

Tachimetr skanujący Trimble VX DR PLUS w inwentaryzacji zabytkowych obiektów geotechnicznych

# OD OGÓŁU DO SZCZEGÓŁU

Coraz częściej inwentaryzację i monitoring skomplikowanych obiektów geotechnicznych realizuje się w ramach tzw. pomiarów zintegrowanych. Stanowią one połączenie wielu nowoczesnych technologii pomiarowych, m.in.: skaningu laserowego, obserwacji GPS-RTK oraz tachimetrii elektronicznej wykorzystującej zrobotyzowane stacje z opcją śledzenia sygnałów aktywnych.

RAFAŁ GAWAŁKIEWICZ

Kopce i kurhany zalicza się do grupy obiektów o antropogenicznej, stożkowej formie ukształtowania powierzchni i szczególnym znaczeniu historycznym. Pełniły one niegdyś rozmaite funkcje: kultowe (miejsca pochówku), obronne, obserwacyjne, symboliczne (jako pamiątki ważnych wydarzeń historycznych lub dla pośmiertnego upamiętnienia określonych osób) czy też katastralne (wyznaczające granice określonych ziem lub wsi). Obiekty te, zbudowane zazwyczaj z mieszaniny gruntów o różnych właściwościach fizyczno-mechanicznych i chemicznych, charakteryzujących się różną wytrzymałością i odkształcalnością, są szczególnie narażone na poważne uszkodzenia lub zniszczenie na skutek zmiennych warunków atmosferycznych. Intensywne i długotrwałe opady niszczą trwałość budowli, uruchamiając procesy erozyjne i osuwiskowe (spełzwanie zboczy).

Stąd też w myśl rozporządzenia ministra środowiska z 3 października 2005 r.

*w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie (DzU nr 201, poz. 1673) istnieje konieczność tworzenia dokumentacji geologiczno-inżynierskiej, w skład której wchodzi m.in. kartograficzne opracowania geodezyjne w skalach od 1:500 do 1:2000, mapy przeglądowe sporządzane zazwyczaj na podkładach map topograficznych z naniesioną lokalizacją obiektu badań, linii przekrojów geologiczno-inżynierskich i otworów badawczych (§ 17). Niekorzystna lokalizacja obiektów, brak osnowy poziomej i wysokościowej, zakres opracowania i jego uszczegółowienie sprawiają, że wykonanie pełnej dokumentacji kartograficznej, często wzbogaconej o elementy architektoniczno-budowlane, wymaga zastosowania różnorodnych technologii pomiarowych.*

## • TRZY W JEDNYM

Wychodząc naprzeciw tego typu potrzebom, firma Trimble udostępniła zespołom geodezyjnym doskonałe narzędzie pomiarowe złożone z tachimetru skanującego Trimble VX DR PLUS Spatial

Station oraz odbiornika GPS-RTK Trimble R8 wspólnie zarządzanych drogą radiową z poziomu kontrolera Trimble TSC3. Wykorzystanie takiego zestawu (rys. 1) jest uzasadnione ekonomicznie, a zakres prac może być realizowany jednoosobowo. Oprogramowanie Trimble Access umożliwia jednoczesną rejestrację danych tachimetrycznych oraz GNSS, zwiększając przez to wiarygodność wyników pomiaru. Użytkownik dostosowuje wybór trybu pomiarowego do warunków terenowych. W sytuacjach przysłonięć reflektora przez przeszkody (brak wizury) możliwe jest płynne przełączenie na pomiar satelitarny GNSS.

W praktyce ogranicza to liczbę punktów osnowy pomiarowej (punktów posiłkowych, bagnetów, punktów dogęszczających ciągi poligonowe) i tym samym zwiększa produktywność zespołu pomiarowego. Przykładem pełnej inwentaryzacji geodezyjnej i architektoniczno-budowlanej zrealizowanej zestawem VX – R8 – TSC3 jest przedstawiony dalej pomiar Kopca Niepodległości im. Józefa Piłsudskiego położonego na Sowińcu w Krakowie.

