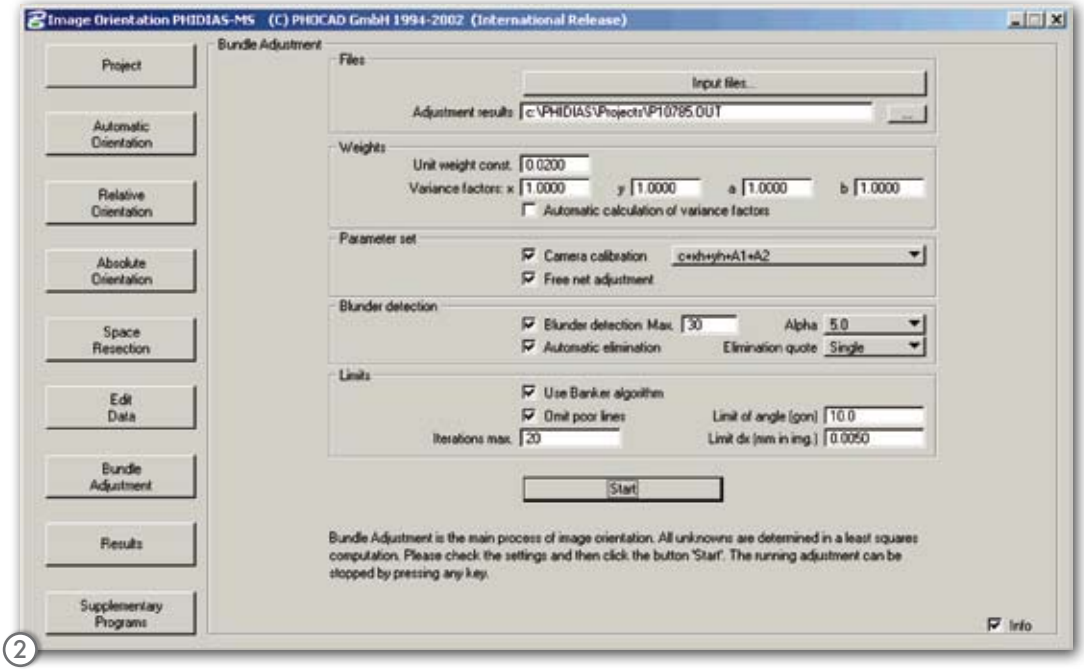
Phidias MS współpracuje jedynie ze zdjęciami w postaci cyfrowej. Jeżeli zdjęcie wykonane jest aparatem analogowym, to musi zostać zeskanowane. Należy pamiętać, że każda z metod ma swoje zalety i wady. Na etapie orientacji zewnętrznej zdjęć Phidias oferuje możliwość wyznaczenia orientacji wewnętrznej kamery, czyli tzw. kalibracji kamery (tj. stałej kamery, punktu głównego oraz parametrów dystorsji). W przypadku aparatów cyfrowych z najwyższej półki musimy liczyć się z ich bardzo wysoką ceną, ale w zamian otrzymujemy pewność co do porównywalnej bądź tej samej wielkości parametrów dystorsji obiektywu jak w aparatach analogowych. Natomiast stabilność geometryczna matrycy aparatu cyfrowego jest bardziej wiarygodna niż stabilność geometryczna negatywu ze względu na podwójną możliwość degradacji tego ostatniego (podczas procesu wywoływania i przechowywania negatywu bądź podczas jego skanowania). Omawiana aplikacja w kwestii orientacji wewnętrznej pomoże nam jedynie usunąć błędy wynikające z niepoprawnej parametryzacji obiektywu.

Moduł orientacji w aplikacji Phidias jest niezwykle rozbudowany i opiera się na klasycznej matematycznej rekonstrukcji środków rzutów zdjęć. W fotogrametrii stosuje się dwa rozwiązania: w przypadku wielu zdjęć – metodę niezależnych wią-



1

AS



2

zek bądź orientację wzajemną i absolutną, w przypadku pojedynczych zdjęć – metodę wcięcia wstecz.

Interfejs modułu orientacji został stworzony przejrzyście, tak by użytkownik nie miał wątpliwości, którą z metod wybiera, a cały proces wyrównania został podzielony na etapy (rys. 2). W oknie modułu znajdują się przyciski odpowiadające za: definicję projektu (podanie ścieżek do plików z kalibracją kamery, pomierzonymi obserwacjami na zdjęciach, współrzędnymi punktów kontrolnych), edycję danych (parametry kalibracji kamery, współrzędne punktów kontrolnych), a także za poszczególne metody orientacji oraz stopień ich automatyzacji.

Orientacja automatyczna (*Automatic Orientation*) wykonuje wszelkie obliczenia samodzielnie, a od użytkownika wymaga jedynie akceptacji poszczególnych etapów wyrównania.

Pozostałe metody orientacji wymagają interakcji ze strony operatora i określenia parametrów odpowiadających za dokładność (np. nadania obserwacjom wag) i wiarygodność orientacji (np. wykrywania błędów grubych i ich eliminacji; określenia liczby iteracji, po których algorytm ma przerwać wyrównywanie obserwacji czy wyznaczenia parametrów orientacji zewnętrznej bez punktów kontrolnych).

Orientacja wzajemna i absolutna (*Relative Orientation* i *Absolute Orientation*) to jeden ze sposobów orientacji co najmniej dwóch zdjęć odbywający się w dwóch etapach, natomiast orientacja metodą niezależnych wiązek (*Bundle Block Adjustment)* odbywa się w jednym etapie. Z kolei wcięcie wstecz (*Space Resection*) odpowiada za orientację pojedynczych zdjęć.

Po pomyślnie zakończonej orientacji użytkownik dysponuje szczegółowym raportem na temat wszystkich niezbędnych parametrów i ich dokładności, co pozwala ostatecznie ocenić jakość i wiarygodność wyznaczenia parametrów orientacji zewnętrznej środków rzutów, a następnie przesłać wyniki do głównego modułu aplikacji. Do oryginalnych i innowacyjnych ciekawostek modułu orientacji należy zaliczyć możliwość uwzględnienia wśród „punktów" kontrolnych obiektów liniowych. Złożoność fotogrametrycznej orientacji zdjęć i rozwiązania zastosowane w aplikacji obszernie tłumaczy oddzielna instrukcja obsługi.

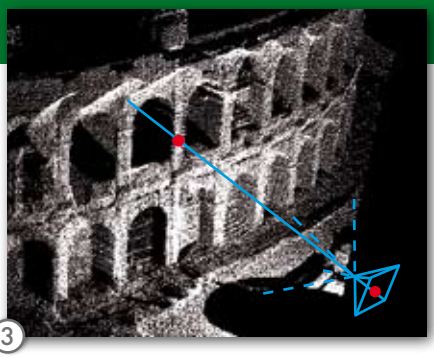
Po wykonaniu poprawnej georeferencji zdjęć możemy przystąpić do digitalizacji elementów szkieletowych obiektu. W aplikacji Phidias pomiary fotogrametryczne w większości przypadków oparte są na monoskopowej lokalizacji odpowiadających sobie punktów na zdjęciach o wspólnym pokryciu. Współrzędne punktu wyznaczane są przy wykorzystaniu metody wcięcia w przód, czyli miejsca przecięcia promieni homologicznych. Takie rozwiązanie determinuje sekwencyjny pomiar punktów szkieletowych obiektu na kolejnych zdjęciach, gdzie dany punkt jest widoczny. Możliwość lokalizacji takiego punktu aż na 8 zdjęciach jednocześnie (8 obserwacji) powinna w zupełności wystarczyć do osiągnięcia założonych wymagań dokładnościowych.

Proces digitalizacji udoskonalono, wprowadzając wiele dodatkowych narzędzi usprawniających lokalizację skomplikowanych elementów obiektu. Dotyczy to elementów, którym można przypisać geometryczne zależności, takich jak: linie proste krawędzi obiektu, łuki wygenerowane z okręgów, cylindryczne czy sferyczne powierzchnie aproksymujące. Funkcje te znajdują szczególne zastosowanie podczas opracowywania obiektów przemysłowych, gdzie elementy o nieskomplikowanych strukturach geometrycznych (rury, zbiorniki) występują w znacznych ilościach. Dzięki temu możliwe stało się mierzenie także elementów niewidocznych na zdjęciach.

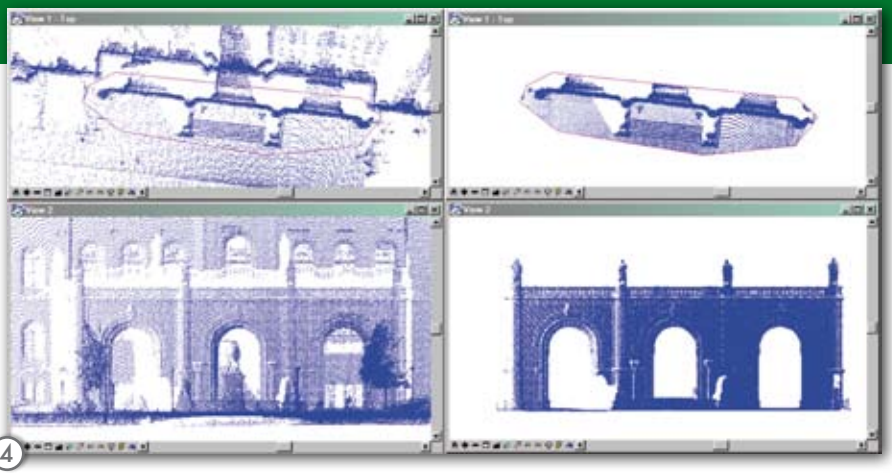
Co więcej, znając geometrię płaszczyzny, możemy zdefiniować ją jako płaszczyznę odniesienia dla dalej mierzonych elementów (już metodą monoskopową), co również w znaczący sposób przyspiesza proces digitalizacji (np. pomiar okien na płaszczyźnie ściany). Dzięki wyżej zaprezentowanym rozwiązaniom metody fotogrametryczne mogą zostać zastąpione „zależnościami geometrycznymi".

Dla uzyskania jeszcze bardziej wiarygodnych rezultatów zależności geometryczne mogą zostać poddane uzupełniającym procesom obliczeniowym, którymi sterują funkcje homogenizacyjne. Poprzez homogenizację rozumiemy graficzny proces obliczeniowy, w którym zakładamy, że digitalizacja metodami fotogrametrycznymi posiada ograniczoną dokładność i dlatego zostaje ona przeliczona w geometrycznie poprawny rysunek. Oznacza to, że ograniczeniem dla metod fotogrametrycznych jest bezpośrednie uzyskanie podczas procesu digitalizacji dokładnie równoległych czy prostopadłych odpowiadających sobie elementów modelu (równoległe ściany modelu czy identyczna średnica tej samej rury dla jej oddzielnie digitalizowanych odcinków).