## • CHARAKTERYSTYKA ZESTAWU POMIAROWEGO

Trimble VX DR PLUS Spatial Station łączy możliwości powszechnie stosowanych w geodezji elektronicznych tachimetrów i coraz częściej wykorzystywanych skanerów laserowych. Jego zaletą jest kamera stworzona w technologii VISION, zaczerpnięta z rozwiązań skanujących, wbudowana i zintegrowana z układem kątomierzczym instrumentu. Pozwala ona na wizualizację pola pomiaru na kolorowym ekranie kontrolera Trimble CU tachimetru lub kontrolera zewnętrznego TSC3. Integracja obu modułów umożliwia podgląd szczegółów sytuacyjnych oraz wybór obszaru skanowania bezpośrednio na ekranie kontrolera.

Integracja zdjęć z wewnętrznym układem współrzędnych instrumentu pozwala na wizualizację pikiet na ekranie kontrolera, a tym samym na eliminację braków w danych przy znaczącym skróceniu czasu prowadzenia szkiców polowych. Lokalizacja punktów pomiaru lub obszarów skanowania na dużej wysokości nie zmusza obserwatora do stosowania specjalnych okularów z pryzmatami łamiącymi, gdyż obraz z kamery pojawi się na ekranie nawet po skierowaniu lunety w kierunku zenitalnym i umożliwi zadeklarowanie obszaru automatycznego pomiaru. Opcja

## Tachimetr skanujący Trimble VX DR PLUS Spatial Station

Zakres pomiaru odległości w trybie bezlustrowym	2-1300 m
Dokładność* pomiaru odległości do lustra	±3 mm ±2 ppm
Dokładność* pomiaru odległości bez lustra	±3 mm ±2 ppm
Dokładność* pomiaru odległości w trybie skanowania	±3 mm
Typ dalmierza, klasa lasera, długość fali świetlnej i moc	Impulsowy, klasy 1 (IEC 60825-1), $\lambda = 870 \text{ nm}$ , $\text{moc} < 1 \text{ mW}$
Maksymalna prędkość skanowania	15 pkt/s
Wielkość plamki lasera (Hz x V)	4 x 8 cm/100 m
Średni błąd położenia punktu w przestrzeni	±10 mm
Dokładność pomiaru kątów	1" (3")
Napęd/Prędkość obrotu alidady	Elektromagnetyczny/115°/s
Kompensator/Zakres	Dwuosiowy/±6'
Libella/dokładność	Elektroniczna/0,3"
Kamera Color Digital Image Sensor - rozdzielczość	2048 x 1536 pikseli
Kamera - kątowe pole widzenia/format danych	16,5° x 12,3°/JPEG
Zakres temperatur pracy	-20°C do +50°C
Porty	USB, Serial, Bluetooth 10

\*odchylenie standardowe

## Odbiornik Trimble R8 GNSS

TRYB DGPS	
Dokładność pozioma	±(0,25 m + 1 ppm) RMS
Dokładność pionowa	±(0,50 m + 1 ppm) RMS
TRYB WAAS (stacjonarnie i FastStatic)	
Dokładność pozioma	±(5 mm + 0,5 ppm) RMS
Dokładność pionowa	±(5 mm + 1 ppm) RMS
TRYB RTK	
Dokładność pozioma	±(10 mm + 1 ppm) RMS
Dokładność pionowa	±(20 mm + 1 ppm) RMS
Wiarygodność inicjalizacji	> 99,9%
Odbiór sygnałów/maks. liczba odbieranych satelitów	L2C1 L5/44
Wodoszczelność	IP67 (zanurzenie do głębokości 1 m)
Obsługa sygnałów satelitarnych	GPS L1 (kod C/A), L1/L2/L5 pełny pomiar fazy, GLONASS L1 (kod C/A), L1 P, L2 P, L1/L2 pełny pomiar fazy, Galileo GIOVE-A i GIOVE-B, WAAS/EGNOS
Zakres temperatur pracy	-40°C do +65°C
Sposób komunikacji	Port szeregowy Lemo 7 Port szeregowy RS-232

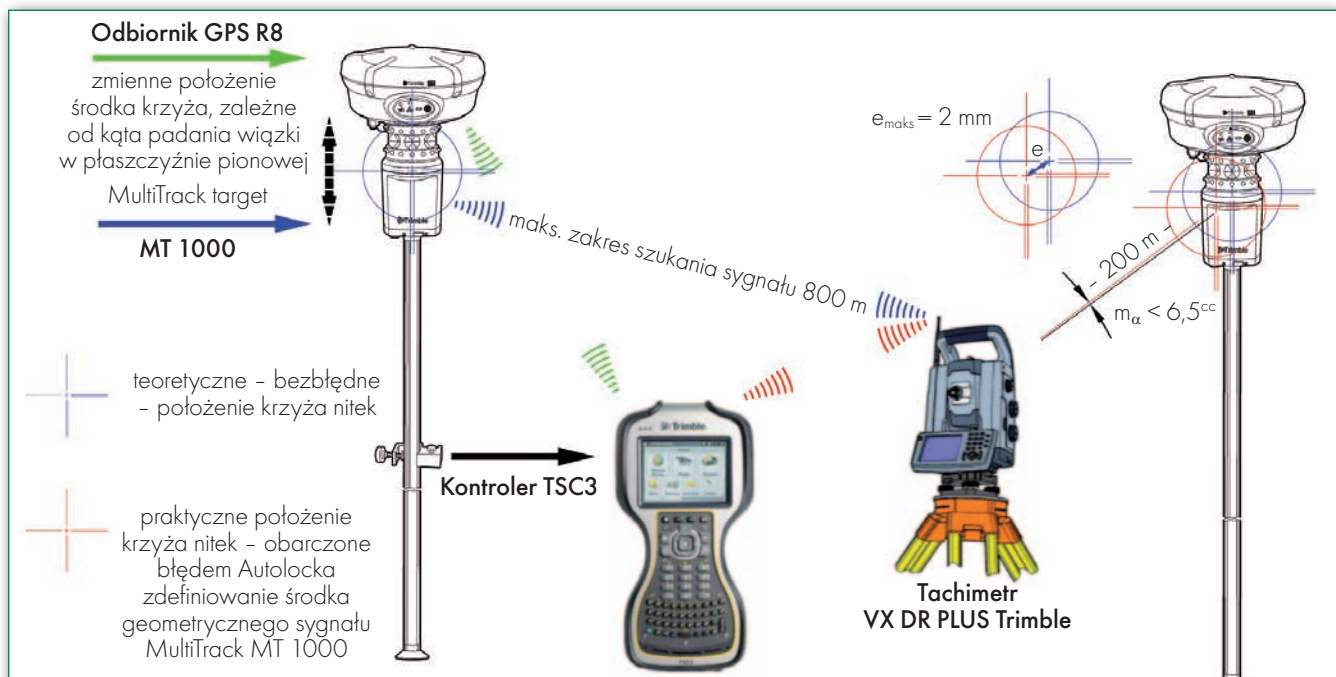
automatycznego skanowania i pokrycia powierzchni siatką punktów umożliwiają zdefiniowanie rzeczywistej wielkości deformacji strukturalnych (powierzchniowych) inwentaryzowanego obiektu, tj. wyboczeń elementów konstrukcyjnych i powłok obiektów wielkokubaturowych, ubytków masy w strukturach powierzchniowych budowli, wychyleń budowli itp.

Atutem instrumentu jest zastosowanie układu dalmierczego działającego w za-

kresie bliskiej podczerwieni, co zwiększa zasięg pomiaru do 1300 m bez konieczności zwiększania mocy urządzenia. Wynika to z charakteru wiązki świetlnej i większej odporności impulsu na wpływy i warunki otoczenia. Manualny pomiar kątów i długości w osnowach pomiarowych zakładanych do realizacji prac inwentaryzacyjnych umożliwia udokładnienie wyników pomiarów. Połączenie precyzji pomiaru wielkości kątowo-liniowych z trybem pomiaru

biegunowego w opcji skanowania przy założeniu dużej rozdzielczości pozwala uzyskać quasi-ciągły model obiektu w postaci chmury punktów (rys. 2) o współrzędnych obliczanych bezpośrednio w trakcie pomiaru w przyjętym układzie współrzędnych. W praktyce model punktowy tworzony jest w skali 1:1. Ma to ogromne znaczenie, zwłaszcza w zakresie monitoringu kształtu obiektu oraz zmiany w czasie jego geometrii wyznaczanej dzięki powtarzalności pomia-

ru. Duży zasięg pomiaru bezlustrowego sprawia, że Trimble VX doskonale nadaje się do inwentaryzacji i monitoringu kształtu obiektów nieregularnych o znaczących gabarytach (grobli, wałów, nasypów, wykopów, kopców, składowisk i zwałowisk), zwłaszcza obiektów trudno dostępnych stwarzających bezpośrednie zagrożenie dla zespołów pomiarowych. Podstawowe parametry techniczne instrumentu przedstawiono w tabeli powyżej.