W aplikacji Phidias znajdują się odpowiednie funkcje dla interaktywnej homogenizacji modelu powstałego metodami fotogrametrycznymi. Wszystkie działania odbywają się w środowisku MicroStation pod kontrolą użytkownika zatwierdzającego zmiany. Pomijając sposób wykonania i jego nadzoru, funkcje homogenizacyjne nie różnią się niczym od podstawowych funkcji edycji, takich jak przeniesienie czy kopiowanie.



3



4

Wszystkie omówione zalety aplikacji Phidias wskazują na jej wyjątkową skuteczność i efektywność jako narzędzia fotogrametrycznego w realizacji projektów dokumentacyjnych. Do tej pory nie skonfrontowano jednak tradycyjnych metod fotogrametrycznych z rosnącą konkurencją ze strony nowej technologii pomiarowej, którą jest naziemny skaning laserowy – technologii rewolucjonizującej nie tylko pomiary inwentaryzacyjne.

Naziemny skaning laserowy umożliwia natychmiastowe pozyskanie milionów punktów 3D poprzez automatyczne zeskanowanie obszaru pomiarowego przy bardzo dużej prędkości. W otrzymanej gęstej chmurze punktów zeskanowane obiekty są łatwo identyfikowalne, umożliwiając wygenerowanie 3D modeli o szczegółowości nieosiągalnej dla tradycyjnych technologii w rozsądnych ramach czasowych.

Zarówno w fotogrametrii, jak i w skaningu laserowym odpowiednio zdjęcia i chmury punktów muszą zostać poddane interpretacji. Na zdjęciach punkty takie zostają wyznaczone z przecięcia promieni homologicznych (metoda wcięcia w przód), natomiast w chmurach punktów wpasowuje się elementy geometryczne, takie jak linie czy płaszczyzny, w poszczególne sekcje skanów. W rezultacie granice i punkty charakterystyczne wylicza się z przecięć sąsiadujących elementów geometrycznych.

Unikatowość rozwiązania zastosowana w aplikacji Phidias polega na możliwości wykonania jednoczesnej interpretacji zdjęć i chmur punktów, co znacząco wpływa na lepsze wyniki rekonstrukcji, zwiększając wiarygodność i kompletność opracowania. Funkcję wyświetlenia zdjęć na tle chmury punktów nazwano superimpozycją.

W kwestii georeferencji zdjęć i chmur punktów program wymaga, aby chmura punktów była przetransformowana do układu współrzędnych, względem którego wyznaczane są parametry orientacji zewnętrznej zdjęć. Superimpozycja jest realizowana poprzez przecięcie powierzchni pojedynczego zdjęcia zorientowanego w przestrzeni metodą wcięcia wstecz z powierzchnią chmury punktów. W ten sposób opracowanie jest wykonywane na pojedynczych zdjęciach i unika się żmudnego ustalania orientacji zewnętrznej większej liczby zdjęć, co ma miejsce w typowych zadaniach fotogrametrycznych. Tak więc, dysponując chmurą punktów danego obiektu, można wyznaczyć bezpośrednio jego współrzędne przestrzenne (rys. 3).

Analiza chmury punktów przysparza podczas opracowania wielu utrudnień związanych z odpowiednią metodyką zarządzania tak dużą ilością danych. Do niedawna zbiory tych danych, niejednokrotnie składające się z co najmniej kilku chmur punktów, nie mogły być poddane opracowaniu ze względu na ograniczenia programów co do liczby wprowadzanych obiektów. Ograniczenia te korespondowały z niewystarczającymi mocami obliczeniowymi stacji cyfrowych. Obecnie chmury punktów nie posiadają statusu standardowych punktów w programach CAD-owskich, można je natomiast wyświetlać i wykorzystywać do przeprowadzanych analiz. Oczywiście, istnieją narzędzia przekształcające chmury punktów w standardowe obiekty punktowe, ale jak wskazuje praktyka, rozwiązanie to stosuje się tylko dla wybranych grup punktów.

W aplikacji Phidias zarządzanie danymi ze skaningu laserowego zostało przypisane grupie narzędzi *Scanner Data Viewing*. Do najważniejszych poleceń należy określenie parametrów opracowywanej chmury punktów:

- ograniczenia w wyświetlaniu liczby punktów,
- aktywacja funkcji *Surface Lock* odpowiedzialnej za obliczenie współrzędnych punktu, powstałego w wyniku przecięcia chmury punktów z promieniem zdjęcia,
- opcja interpolacji odpowiadająca za matematyczny sposób obliczenia współrzędnych punktu, powstałego w wyniku przecięcia chmury punktów z promieniem zdjęcia,
- *Max. length Triangulation* – określający maksymalną długość boku w nieregularnej sieci triangulacji TIN.

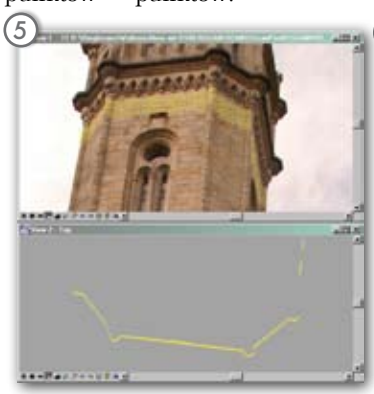
Podczas analizy chmur punktów zaleca się (czasami jest to niezbędne) „przycinanie" chmur punktów do aktualnie analizowanych fragmentów (rys. 4). Działania te prowadzą do sprawniejszego poruszania się w chmurze punktów, niewyświetlania elementów przysłaniających aktualnie opracowywany fragment, lepszego rozeznania w topologii opracowywanego fragmentu.

Innym narzędziem usprawniającym analizę chmur punktów jest *Modyfikacja głębi wyświetlania*. Wyświetlane dane ograniczone są do wąskich przestrzennych korytarzy, wyraźnie ukazując geometrię obiektu (rys. 5).

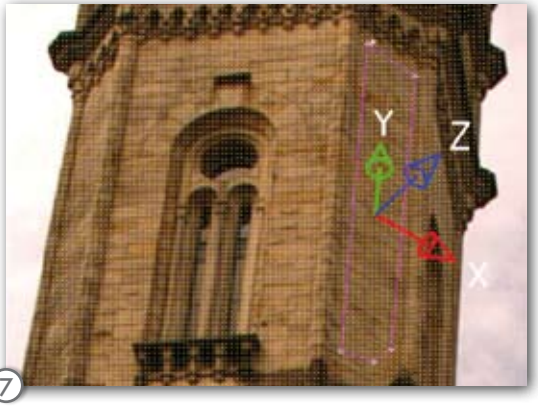
Modelowanie danych ze skaningu laserowego w aplikacji Phidias przypisano grupie narzędzi *Scanner Data Modelling*:

- *Surface Lock* jest jedną z najważniejszych funkcji analizujących jednocześnie chmury punktów i zdjęcia. Po aktywowaniu tej funkcji, każdy pomiar wykonany na zdjęciu spowoduje obliczenie współrzędnych trójwymiarowych

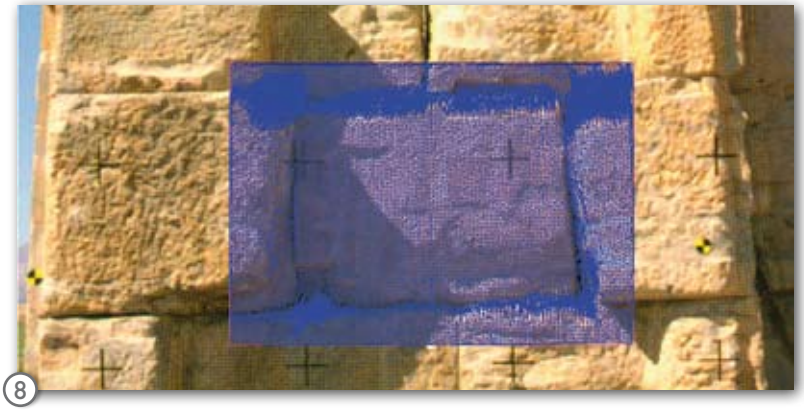
5



6



7



8

nowego punktu, leżącego na chmurze. W ten sposób, wykorzystując metodę pomiaru monoplottingowego na pojedynczym zdjęciu, otrzymamy punkt 3D. Sposób obliczenia współrzędnych punktu determinują algorytmy interpolacyjne zdefiniowane w grupie narzędzi *Scanner Data Viewing*. Po dezaktywowaniu funkcji *Surface Lock* ponownie dostępne są standardowe pomiary fotogrametryczne (pomiar na co najmniej dwóch zdjęciach w obszarze wspólnego pokrycia).

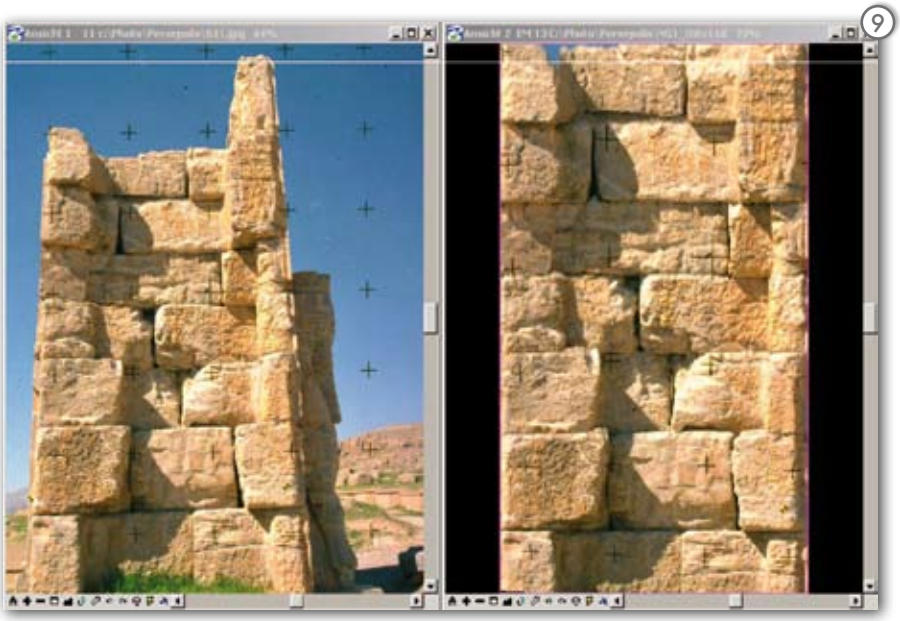
● Graficzne modelowanie obiektów, takich jak: walec, stożek czy kula, zarejestrowanych skanerem laserowym może być wspomagane przez odpowiednie funkcje matematyczne (rys. 6). Osiągane rezultaty odznaczają się wysoką dokładnością ze względu na wykorzystanie w procesie tworzenia modelu metod wyrównawczych opartych na wielu punktach tworzących te obiekty.