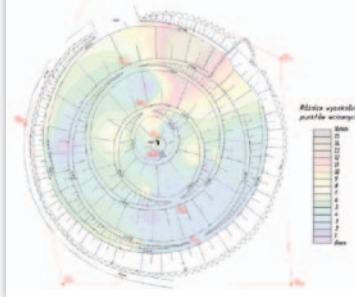


Rys. 1. Schemat pracy zestawu: tachimetr Trimble VX DR PLUS Spatial Station oraz odbiornik GPS Trimble R8 sterowane przez kontroler TSC3 zamocowany na tyczce i zasada działania funkcji Autolock w trybie roboczym z sygnałem aktywnym MultiTrack MT 1000

Opracowanie mapy zasadniczej  
- aktualizacja  
Opracowanie mapy dla celów  
projektowych (rewitalizacja obiektu)



Mapa rozkładu różnic wysokości dla punktów wcinanych mierzonych tachymetrycznie z wykorzystaniem sygnału aktywnego



Tachimetr skanujący  
VX DR PLUS  
Spatial Station  
na stanowisku  
pomiarowym

2D



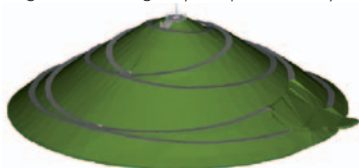
2D

3D

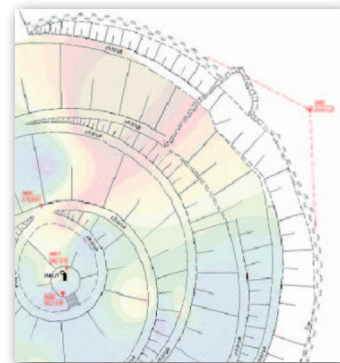
3D

Modelowanie powierzchni kopca przy wykorzystaniu siatek triangulacyjnych  
Modelowanie stref osuwiskowych

Opracowanie modelu przestrzennego na podstawie pomiaru tachymetrycznego z wykorzystaniem sygnału aktywnego (model ogólny - uproszczony)



Opracowanie modelu przestrzennego na podstawie pomiaru tachymetrycznego z elementami skaningu laserowego (model szczegółowy)



Wyznaczanie parametrów fizycznych modelu obiektu:  
- pole powierzchni [P],  
- objętość [V],  
- środek ciężkości [S]

$P = 9888 \text{ m}^2$   
 $V = 117\,596,23 \text{ m}^3$   
 $S_x = 1042,971 \text{ m}$   
 $S_y = 1059,930 \text{ m}$   
 $S_H = 359,036 \text{ m}$



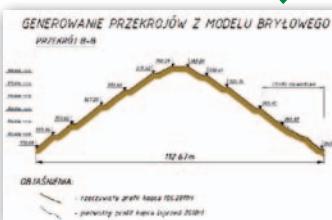
$P = 9888 \text{ m}^2$   
 $V = 117\,342,34 \text{ m}^3$   
 $S_x = 1043,008 \text{ m}$   
 $S_y = 1059,940 \text{ m}$   
 $S_H = 359,033 \text{ m}$

Dokumentacja przestrzenna elementów małej architektury  
Model 3D

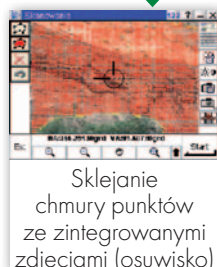


Galeria widokowa na koronie Kopca

Generowanie przekrojów i weryfikacja stanu rzeczywistego z modelem pierwotnymi



Obróbka skanu



Sklejanie chmury punktów ze zintegrowanymi zdjęciami (osuwisko)