● *Pomocnicze układy współrzędnych (ACS – Auxiliary Coordinate System)* mogą być indywidualnie definiowane w rysunku MicroStation ze względu na unikalne zadania rysunkowe. Definicja układu ACS umiejscowionego na chmurze punktów za pomocą narzędzi MicroStation nie jest skomplikowana. Płaszczyzna XY układu ACS zostaje bardzo dokładnie wpasowana w płaską powierzchnię chmury punktów (rys. 7).

● *Nieregularna sieć triangulacji (TIN)* to striangulowana chmura punktów aproksymująca powierzchnię obiektu (rys. 8). Fragment chmury przeznaczony do utworzenia powierzchni TIN należy przygotować szczególnie starannie z uwzględnieniem odpowiedniej wartości parametru odpowiadającego za maksymalną długość boku trójkąta zależną od rozdzielczości przestrzennej chmury punktów.

● *Ortofotografia* należy do podstawowych produktów fotogrametrycznych. Zdjęcia, z których wykonuje się ortofotografię, muszą najpierw zostać poddane procesowi ortorektyfikacji, czyli posiadać na całej swej powierzchni jednolitą skalę, nieobarczoną wpływem orientacji zewnętrznej i amorficzności powierzchni obiektu. Od momentu wykorzystania do pomiarów skanerów laserowych dysponujemy precyzyjnymi danymi o charakterze powierzchni obiektu, umożliwiając tym samym automatyczne generowanie *Ortofotografii bliskiego zasięgu* (rys. 9).

Dominującym problemem podczas rekonstrukcji szkieletowego modelu obiektu są „martwe" pola, które jako pozbawione jakichkolwiek danych, najczęściej przyczyniają się do niepoprawnej digitalizacji konturów obiektu. Również w przypadku błędnie wyznaczonej orientacji skanu względem zdjęć kreślone elementy nie mogą zostać poprawnie „osadzone" w chmurze punktów, gdyż algorytm wiążący wskazanie kursora ze znajdującymi się w bliskiej odległości punktami skanu zwiąże wskazanie kursora z punktami należącymi do sąsiedniego detalu obiektu. Aplikacja Phidias umożliwia wyeliminowanie problemu „martwych" pól za pomocą standardowych opracowań fotogrametrycznych, ale jedynie w przypadku wypełnienia tych pól zdjęciami z odpowiednim wspólnym pokryciem.



9

Podsumowując, aplikacja Phidias w pełni zasługuje na miano Fidiasza naszych czasów za dostosowanie możliwości software'owych do istniejących na rynku rozwiązań hardware'owych. Dzięki wsparciu nowoczesnej technologii laserowej możliwe jest wykonanie dokumentacji szczegółowych i skomplikowanych obiektów z rezultatami uzyskiwanymi dotychczas w bardzo czasochłonnych opracowaniach. Do największych atutów aplikacji należy jej wkomponowanie w znaną większości użytkowników architekturę środowiska CAD-owskiego, umożliwiającą wykorzystanie bogatej palety narzędzi rysowania i edycji do wymodelowania najdrobniejszych detali obiektu ograniczonych rozdzielczością przestrzenną zdjęć i skanów. Ponadto aplikacja oferuje bogate możliwości georeferencji, choć ubolewać należy, że tylko zdjęć, gdyż wspólna orientacja z danymi laserowymi mogłaby wpłynąć na jeszcze większą spójność i wiarygodność rezultatów opracowania. Nie należy natomiast przeceniać możliwości generowania modelu TIN, a na jego podstawie ortofotografii, gdyż uzyskanie tego podstawowego produktu fotogrametrycznego odbywa się w praktyce automatycznie w momencie wyznaczenia orientacji zdjęć (cyfrowy model powierzchni obiektu zapewnia nam wczytana chmura punktów).

JERZY TURKIEWICZ

Materiały źródłowe: www.phocad.de

TOPCON GPT-9000 IS

PREMIERA

Pachnąca jeszcze świeżością seria GPT-9000 IS należy do topconowej grupy rozwiązań imaging – połączenia w tachimetrze klasycznych metod pomiaru oraz cyfrowej technologii obrazowania. Zaowocowało to m.in. możliwością włączenia do aplikacji TopSURV funkcji skanowania.

Rozwój tego typu produktów zapoczątkowała seria tachimetrów GPT-7000i, której instrumenty wyposażone były w kamery cyfrowe, pozwalające wykonywać zdjęcia mierzonym obiektom. Jak na rok 2005 pomysł był innowacyjny, ale chyba przyjęty przez rynek polski dość ostrożnie, z dozą niedowierzania w skuteczność takiego mariażu technologii. Kolejne lata prac rozwojowych zaowocowały nowym produktem – można go nazwać fototachimetrem wideo – serią GPT-9000 IS o dwóch dokładnościach (1 i 3˝). Instrumenty te to nic innego, jak rozbudowana o kamerę cyfrową i system autofokusa wersja wypuszczonych niedawno na rynek zmotoryzowanych tachimetrów bezlustrowych GPT-9000A. Ściśle rzecz ujmując, kamery są dwie, obie o rozdzielczości 1,3 megapiksela (4-krotnie więcej niż w serii GPT -7000i). Jedna szerokokątna (pole widzenia ok. 30°) umieszczona w górnej części lunety (służy do poglądowego wyświetlania całej sceny), a druga – zainstalowana bezpośrednio w lunecie na wspólnej z tachimetrem osi celowej (wykorzystywana do wykonywania zbliżeń mierzonego obiektu, 30-krotny zoom). Praca z kamerami wspomagana jest systemem autofokusa, który dopasowuje ogniskową na podstawie kontrastu obrazów i wstępnie pomierzonej odległości.

Zasada działania powyższego zestawu urządzeń zainstalowanych w tachimetrze jest dość prosta. Do obsługi wizualnej Topcona zastosowano rozbudowaną wersję aplikacji TopSURV, której nazwę rozszerzono o symbol IS. Obraz z jednej bądź drugiej kamery przekazywany jest bezpośrednio na ekran tachimetru (z prędkością 15 klatek/s) i stanowi on substytut tradycyjnej optycznej lunety. Mało tego, mamy tu pełną interaktywność, po wskazaniu bowiem obiektu na ekranie instrument sam się na niego wcelowuje i wykonuje pomiar. Jednak w całym pomyśle nie chodzi raczej o zastępowanie lunety „elektronicznym" okiem, a raczej o dodanie kolejnych informacji wizualnych, które ułatwią pracę w terenie. Może zostać także użyty jako elektroniczny szkic polowy, na którym pomierzone obiekty wyświetlają się na tle obrazu przekazywanego na żywo w postaci punktów czy linii. Dzięki temu operator ma ciągły podgląd wykonanej pracy. W dowolnym momencie jest w stanie zapisać ujęcie jako plik JPG i posłużyć się nim jako dokumentacją pomiarową dla zleceniodawcy prac. Jakby tego było mało, obie kamery są skalibrowane i obrazy przez nie zarejestrowane mogą być z powodzeniem wykorzystywane w systemach fotogrametrii naziemnej bliskiego zasięgu (np. w znanym PI-3000, który w najbliż-

Marka	Topcon	
Model	**GPT-9000 IS**	
Dokładność pomiaru kąta	1˝	3˝
Kompensator - zakres/dokładność	6´/1˝	
Luneta - powiększenie/średnica	30x/45 mm	
Minimalna ogniskowa	1,3 m	
Dokładność pomiaru odległości z lustrem	2 mm + 2 ppm	
Dokładność pomiaru odległości bez lustra	5, 10 + 10 (>250 m)	
Maks. zasięg przy jednym lustrze	4000 m	
Maks. zasięg pomiaru bez lustra	2000 m	
Maksymalna prędkość skanowania	25 pkt/s	
Maksymalny zasięg skanowania	250 m	
Ekran i klawiatura	320 x 240 pikseli, kolorowy, dotykowy, 25 klawiszy, podświetlana, Windows Mobile	
Karta pamięci	CompactFlash	
Porty komunikacyjne	RS-232, 2 x USB	
Czas pracy na baterii wewnętrznej	4 h	
Waga instrumentu	ok. 6 kg z baterią	
Norma pyło- i wodoszczelności	IP54	
Temperatura pracy	od -20 do +50°C	
Wyposażenie	tachimetr, waliza transportowa, 2 baterie, okablowanie, ładowarka, oprogramowanie, rysik, folia ochronna	
Gwarancja	24	
Cena netto [zł]	nieustalona	
Dystrybutor	TPI Sp. z o.o.	

szym czasie zostanie zastąpiony nowym narzędziem Image Master).

Obok kamer zamontowanych w lunecie instrumenty GPT-9000 IS zostały wyposażone w zmodernizowane serwomotory. Inżynierowie zdecydowanie zwiększyli ich prędkość. Przełożyło się to bezpośrednio na szybkość procesu skanowania. Opisywany instrument potrafi teraz wyznaczać współrzędne punktów z szybkością nawet 20 pkt/s, jeśli nie przekroczymy odległości 250 m (dokładność 5 mm). Powyżej tego zasięgu bezlustrowy dalmierz przełącza się w tryb Long, wydłuża się czas pomiaru odległości, a tym samym spada nieznacznie wydajność samego skaningu. Ale za to pomiar ten można wykonać nawet w odległości 2000 m od obiektu!

Rozbudowane oprogramowanie sterujące TopSURV IS obsługuje dwa tryby skanowania. Pierwszy – to tradycyjny pomiar siatkowy, w którym użytkownik definiuje obszar pomiaru i jego rozdzielczość (przez podanie liczby wierszy i kolumn lub całkowitej liczby punktów w skanie). Drugi – to rozwiązanie unikalne wśród zmotoryzowanych tachimetrów – inteligentny system pomiaru charakterystycznych punktów obiektu (krawędzi, załamań, narożników itp.). W tym trybie użytkownik także podaje obszar do zeskanowania, ale to tachimetr sam rozpoznaje punkty charakterystyczne, które najlepiej opisują dany obiekt. Skanowanie w tym trybie trwa trochę dłużej niż tradycyjny pomiar siatkowy. Geodeta może zdefiniować obszar skanowania tradycyjnie (poprzez ręczny pomiar dwóch przeciwległych rogów prostokąta definiującego), albo – co stanowi pełne wykorzystanie zamontowanych kamer – wskazać go na dotykowym ekranie z obrazem z kamery.

Pomierzona chmura punktów zostaje wyświetlona na ekranie tachimetru na tle obrazu z jednej z kamer. Chmura punktów (wektorowa) i zdjęcie (rastrowe) mogą być łącznie wyeksportowane do różnych formatów, by następnie zostać poddanym obróbce już jako łączny model z teksturą nałożoną ze zdjęcia z tachimetru. Plik w postaci ASCII może też trafić do aplikacji Topcon Image Master (tej samej, która towarzyszy skanerowi GLS-1000 – patrz s. 20, ale w konfiguracji podstawowej). Po zainstalowaniu na pececie jest narzędziem do wstępnej obróbki chmur punktów.

Żeby fakt zamontowania kamer wykorzystać 100-procentowo, cały proces obsługi pomiarów tachimetrem może odbywać się zdalnie. I to na dwa sposoby. Geodeta z odległości do 100 m wydaje komendy instrumentowi poprzez zainstalowane na laptopie oprogramowanie Image Master, korzystając z komunikacji bezprzewodowej Wi-Fi. Alternatywnie można wyposażyć się w zewnętrzny rejestrator (np. Topcon FC-2200) z oprogramowaniem TopSURV IS i modułem radiomodemu. W tachimetrze także musi być zainstalowany radiomodem. Taki sposób komunikacji pozwala na odejście od stanowiska nawet na odległość 1000 metrów. W obu przypadkach na ekran laptopa i kontrolera przekazywany jest na żywo widok z kamer tachimetru. Tutaj obraz jest także interaktywny – można np. wykonać jednoosobowo pomiar pikiet, wskazując na ekranie położenie lustra. Mimo że szybkość wyświetlania spada nieznacznie do 10 klatek/s, obraz wciąż jest płynny i nieobarczony żadnymi przeskokami.

Topcon GPT-9000 IS ma jednego bezpośredniego konkurenta. Jest nim Trimble VX. Oba technologicznie bardzo podobne. Oba wychodzące przed szereg w rozwiązaniach konstrukcyjnych. Oba innowacyjne. Oba unikatowe. Oba oczekujące na klientów w Polsce.

MAREK PUDŁO

WOLNIEJSZY TEŻ DAJE RADĘ

Czasami nie warto wydawać worka pieniędzy na skaner laserowy 3D, bo do pewnych celów pomiarowych w zupełności wystarczy klasyczny tachimetr z funkcją skanowania.

Iwcale nie jest to bezużyteczna proteza, jak mogliby przekonywać zagorzali zwolennicy profesjonalnych instrumentów skanujących. Fakt, tachimetr nigdy nie dorówna prędkością pomiaru skanerowi, bo najszybszy potrafi mierzyć zaledwie 30 pkt/s. Jak marnie wygląda ta wartość w zestawieniu z 500 000 pkt! Jednak w terenie jest mnóstwo sytuacji, kiedy nie trzeba od razu wyciągać najcięższych dział, a funkcja skanowania może przyspieszyć i ułatwić realizację zlecenia. Wystarczy sobie wyobrazić, o ile skróci się czas wyznaczenia kształtu i precyzyjnego obliczenia objętości hałdy przy użyciu automatycznego skanowania w porównaniu z manualnym celowaniem i zapisywaniem pomiaru tachimetrycznego.

Oczywiście funkcja skanowania dostępna jest tylko w instrumentach zmotoryzowanych. Serwomotory muszą poruszać zarówno kołem poziomym, jak i pionowym. To właściwie od ich szybkości w dużej mierze zależy sprawność całego urządzenia. Drugą oczywistością jest dalmierz bezlustrowy. Z definicji skanowanie jest czynnością, którą wykonuje się w celu zautomatyzowania pomiaru, a obecność pomiarowego biegającego z lustrem przeczy tej idei. Zasięg dalmierza, jego moc i dokładność są, podobnie jak prędkość serwomotorów, parametrami decydującymi o poprawności końcowego efektu pracy. Trzecia oczywistość to oprogramowanie operacyjne w tachimetrze rozszerzone o funkcje skanowania. Bez niego skanowanie w ogóle nie byłoby możliwe.

Trzeba też zwrócić uwagę na ciekawą prawidłowość. Tachimetry skanują obszar w poziomie, linijka po linijce, przesuwając głowicę z lewa do prawa. Dlaczego? Otóż okazuje się, że dwuosiowy kompensator w tachimetrze szybciej reaguje na zakłócenia położenia koła poziomego niż pionowego. Dzięki temu pomiar jest stabilniejszy i przez to dokładniejszy.

W zestawieniu na kolejnych stronach znalazły się tylko takie instrumenty, które posiadają „prawdziwą" funkcję skanowania, tzn. taką, gdzie możliwy jest pomiar rzeczywistego kształtu obiektu. Nie ma wśród nich np. sprzętu Leiki, ponieważ szwajcarskie tachimetry realizują pomiar skanowania, ale tylko w jednej płaszczyźnie (np. na płaskiej ścianie). Nie znajdziemy też Sokkii, która ma w ofercie odpowiedni instrument, ale nie został jeszcze przygotowany do niego software wewnętrzny do obsługi skanowania.

W najprostszych tachimetrach skanujących prostokątny obszar do pomiaru ustala się poprzez wskazanie dwóch rogów po przekątnej. Oprogramowanie sterujące w tachimetrze pozwala zdefiniować podstawowe parametry pracy, czyli określić liczbę punktów w skanie, maksymalny odstęp liniowy pomiędzy punktami czy oczekiwaną dokładność bezlustrowego pomiaru odległości. System przeważnie przelicza ogólną liczbę punktów i podaje przewidywany czas zakończenia skanowania. Tachimetry skanujące należące do tej grupy mierzą z bardzo małą prędkością kilku punktów na sekundę.

Druga grupa tachimetrów – bardzo skromna, bo licząca jak na razie dwa modele (Topcon GPT-9000 IS – opis. na s. 44 i Trimble VX) – to sprzęt z wbudowanymi kamerami wideo. Praca nimi przy skanowaniu jest o wiele przyjemniejsza. Po pierwsze, dlatego, że już wstępny etap określenia obiektu do skanowania nie musi odbywać się przez wskazywanie narożników „w naturze", tylko bezpośrednio na obrazie. Po drugie, okno skanowania nie musi być prostokątem, może być obszarem nieregularnym. Po trzecie, chmura punktów wyświetlana jest na ekranie monitora na tle obrazu i może być na bieżąco kontrolowana pod kątem poprawności. Po czwarte, sprzęt ten można obsługiwaać zdalnie, nie tracąc wizualnej kontroli pomiaru. Po piąte, oprogramowanie sterujące jest bardziej rozbudowane i pozwala jeszcze więcej „wyciągnąć" z serwomotorów. Na przykład wspomniany Topcon ma funkcję automatycznego skaningu charakterystycznych elementów obiektu (załamań, krawędzi, narożników). Trimble z kolei może pochwalić się zdolnością wykonywania panoramicznych zdjęć mierzonego obiektu.

Jeśli chodzi o oprogramowanie do obróbki danych z tachimetru, można zastosować dwa podejścia. W przypadku pomiaru wykonanego „zwykłym" tachimetrem dane podlegają takim samym procedurom opracowania jak tradycyjne pikiety. Dużo więcej możliwości daje zarejestrowanie pikiet z równoczesnym wykonaniem zdjęć cyfrowych. Topcon dla najnowszej wersji swoich tachimetrów IS opracował oprogramowanie Image Master, które pozwala łączyć chmury punktów ze zdjęciami w jednym pliku, wykonywać przeróżne analizy i pomiary. Z kolei dane z Trimble'a VX są wykorzystywane w aplikacji RealWorks Survey. Oba narzędzia są wspólnymi platformami dla danych pochodzących zarówno z tachimetrów skanujących, jak i skanerów 3D, które są w ofercie Topcona i Trimble'a.