Rozpinanie siatek triangulacyjnych

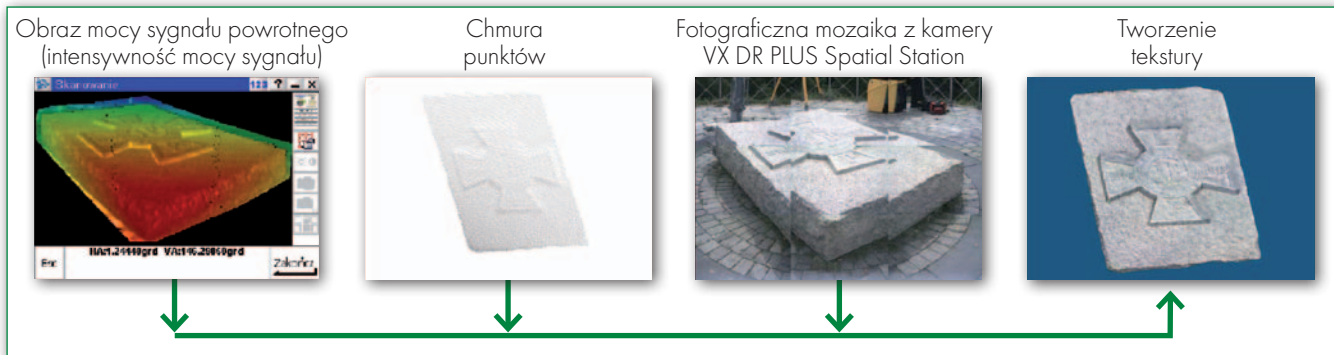
Rys. 2. Obok: Schemat wykorzystania danych przestrzennych pozyskanych zestawem pomiarowym: odbiornik ruchomy Trimble R8 (pomiar osnowy oraz pikiet poza zakresem pola widzenia tachimetru skanującego VX w układzie 2000 - ASG-EUPOS), tachimetr skanujący VX DR PLUS Spatial Station (precyzyjny pomiar osnowy, kompleksowy pomiar szczegółów sytuacyjnych oraz skanowanie powierzchni osuwiska i wybranych elementów małej architektury). Powyżej: Powiększenia dla strefy osuwiska

W ramach optymalizacji procesów pomiarowych firma Trimble rozwinęła system śledzenia reflektorów, tzw. MultiTrack, który umożliwia wybór określonego typu ce-

lu, tj. aktywnego lub pasywnego. W przypadku sygnałów aktywnych, np. MT 1000 (rys. 1), dodatkowo istnieje możliwość zdefiniowania ID dla konkretnego reflektora.

Opcja identyfikacji celu (ID) jest szczególnie przydatna w pomiarach jednoosobowych lub na obszarze, gdzie zlokalizowanych jest więcej sygnałów zwrotnych, które mogłyby

„wytrącić” instrument z trybu śledzenia konkretnego reflektora, lub w przypadku, gdy w polu widzenia tachimetru znajdują się elementy o wysokim współczynniku refleksyjności, jak znaki drogowe czy odbłyśniki lamp. Przedmioty te mogą być błędnie zdefinio-



Rys. 3. Przykład wykorzystania opcji skanowania laserowego tachimetru VX DR PLUS Spatial Station w inwentaryzacji i wizualizacji elementów małej architektury Kopca Niepodległości im. Józefa Piłsudskiego w Krakowie (obelisk – Krzyż Legionów)

wane jako potencjalne sygnały referencyjne.

Zestaw lustrowy MT 1000 przeznaczony jest do tachimetrów wyposażonych w system Autolock. Autorskim rozwiązaniem Trimble w MT 1000 jest podwójny pas diod (identyfikatorów reflektora) zlokalizowanych w pierścieniach nad i pod zestawem zwierciadeł, które wysyłają w kierunku instrumentu sygnały o ośmiu różnych częstotliwościach. Pozwala to na precyzyjne pozycjonowanie krzyża lunety instrumentu względem „centrum” geometrycznego zestawu zarówno w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej. Obserwując przez lunetę obraz krzyża nitki oraz zarys sygnału, użytkownik może dostrzec zjawisko przesunięcia obu elementów względem siebie o wartość wektora  $e$  (rys. 1). Przesunięcie to widoczne jest zwłaszcza w płaszczyźnie pionowej, przy czym wielkość wektora uzależniona jest od kąta pochylenia celowej. Zgodnie ze specyfikacjami firmy Trimble maksymalny błąd liniowy automatycznego nacelowania krzyża nie przekracza 2 mm dla odległości 200 m, a kątowy błąd  $m_\alpha < 6,5''$ .