OPRACOWANIE REDAKCJI

TACHIMETRY SKANUJĄCE

MARKA	Topcon	Topcon	Topcon
MODEL	**GPT-9000A**	**GPT-9003M**	**GPT-9000 IS** (opis na s. 44)
ROK WPROWADZENIA NA RYNEK	2007	2007	2008
POMIAR KĄTÓW – METODA POMIARU	absolutna	absolutna	absolutna
dokładność [˝]	1/3/5	3	1/3
najmniejsza wyświetlana jednostka [˝]	0,5/1/1	1	0,5/1
kompensator, dokładność, zakres	dwuosiowy, 1˝, 6´	dwuosiowy, 1˝, 6´	dwuosiowy, 1˝, 6´
luneta – powiększenie, średnica [mm]	30x, 45	30x, 45	30x, 45
minimalna ogniskowa [m]	1,3	1,3	1,3
POMIAR ODLEGŁOŚCI – METODA POMIARU	impulsowa/fazowa	impulsowa/fazowa	impulsowa/fazowa
Dokładność [mm + ppm]			
z lustrem	2 + 2	2 + 2	2 + 2
z tarczka celowniczą	2 + 2	2 + 2	2 + 2
bez lustra	5, 10 + 10 (>250 m)	5, 10 + 10 (>250 m)	5, 10 + 10 (>250 m)
Zasięg [m]			
z lustrem	4000	4000	4000
z tarczką celowniczą	brak danych	brak danych	brak danych
bez lustra	2000	2000	2000
Czas [s]			
w trybie dokładnym (inicjalny)	1,2	1,2	1,2
w trybie trackingu	0,3	0,3	0,3
Plamka lasera	tak	tak	tak
PRĘDKOŚĆ SKANOWANIA			
maksymalna [pkt/s]	3	3	20
średnia [pkt/s]	1,5	1,5	15
ZASIĘG SKANOWANIA			
minimalny [m]	1,5	1,5	1,5
maksymalny [m]	2000	2000	250
POLE WIDZENIA			
w pionie [°]	125	125	125
w poziomie [°]	360	360	360
sposób wyboru obszaru do skanowania	prostokąt lub na podstawie zdjęcia	prostokąt lub na podstawie zdjęcia	prostokąt lub na podstawie zdjęcia
WYŚWIETLACZ I KLAWIATURA			
jednostronna/dwustronne	jednostronne	jednostronne	dwustronne
rozmiar ekranu	320 x 240	320 x 240	320 x 240
kolorowy/dotykowy	tak/tak	tak/tak	tak/tak
liczba klawiszy	25	25	25
OPROGRAMOWANIE WEWNĘTRZNE			
system operacyjny	Windows CE	Windows CE	Windows CE
aplikacja pomiarowa (nazwa, obsługiwane funkcje skanowania)	**TopSURV** (skanowanie, pomiary geodezyjne)	**TopSURV** (skanowanie, pomiary geodezyjne)	**TopSURV** (skanowanie, pomiary geodezyjne)
REJESTRACJA DANYCH			
pojemność pamięci wewnętrznej [MB]	128	128	brak danych
karta pamięci (typ, pojemność) [MB]	CF	CF	CF
formaty wymiany danych	TXT, DXF, DWG, DGN, inne	TXT, DXF, DWG, DGN, inne	TXT, DXF, DWG, DGN, inne
STANDARDOWE PORTY WEJŚCIA/WYJŚCIA	RS-232, 2 x USB, Bluetooth, radiomodem	RS-232, 2 x USB	RS-232, 2 x USB
ZASILANIE			
rodzaj baterii/czas ciągłej pracy [h]	Li-Ion/4	Li-Ion/4	Li-Ion/4
zasilanie zewnętrzne	tak	tak	tak
INFORMACJE DODATKOWE	opcja śledzenia lustra, łączność Wi-Fi, możliwość zdalnej kontroli z poziomu komputera lub przenośnego kontrolera	brak danych	wbudowana kamera cyfrowa o rozdzielczości 1,3 megapiksela, opcja śledzenia lustra, łączność radiowa 2,4 GHz, możliwość zdalnej kontroli z poziomu komputera lub przenośnego kontrolera
OGÓLNE			
waga [kg]	6	6	6
norma pyło- i wodoszczelności	IP54	IP54	IP54
temperatura pracy [°C]	-20 do +50	-20 do +50	-20 do +50
wyposażenie standardowe	tachimetr, waliza transportowa, 2 baterie, okablowanie, ładowarka, oprogramowanie, rysik, folia ochronna	tachimetr, waliza transportowa, 2 baterie, okablowanie, ładowarka, oprogramowanie, rysik, folia ochronna	tachimetr, waliza transportowa, 2 baterie, okablowanie, ładowarka, oprogramowanie, rysik, folia ochronna
gwarancja [miesiące]	24	24	24
cena netto [zł]	od 79 900	44 900	brak danych
dystrybutor	TPI Sp. z o.o. www.topcon.com.pl	TPI Sp. z o.o. www.topcon.com.pl	TPI Sp. z o.o. www.topcon.com.pl

TACHIMETRY SKANUJĄCE

MARKA	Trimble	Trimble	Trimble	Trimble
MODEL	**5503/5603/5605**	**S6**	**S8 High Precision**	**VX**
ROK WPROWADZENIA NA RYNEK	2002	2005	2007	2007
POMIAR KĄTÓW – METODA POMIARU	absolutna	absolutna	absolutna	absolutna
dokładność [˝]	3/3/5	2/3/5	1	1
najmniejsza wyświetlana jednostka [˝]	0,1	0,1	0,1	0,1
kompensator, dokładność, zakres	dwuosiowy, 0,3˝, 6´	dwuosiowy, 0,3˝, 6´	dwuosiowy, 0,3˝, 6´	dwuosiowy, 0,3˝, 6´
luneta – powiększenie, średnica [mm]	26x (30x opcja), 40	30x, 40	30x, 40	30x, 40
minimalna ogniskowa [m]	0,2	0,2	0,2	0,2
POMIAR ODLEGŁOŚCI – METODA POMIARU	impulsowa	impulsowa	impulsowa	impulsowa
Dokładność [mm + ppm]				
z lustrem	2 + 2, 3 + 3	3 + 2	1 +1	3 + 2
z tarczka celowniczą	3 + 2, 3 + 3	brak danych	brak danych	brak danych
bez lustra	3 + 2, 3 + 3, 5 + 3	3 + 2	3 + 2	3 + 2
Zasięg [m]				
z lustrem	5500	5000	5000	5000
z tarczką celowniczą	1600	1200	1200	1200
bez lustra	800	800	800	800
Czas [s]				
w trybie dokładnym (inicjalny)	2-3	2	2	2
w trybie trackingu	0,4	0,4	0,4	0,4
Plamka lasera	opcja	tak	tak	tak
PRĘDKOŚĆ SKANOWANIA				
maksymalna [pkt/s]	15	30	30	15
średnia [pkt/s]	15	30	30	15
ZASIĘG SKANOWANIA				
minimalny [m]	2	2	2	2
maksymalny [m]	800	800	150	800
POLE WIDZENIA				
w pionie [°]	120	160	160	120
w poziomie [°]	360	360	360	360
sposób wyboru obszaru do skanowania	manualny przez wskazanie	manualny przez wskazanie	manualny przez wskazanie	na obrazie cyfrowym wyświetlanym na ekranie tachimetru
WYŚWIETLACZ I KLAWIATURA				
jednostronna/dwustronne	jednostronne (dwustronne opcja)	dwustronne	dwustronne	dwustronne
rozmiar ekranu	zależnie od klawiatury	320 x 240 pikseli	320 x 240 pikseli	320 x 240 pikseli
kolorowy/dotykowy	tak (w TCU/TSC2)	tak	tak	tak
liczba klawiszy	zależnie od klawiatury	19 + kursor	19 + kursor	19 + kursor
OPROGRAMOWANIE WEWNĘTRZNE				
system operacyjny	Windows CE	Windows CE.NET	Windows CE.NET	Windows CE.NET
aplikacja pomiarowa (nazwa, obsługiwane funkcje skanowania)	**Trimble Survey Controller** (skanowanie, monitoring, pomiary geodezyjne)	**Trimble Survey Controller** (skanowanie, monitoring, pomiary geodezyjne)	**Trimble Survey Controller** (skanowanie, monitoring, pomiary geodezyjne)	**Trimble Survey Controller** (skanowanie, monitoring, pomiary geodezyjne)
REJESTRACJA DANYCH				
pojemność pamięci wewnętrznej [MB]	zależnie od klawiatury	64 MB SDRAM + 256 MB flash	64 MB SDRAM + 256 MB flash	64 MB SDRAM + 256 MB flash
karta pamięci (typ, pojemność) [MB]	opcja	nie	nie	nie
formaty wymiany danych	ASCII	ASCII, DXF, inne	ASCII, DXF, inne	ASCII, DXF, inne
STANDARDOWE PORTY WEJŚCIA/WYJŚCIA	RS-232 (Bluetooth, USB, Ethernet opcja)	RS-232, USB, Bluetooth	RS-232, USB, Bluetooth	RS-232, USB, Bluetooth
ZASILANIE				
rodzaj baterii/czas ciągłej pracy [h]	Ni-MH/3-11	Li-Ion/5	Li-Ion/5	Li-Ion/5
zasilanie zewnętrzne	opcja	opcja	opcja	opcja
INFORMACJE DODATKOWE	serwomotory mechaniczne, leniwki bez końca, opcja robotic	serwomotory magnetyczne, leniwki bez końca, opcja robotic	serwomotory magnetyczne, leniwki bez końca, opcja robotic	wbudowana kamera cyfrowa, możliwość zdalnej obsługi tachimetru za pomocą łącza radiowego i przekaz obrazu na kontroler przy tyczce
OGÓLNE				
waga [kg]	6,6	5,2	5,2	5,2
norma pyło- i wodoszczelności	IP56	IP55	IP55	IP55
temperatura pracy [°C]	-20 do +50	-20 do +50	-20 do +50	-20 do +50
wyposażenie standardowe	tachimetr, bateria, ładowarka, okablowanie	tachimetr, bateria, ładowarka, okablowanie	tachimetr, bateria, ładowarka, okablowanie	tachimetr, bateria, ładowarka, okablowanie
gwarancja [miesiące]	24	12-72	12-72	12-72
cena netto [zł]	od 30 000	od 60 000	od 90 000	od 220 000
dystrybutor	Geotronics Polska Sp. z o.o. www.geotronics.com.pl	Geotronics Polska Sp. z o.o. www.geotronics.com.pl	Geotronics Polska Sp. z o.o. www.geotronics.com.pl	Geotronics Polska Sp. z o.o. www.geotronics.com.pl

LEASING

PROSTY SPOSÓB NA POSIADANIE

Trimble

SOKKIA

Nikon

TOPCON

THALES

SOUTH 南方测绘

Leica Geosystems

PENTAX

ZF Zoller Fröhlich

NASI PRZEDSTAWICIELE

COGIK Sp. z o.o.
02-390 Warszawa, ul. Grójecka 186,
tel. 0-22 824 43 33

IMPEXGEO
05-126 Nieporęt, ul. Platanowa 1,
tel. 0-22 774 70 06, 772 40 50

TPI Sp. z o.o.
00-716 Warszawa, ul. Bartycka 22,
tel. 0-22 632 91 40
Biuro Poznań 60-577 Poznań, ul. Dąbrowskiego 136,
tel. 0-61 665 81 71
Biuro Wrocław 51-162 Wrocław, ul. Boya-Żeleńskiego 69,
tel. 0-71 325 25 15
Biuro Kraków 31-523 Kraków, ul. Kielecka 24/1,
tel. 0-12 411 01 48
Biuro Gdańsk 80-874 Gdańsk, ul. Na Stoku 53/55,
tel./fax 0-58 320 83 23
Biuro Partnerskie 35-064 Rzeszów, ul. Mickiewicza 12,
tel. 0-17 862 02 41

GEOTRONICS POLSKA Sp. z o.o.
31-216 Kraków, ul. Konecznego 10 u,
tel. 0-12 416 16 00

INSTRUMENTY GEODEZYJNE - Tadeusz Nadowski Sp. J.
43-100 Tychy, ul. Rybna 34,
tel. 0-32 227 11 56

GEMAT Przedsiębiorstwo Wielobranżowe
85-063 Bydgoszcz, ul. Zamoyskiego 2a,
tel. 0-52 321 40 82

RB-GEO - Robert Baran
96-100 Skierniewice, ul. Trzcińska 21/23,
tel. 0-46 835 90 73

CZERSKI TRADE POLSKA Ltd.
02-087 Warszawa, Al. Niepodległości 219,
tel. 0-22 825 43 65

GEOMATIX Sp. z o.o.
40-084 Katowice, ul. Opolska 1,
tel. 0-32 781 51 38

MAXI GEO - Krzysztof Lewandowski
10-467 Olsztyn, ul. Sprzętowa 3,
tel. 0-89 532 00 51

IMS Polska - Innowacyjne Systemy Pomiarowe
31-444 Kraków, ul. Śliczna 34,
tel. 0-12 397 76 76, kom. 608 318131

IGI - Inżynieryjna Grupa Inwestycyjna - Anna Kurasiewicz
56-400 Oleśnica, Ligota Wielka 20,
tel. 0-71 398 86 93

Leica Geosystems Sp. z o.o.
04-041 Warszawa, ul. Ostrobramska 101A,
tel. 0-22 338 15 00

INS Sp. z o.o.
32-080 Zabierzów, ul. Leśna 24A,
tel. 0-12 258 31 58

PROSSPER - Paweł Chrzanowski
64-800 Chodzież, ul. Strzelecka12,
tel. 504 164 772, fax 0-61 641 77 73

GEOPRYZMAT
05-090 Raszyn, ul. Wesoła 6 Rybie,
tel. 0-22 720 28 44, www.geopryzmat.com

GEO LEASING

03-204 Warszawa, ul. Łabiszyńska 25
tel. (0-22) 614 38 31; fax (0-22) 675 96 31
www.geoleasing.pl; leasing@geoleasing.pl

mapa firm
www.geofirma.pl

LABORATORIUM SKANOWANIA I MODELOWANIA 3D

Uruchomione w 2007 roku Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D powstało przy Instytucie Historii Architektury, Sztuki i Techniki (Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej) dzięki grantowi UE. Bazuje ono na dwóch technologiach: High Definition Surveying (HDS) będącej domeną Leica Geosystems oraz Building Information Modeling (BIM) propagowanej przez Bentley Systems.

JACEK KOŚCIUK

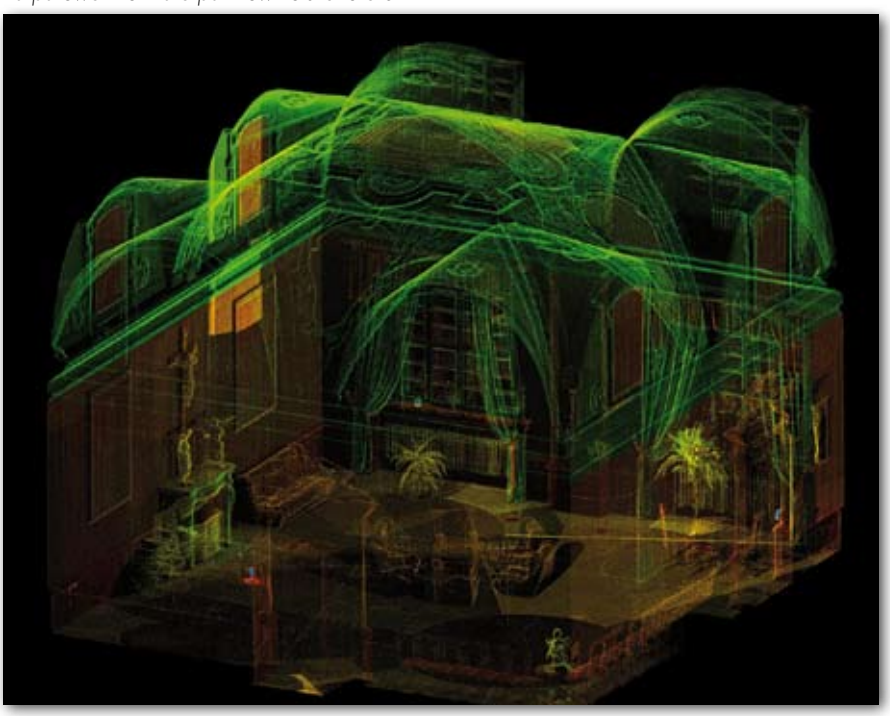
Jeszcze we wczesnych latach 70. ubiegłego stulecia Instytut, kierowany wówczas przez prof. Jerzego Rozpędowskiego, korzystał często z zaawansowanych opracowań geodezyjnych. Współpracowano z Katedrą Geodezji i Fotogrametrii AR we Wrocławiu (dziś Uniwersytet Przyrodniczy) oraz Pracownią Fotogrametrii Okręgowego Przedsiębiorstwa Geodezyjno-Kartograficznego we Wrocławiu. Jedyna dostępna wtedy technologia fotogrametrii analogowej, wymagająca zarówno specjalistycznego sprzętu, jak i profesjonalnej wiedzy fotogrametrycznej, nie pozwalała na bezpośrednie zastosowanie tych rozwiązań przez pracowników instytutu (architektów, archeologów i historyków sztuki). Takie możliwości zarysowały się dopiero w momencie pojawienia się komputerów osobistych i specjalistycznego oprogramowania.

DO ZAAWANSOWANYCH OPRACOWAŃ

Pierwsze tego typu opracowania wykonywane w Instytucie bazowały na rozwiązaniach przeniesionych z wrocławskiej firmy ARCHIKON s.c. Na początku lat 90., korzystając z technologii Bentley MicroStation, wykonała ona kilka opracowań (z perspektywy ponad 10 lat można je ocenić jako niezwykle prymitywne) próbujących połączyć trzy elementy: inwentaryzację i modelowanie 3D, ortofoto (a właściwie jego namiastkę w postaci fotomozaiki) oraz projektowanie 3D. Szczególnie pomocne były tu doświadczenia ARCHIKON-u wyniesione z inwentaryzacji Katedry Wrocławskiej św. Jana Chrzciciela dla potrzeb wpisu na Listę Światowego Dziedzictwa oraz inwentaryzacji i odbudowy Synagogi pod Białym Bocianem we Wrocławiu. Właśnie ten ostatni projekt był źródłem cennych doświadczeń z zastosowań współczesnego oprogramowania w działalności architektoniczno-konserwatorskiej.

Innowacyjne (jak na tamte czasy) pomysły zaowocowały nawet nominacją projektu odbudowy synagogi do amerykańskiej nagrody Proactive Engineering Award. W jego ramach pomierzono za pomocą tachimetru elektronicznego kilka tysięcy charakterystycznych punktów oraz wykonano kilkaset zdjęć cyfrowych elewacji, detalu architektonicznego i zachowanych fragmentów stałego wyposażenia. Pomiary tak dużej liczby elementów dały w efekcie rodzaj „chmury punktów" (bardzo ubogiej w porównaniu do dzisiejszych chmur ze skanowania 3D), która posłużyła do stworzenia modelu 3D w oprogramowaniu Bentley Triforma. Model stanowił wyjściowe dane do projektowania, które odbywało się także w przestrzeni 3D. Tradycyjne rysunki płaskie (rzuty, elewacje i przekroje), a także dokumentacja przedmiarowa generowana była automatycznie z modelu, w którym oprócz danych geometrycznych osadzone były także informacje bazodanowe (rodzaje użytych materiałów budowlanych, technologii itp.). Zdjęcia cyfrowe wraz ze współrzędnymi przestrzennymi charakterystycznych punktów posłużyły z kolei do szczegółowych opracowań płaskich. Po usunięciu skrótów perspektywicznych tworzono z nich fotomozaikę, którą następnie wektoryzowano w trybie ekranowym.

Rys. 1. Fragment inwentaryzacji barokowego zespołu pocysterskiego w Henrykowie. Tzw. Sala Purpurowa – chmura punktów ze skanera 3D



Rys. 2. Inwentaryzacja więźby dachowej barokowego zespołu pocysterskiego w Henrykowie – chmura punktów ze skanera 3D

LABORATORIUM ŚWIADCZY USŁUGI SKANOWANIA I MODELOWANIA 3D

- **Drogownictwo i budownictwo cywilne** – pozyskiwanie danych i tworzenie cyfrowych modeli DTM stanowiących podstawę do projektowania i inwentaryzacji obiektów inżynierskich; inwentaryzacja dróg i linii kolejowych, węzłów drogowych, mostów i wiaduktów, tuneli, obiektów hydrotechnicznych.
- **Przemysł przetwórczy, chemiczny i petrochemiczny** – inwentaryzacja i modelowanie 3D skomplikowanych instalacji;
- **Przemysł wydobywczy** – inwentaryzacja i modelowanie 3D (w tym DTM) odkrywek, hałd, szybów, komór podziemnych.
- **Budownictwo** – inwentaryzacja istniejących konstrukcji w przypadku ich remontów lub komputerowych symulacji wytrzymałościowych.
- **Konserwacja zabytków i archeologia** – szybka inwentaryzacja skomplikowanych zabytków i stanowisk archeologicznych dla potrzeb badań, dokumentacji archiwalnej czy dokumentacji projektowej.
- **Planowanie przestrzenne i zarządzanie zespołami urbanistycznymi** – technologia skanowania 3D jest obecnie jednym z najbardziej efektywnych czasowo i ekonomicznie narzędzi pozyskania danych potrzebnych do generowania trójwymiarowych modeli miast i osiedli.
- **Zarządzanie kryzysowe** – szybka inwentaryzacja obiektów, które uległy awarii lub z powodu skażenia są niedostępne do bezpośredniego pomiaru.
- **Sektor wojskowy** – pozyskiwanie danych do tworzenia wirtualnego pola bitwy, które na poziomie dowodzenia pozwala na integrację wszystkich rodzajów działań rozpoznawczych i bojowych.

Kontakt z Laboratorium możliwy jest przez e-mail: jacek.kosciuk@pwr.wroc.pl oraz jacek.malanczuk@pwr.wroc.pl.

Z PRAKTYKI DO DYDAKTYKI

Wszystkie te doświadczenia zbiegły się w czasie z utworzeniem na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej specjalizacji Ochrona Zabytków. Instytut stanął przed problemem przygotowania nowoczesnego programu dydaktycznego obejmującego m.in. szeroko rozumianą problematykę inwentaryzacji i dokumentacji obiektów budowlanych. Rola takiego przedmiotu w toku kształcenia architektów – mających w przyszłości zajmować się przede wszystkim istniejącymi budynkami i konstrukcjami – jest oczywista. Opracowanie takiego programu dydaktycznego było tym trudniejsze, iż od wielu lat przedmiot „inwentaryzacja budowlana" nie był, niestety, nauczany na tym wydziale. Brakowało więc nie tylko doświadczeń dydaktycznych, ale i kadry znającej z praktyki współczesne, najbardziej zaawansowane metody inwentaryzacji i dokumentacji. Dzięki szczęśliwym, personalnym powiązaniom z firmą ARCHIKON udało się jednak przenieść do procesu dydaktycznego wszystkie jej praktyczne doświadczenia i stworzyć w ten sposób program dydaktyczny oferujący studentom coś więcej niż zajęcia z „nieśmiertelną parcianą taśmą mierniczą".