## ● OPRAWOWANIE PRZESTRZENNEGO MODELU KOPCA

Dzięki wykorzystaniu prezentowanego w artykule zestawu pomiarowego możliwe jest uzyskanie bezpośrednio w terenie gotowych danych w postaci współrzędnych przestrzennych XYH w układach

państwowych lub definiowanych przez użytkownika. Ich trójwymiarowy charakter pozwala na generowanie dowolnej dokumentacji kartograficznej w środowisku 2D zgodnej z obowiązującymi standardami i potrzebami określonych służb (geodezyjnych, konserwatorskich, budowlanych itp.), a także tworzenie łatwych do interpretacji modeli przestrzennych środowiska 3D. Ponadto dane te mogą być poddane obróbce – procesowi modelowania – w programie Trimble 3D RealWorks lub też wczytane do programów CAD (AutoCAD Civil 3D lub MicroStation). W procesie modelowania elementów małej architektury Kopca Niepodległości kartowanie i teksturowanie oraz wizualizacja zostały przeprowadzone w programie 3D RealWorks, a budowanie modelu bryłowego w programie AutoCAD Civil 3D.

Zaletą modeli bryłowych, poza wizualizacją przestrzenną oraz łatwą modyfikacją w czasie (na podstawie danych np. z monitoringu geodezyjnego), jest także możliwość wyznaczania parametrów obiektu: fizycznych (pole powierzchni, kubatura) i mechanicznych (środek ciężkości) oraz zmian tych wartości świadczących o wielkości deformacji obiektu i kierunkach rozwoju tego zjawiska w czasie. Ponadto modelowanie trójwymiarowe daje użytkownikowi możliwość generowania rysunków przekrojowych w dowolnych płaszczyznach, co także stanowi doskonałe narzędzie analityczne w rękach spe-

cjalistów na etapie planowania prac w zakresie profilaktyki budowlanej i rewitalizacji budowli (porównanie z dokumentacją archiwalną). Efekty obróbki i przykłady wykorzystania danych przestrzennych o różnej charakterystyce i sposobie pomiaru, wygenerowanych w procesie inwentaryzacji Kopca Niepodległości, pokazano na rys. 2 i 3.

## ● ATUTY ROZWIĄZANIA

Wykorzystanie w ramach pomiarów zintegrowanych zestawu złożonego z tachimetru skanującego VX DR PLUS Spatial Station, odbiornika R8 i kontrolera TSC3 firmy Trimble pozwala na:

- wykonywanie precyzyjnych pomiarów w trudno dostępnym terenie, w którym brak jest osnowy geodezyjnej, zarówno poziomej, jak i wysokościowej;
- definiowanie współrzędnych punktów osnowy pomiarowej i pikiet w układzie państwowym (np. 2000) lub lokalnym (maks. 19 pkt dostosowania w programie TSC Emulator 12.47);
- dostęp do wspólnej bazy danych tworzonej przez oba urządzenia pomiarowe (rejestracja i tyczenie);
- szybki pomiar w opcji skanowania laserowego (maks. do 15 pkt/s) oraz pojedynczych punktów z wykorzystaniem sygnałów aktywnych;
- automatyzację procesu pomiarowego ograniczającą wpływ czynnika ludzkiego na końcowe wyniki obserwacji;
- wykonywanie dokumentacji fotograficznej o dużej roz-

dzielczości jako nieodłącznego elementu nowoczesnej dokumentacji technicznej;

- oszczędność czasu wynikającą z wyboru obszaru pomiaru bezpośrednio na ekranie kontrolera dzięki ruchomemu obrazowi wysyłanemu z kamery tachimetru VX;
- zarządzanie zestawem tachimetr–odbiornik z odległości nawet kilkuset metrów;
- łatwy wybór opcji pomiaru: od pojedynczego, wskazanego przez użytkownika punktu, po zbiór punktów opisujących kształt określonej, inwentaryzowanej powierzchni (np. kształt powierzchni osuwiska i jej zmiany w czasie);
- rejestrację tylko tych danych z wybranych i zaznaczonych na ekranie kontrolera obszarów, które stanowią treść i przedmiot opracowania;
- podgląd danych punktowych zintegrowanych ze skalibrowanymi zdjęciami, co umożliwia użytkownikowi eliminację tzw. martwych pól;
- korzystanie ze wszystkich narzędzi oprogramowania (prace inwentaryzacyjne, realizacyjne, monitoring) dzięki wygodnemu, przejrzystemu i intuicyjnemu menu;
- prowadzenie pomiaru przez jednoosobowy zespół z zachowaniem wysokiej dokładności (średni błąd wysokości punktów wcinanych przestrzennie z punktów osnowy pomiarowej nie przekroczył  $m_H = \pm 2,5$  mm);
- zarządzanie danymi i ich weryfikację bezpośrednio w terenie.

DR INŻ. RAFAŁ GAWAŁKIEWICZ