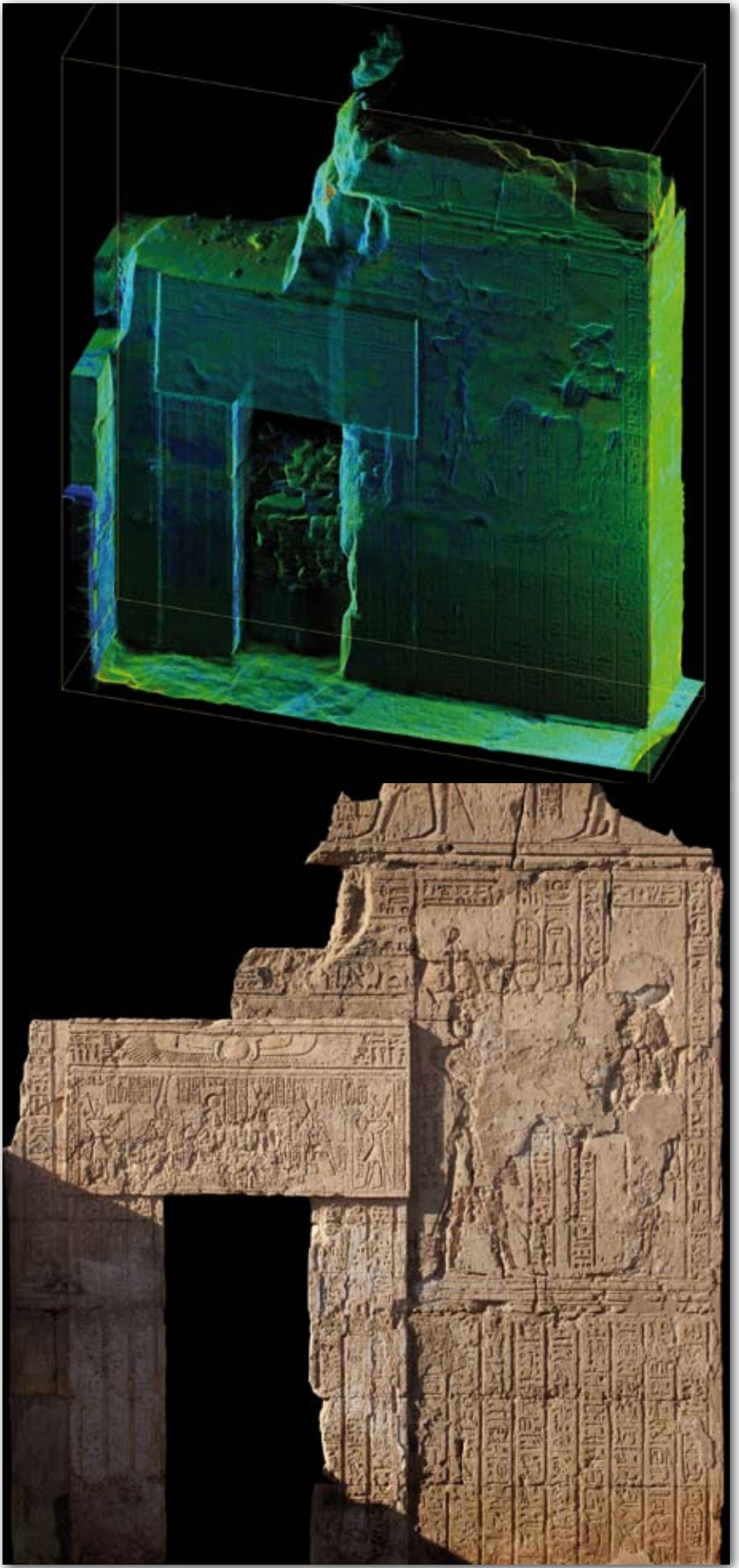
Był to więc w zasadzie proces odwrotny do tego, którego należałoby się spodziewać po ośrodkach akademickich. Poza kształceniem powinny one przecież przekazywać także do praktycznego zastosowania w „przemyśle" najnowocześniejsze technologie i metody. Jednak z perspektywy ponad 10 lat podjętą wówczas decyzję ocenić należy jako jedyną możliwą. Zaowocowała ona wieloma pozytywnymi efektami – przede wszystkim pobudziła na wydziale zainteresowanie nowoczesnymi technologiami inwentaryzacji i projektowania. Wielu pracowników instytutu i studentów wydziału, uczestnicząc w badaniach i projektach prowadzonych w Polsce, a także poza jej granicami, zaczęło z powodzeniem stosować nowe metody. Wymienić tu można dla przykładu badania bloku śródrynkowego we Wrocławiu oraz opracowania Marina El-Alamain i Abû Mînâ w Egipcie czy Nea Paphos na Cyprze.

URUCHOMIENIE LABORATORIUM

W tym czasie pojawiły się na rynku zastosowań komercyjnych pierwsze skanery 3D, a jednocześnie, sprzęt i oprogramowanie do fotogrametrii cyfrowej bliskiego zasięgu, które można by „powierzyć w ręce architektów". Śledząc na bieżąco ten rozwój, szukaliśmy więc sposobu wyposażenia Instytutu w odpowiednie zaplecze sprzętowe i programowe. Taką okazją stał się właśnie grant WKP 1/1.4.2/2/2005/87/168/464 w ramach Sektorowego Programu Operacyjnego Wzrost Konkurencyjności Przemysłu, który pozwolił na stworzenie Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D.

Uruchomione w 2007 r. Laboratorium bazuje na dwóch technologiach: High Definition Surveying (HDS) będącej domeną Leica Geosystems i Building Information Modeling (BIM) propagowanej przez Bentley Systems. Poza niezbędnym parkiem komputerowym i wielkoformatowymi drukarkami HP, sprzętowe zaplecze laboratorium stanowią w tej chwili Leica ScanStation HDS 3000, Leica SmartStation TPS 1203 oraz GPS SmartRover 1200. Jako cyfrowa kamera do celów fotogrametrii bliskiego zasięgu służy nam Fuji FinePix S5 Pro. Do opracowywania wyników pomiarów i modelowania 3D używamy zarówno oprogramowania Leica GeoSystems (Leica GeoOffice i Leica Cyclone), jak i bogatej palety oprogramowania Bentley Systems bazującego na Bentley MicroStation (Bentley Triforma, Bentley Architecture, Bentley

Rys. 3. Model 3D do celów projektowych żelbetowej hali fabrycznej



Rys. 4. Świątynia Repit. Fragment chmury punktów i opracowanie ortofoto

Structural, Bentley CloudWorx i Bentley Descartes). Ten bogaty zestaw oprogramowania uzupełniliśmy dodatkowo aplikacją PHIDIAS (opis na s. 40) do wykonywania opracowań fotogrametrycznych w środowisku MicroStation bazujących zarówno na fotopunktach, jak i na chmurach punktów ze skanerów 3D. W przypadku specyficznych opracowań, zwłaszcza dotyczących pomiarów i modelowania budynków historycznych o bogatych formach wystroju architektonicznego, wykorzystujemy także oprogramowanie JRC 3D Reconstrustor 2.

POCZĄTEK DZIAŁALNOŚCI

W fazie uruchamiania Laboratorium wykonaliśmy też pierwsze opracowania komercyjne: inwentaryzację barokowego zespołu pocysterskiego w Henrykowie (rys. 1) wraz z więźbą dachową (rys. 2), inwentaryzację i model 3D do celów projektowych żelbetowej hali fabrycznej jednego z zakładów przemysłowych we Wrocławiu (rys. 3) oraz ortofoto zachowanych fragmentów świątyni Repit w Athribis w Górnym Egipcie (rys. 4). Każde z tych opracowań podporządkowane było innym celom i przygotowywane w odmienny sposób.

W przypadku więźby klasztoru w Henrykowie była to inwentaryzacja do ekspertyzy stanu technicznego całej konstrukcji ciesielskiej. Istotne więc były wszystkie skręcenia, ugięcia i wyboczenia belek, a także ewentualne zmiany przekroju poprzecznego na długości elementu. Z kolei inwentaryzacja żelbetowej hali fabrycznej przygotowywana była dla potrzeb stosunkowo skomplikowanego projektu instalacji przemysłowej, który miał być w całości opracowywany w 3D. W tym przypadku, właśnie ze względu na wymagania projektowe, poszczególne elementy (ściany, podłogi, belki) reprezentowane były w sposób idealizowany, tzn. z pominięciem lokalnych odkształceń od idealnej płaszczyzny, prostopadłościanu, cylindra itp.

Celem ostatniego z wymienionych projektów – opracowania ortofoto zachowanych reliktów świątyni Repit – było przygotowanie dokumentacji stanu istniejącego, a jednocześnie pozyskanie danych do teoretycznej rekonstrukcji niemal zupełnie zrujnowanej budowli. Istotna więc była nie tylko wysoka rozdzielczość uzyskanych obrazów ortofoto (nie gorsza niż 0,5 mm), ale i ich dokładna lokalizacja przestrzenna ze średnim błędem położenia punktu nie gorszym niż 4 mm. Opracowanie wykonano za pomocą kombinowanej metody, wykorzystując przygotowaną przez kolegów z Uniwer-

sytetu w Bochum chmurę punktów ze skanera 3D jako źródło danych o położeniu przestrzennym każdego z punktów przetwarzanego fotogramu.

OFERTA LABORATORIUM

Laboratorium – powołane zgodnie z założeniami SPO Wzrost Konkurencyjności Przemysłu do świadczenia usług polskim podmiotom gospodarczym – oferuje więc już dziś szeroką gamę opracowań. Ich zakres i charakter przekazywanych danych są zawsze do uzgodnienia z zamawiającym. W najprostszej wersji klient otrzymuje surowe dane, które następnie samodzielnie przetwarza. W przypadku skanowania 3D jest to chmura punktów w formacie IMP. Może towarzyszyć jej opracowanie typu Leica TrueView, na którym, posługując się zwykłą przeglądarką internetową, zamawiający może odczytać na tle panoramicznego zdjęcia współrzędne przestrzenne dowolnych punktów odwzorowanych w chmurze 3D lub też pomierzyć przestrzenne odległości pomiędzy dowolnymi punktami. Współrzędne takie lub konkretne odległości przestrzenne mogą być także eksportowane do plików zewnętrznych w formacie XML. Ta ciekawa technologia, nazywana często wirualnym geodetą (*virtual surveyor*), w praktyce sprowadza się do przeniesienia decyzji co do punktów obiektu podlegających rejestracji z etapu prac terenowych do etapu opracowania kameralnego. Dane zebrane w terenie przy pomocy skanera 3D są w znacznym stopniu nadmiarowe, a dopiero w trakcie ich opracowywania, często zależnie od fazy całego projektu, decyduje się, które zostaną faktycznie użyte.

Kolejną formą oferowanych usług jest możliwość opracowywania wyników pomiarów na stanowiskach komputerowych dostępnych w Laboratorium i konsultacji ze strony personelu. Ten rodzaj usługi może być poprzedzony wstępnym, zazwyczaj 3-dniowym szkoleniem dotyczącym obsługi oprogramowania. Najbardziej zaawansowaną formą współpracy jest kompletne opracowanie wektorowe 3D wraz z wymaganymi rzutami i przekrojami.

Można więc powiedzieć, że historia zatoczyła pełne koło: rozwiązania, których prototypy przejęliśmy w instytucie z obszaru zastosowań praktycznych, dzięki SPO Wzrost Konkurencyjności Przemysłu wracają do praktyki inżynierskiej wzbogacone o najnowsze rozwiązania technologiczne.

JACEK KOŚCIUK
(LabScan 3D, I-12, W-1, PWr)

GDZIE UCZĄ O SKANOWANIU?

Choć skanowanie laserowe jest czynnością łatwą, szybką i dokładną, to jednak wymaga odrobiny wprawy i znajomości pewnych reguł. Wychodząc naprzeciw potrzebom edukacyjnym, na Politechnice Wrocławskiej powołano do życia Centrum Dydaktyczne Skanowania 3D HDS.

Centrum powstało przy Instytucie Historii Architektury, Sztuki i Techniki w ścisłej współpracy z firmą Leica Geosystems, która oferuje szeroki zakres produktów, rozwiązań oraz usług w zakresie technik skanowania HDS. Z kolei pracownicy naukowi wydziału legitymują się sporym doświadczeniem we wdrażaniu takich rozwiązań do procesu dydaktycznego i badawczego.

W ramach działalności Centrum przewiduje się poszerzenie oferty dydaktycznej dla studentów i doktorantów. Techniki skanowania mają być brane pod uwagę przy ustalaniu tematów prac magisterskich i dyplomowych. Oferta skierowana do firm i administracji zawiera dodatkowo kursy i studia podyplomowe, a przede wszystkim organizację wykładów, szkoleń oraz targów i pokazów.

Czym zajmuje się Centrum Dydaktyczne? Wbrew pozorom, nie nauką praktycznego stosowania technologii skanowania 3D w terenie. Od dawna instrumenty pomiarowe są konstruowane z myślą o maksymalnym uproszczeniu obsługi. Wystarczy krótkie szkolenie, by opanować obsługę skanera na poziomie umożliwiającym zrealizowanie pomiaru. Wykładowcy skupiają się bardziej na zagadnieniu planowania pomiaru i dostosowania parametrów pracy urządzenia do potrzeb. Skanowanie w nieprzemyślany sposób zmusi obserwatora do przetworzenia ogromnej ilości nadprogramowych, często zbędnych, danych. Jest to jedna z większych wad technologii skanowania, którą można wyeliminować poprzez odpowiedni dobór sposobu działania. Jeszcze większy problem pojawia się po zgromadzeniu kilku czy kilkunastu gigabajtów danych. Sztuką jest ich poprawne przetworzenie i optymalne wykorzystanie.

W Centrum Dydaktycznym dobrze wyposażone laboratorium komputerowe jest więc ważniejsze od samego skanera. Przetwarzanie chmur punktów wymaga bowiem szybkich stacji roboczych z dużą ilością pamięci operacyjnej, pojemnymi macierzami dyskowymi i wydajnymi procesorami. Leica Geosystems dostarczyła licencję sieciową programu Cyclone dla 12 stanowisk i przeszkoliła pracowników zarówno w obsłudze skanera, jak i oprogramowania.

Wszystkie organizowane przez Centrum Dydaktyczne kursy są skierowane do przedsiębiorstw oraz administracji publicznej. Na trzydniowym szkoleniu podstawowym słuchacze mogą m.in. zapoznać się z techniką skanowania, poćwiczyć łączenie chmur punktów pozyskanych z kilku stanowisk pomiarowych czy zaznajomić się ze specyfiką zastosowań skanera w różnych dziedzinach.

Kurs rozszerzony trwa od pięciu do dziesięciu dni. Poza tematyką szkolenia podstawowego obejmuje zagadnienia obróbki pozyskanych danych. Uczestnicy trenują wstawianie obiektów wektorowych w chmurę punktów (płaszczyzn, prostych, cylindrów, wycinków sfery, automatyczne rozpoznawanie narożników prostopadłościanu), modelowanie konstrukcji stalowych (profile walcowane i instalacje rurowe), śledzenie krawędzi, modelowanie powierzchni siatką typu mesh, generowanie przekrojów czy obliczenia objętości.

W zależności od zapotrzebowania Centrum przygotowuje kilkudniowe kursy dotyczące wybranych aspektów modelowania z ukierunkowaniem na potrzeby różnych branż. Przede wszystkim z zakresu opracowań inwentaryzacji architektonicznych (generowanie rzutów i przekrojów budowli), opracowań fotogrametrycznych naziemnych z wykorzystaniem chmur punktów do generowania ortofotografii obiektów lub tworzenia numerycznych modeli terenu (wraz z przekrojami) na potrzeby inwestycji drogowych.

JACEK MAŁAŃCZUK
Kontakt z Centrum Dydaktycznym:
jacek.malanczuk@pwr.wroc.pl
oraz jacek.kosciuk@pwr.wroc.pl.

TOPCON
It's time.

- Cyfrowy fototachimetr
- Tachimetr skanujący
- Bezlustrowość do 2000 m
- Automatyczny pomiar charakterystycznych punktów obiektu

IS Imaging Station

CAPTURE REALITY

LONG RANGE TECHNOLOGY

graft-werbeagentur.de

TPI Sp. z o.o. · ul. Bartycka 22 · 00-716 Warszawa
tel. (0 22) 632 91 40 · faks (0 22) 862 43 09 · tpi@topcon.com.pl

IS Imaging Station

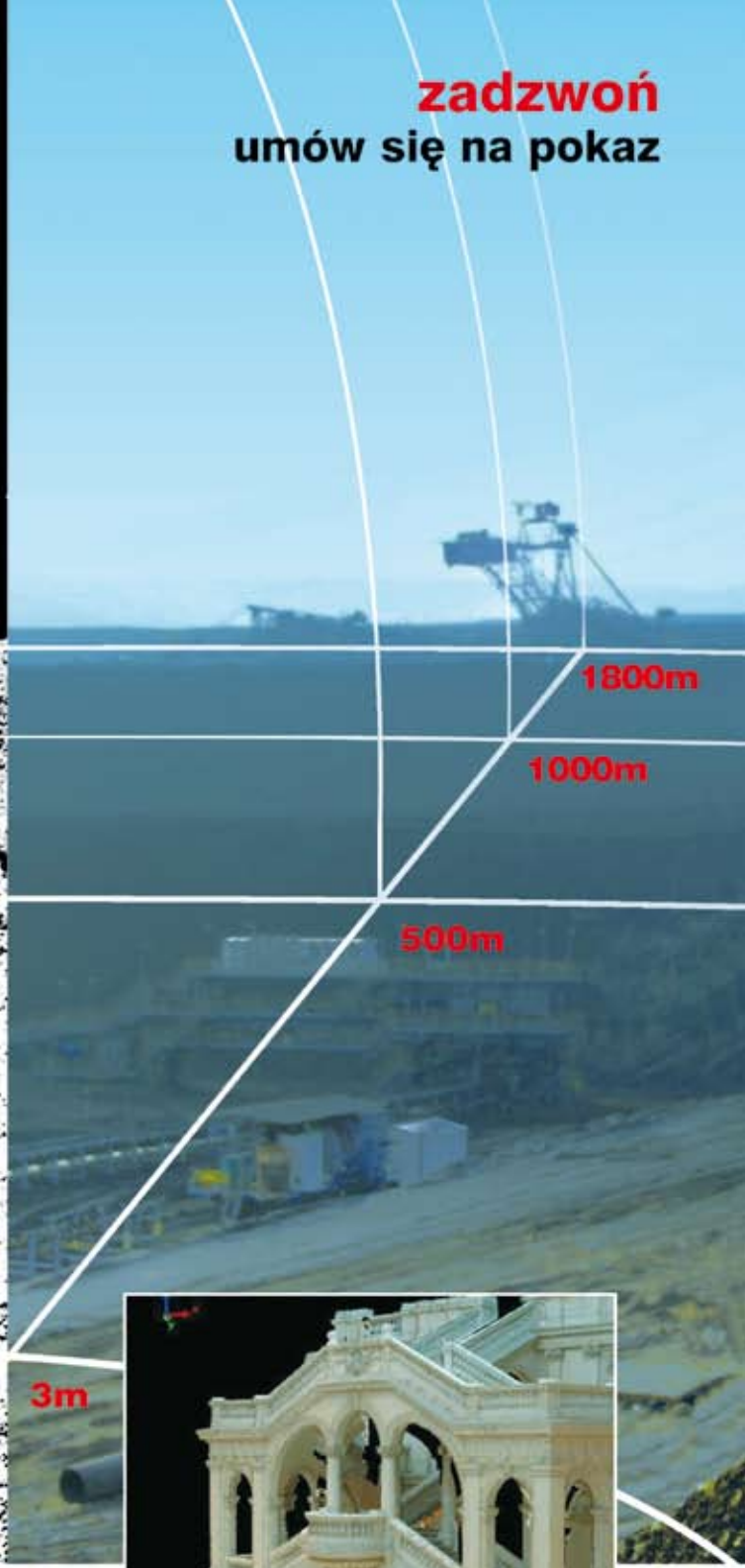
Tylko od Topcona, światowego lidera w produkcji cyfrowych fototachimetrów.

www.topcon.com.pl

ILRIS 3D

Uniwersalny skaner Ilris 3_6-D^{ER} do wszystkich zastosowań.

Zasięg od 3 do 1800 metrów.



- Najnowocześniejsza technologia
- Pełne wsparcie techniczne
- 80 lat doświadczenia

OPTECH - światowy lider w skanerach laserowych

CZERSKI
SINCE 1928

Wyłączne Przedstawicielstwo w Polsce firmy OPTECH Inc. (Industrial & 3D Imaging)
Czerski Trade Polska Ltd (Biuro Handlowe)
MGR INŻ. ZBIGNIEW CZERSKI Naprawa Przyrządów Optycznych (Serwis Techniczny)
Al. Niepodległości 219, 02-087 Warszawa, tel. (0-22) 825 43 65, fax (0-22) 825 06 04
e-mail: ctp@czerski.com

Optech