



Uczestnicy wyprawy 11 listopada 2018 r. świętowali 100-lecie odzyskania przez Polskę niepodległości

# Wśród ruin na pustyni

XVII Wyprawa Bari studentów krakowskiej AGH, tym razem do Jordanii, stała się okazją do przetestowania wielu nowoczesnych technologii pomiarowych w trudnych warunkach pustynnych.

**Agnieszka Ochałek,  
Justyna Ruchała, Dawid Mrocheń**

**W**yprawy Bari organizowane przez Koło Naukowe Geodetów „Dahlta” z Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska stały się już tradycją AGH. W ramach dotychczasowych szesnastu edycji wyjazdów – poczynając od lat 70. ubiegłego wieku – studenci odwiedzili m.in. Maroko, Syrię, Portugalię, Cypr i Norwegię. Wszędzie tam sporządzali dokumentację inwentaryzacyjną licznych zabytków. Dwa kolejne stano-

wiska archeologiczne zinventaryzowali w położonej na Bliskim Wschodzie Jordanii (2-16 listopada 2018 r.).

Kraj ten potrafi zauroczyć krajobrazem i zabytkami nie tylko zwiedzających, ale także twórców filmowych. Pustynię Wadi Rum możemy oglądać w obrazie Ridleya Scotta „Marsjanin”, a w słynnej Petrze – jednym z siedmiu nowych cudów świata i stolicy starożytnego Państwa Nabatejskiego – nagrywało finałowe sceny trzeciej części przygód dzielnego archeologa i podróżnika Indiany Jonesa. Wykute w pionowych ścianach wąwozu budowle przyciągają tysiące turystów z całego świata. Kamienisty

krajobraz Jordanii urozmaicają enklawy zieleni oraz tafla Morza Martwego – najniższej położonego punktu na powierzchni Ziemi (430 m p.p.m.).

## • Starożytne zabytki

Uczestnicy wyprawy skupili się na opracowaniu metodologii inwentaryzacji stanowisk archeologicznych w trudnych pustynno-kamienistych warunkach terenowych. Pomiarami objęto dwa stanowiska archeologiczne: rzymski fort wojskowy Dajaniya w prowincji Ma'an oraz starożytne miasto Tuwaneh w prowincji At-Tafila. Pozostałości fortu Dajaniya, które przez cztery dni stanowiły obiekt

intensywnych pomiarów, wyrastają z niewielkiego wzniesienia na rozległym pustkowiu, z dala od współczesnych zabudowań. Fort wzniesiono najprawdopodobniej za panowania cesarza Dioklecjana na początku IV wieku. Jest to trzecie największe rzymskie założenie militarne na terenie obecnej Jordanii (zaraz po fortecach legionowych w Lejjun i Druh). Obóz zbudowano na planie kwadratu o boku około 100 m. Do dziś w dobrym stanie zachowały się mury zewnętrzne o wysokości sięgającej 4 m.

Na kolejne osiem dni prac terenowych uczestnicy wyprawy przenieśli się w dolinę okresowej rzeki Wadi et-Tuwaneh, gdzie wśród kamienistych zboczy zarysowują się pozostałości starożytnego miasta Tuwaneh. Jego rozwój przypadł na panowanie Nabatejczyków w I wieku p.n.e. i trwał przez cały okres rzymski. Miasto podupało w okresie bizantyjskim, a znikoma liczba znalezisk z okresu wczesnoislamskiego i brak wzmianek w źródłach arabskich wskazują, że wraz z podbojem arabskim zupełnie straciło swój status ośrodka miejskiego.

Dokumentację archeologiczno-geodezyjną dla tych dwóch stanowisk opracowano z wykorzystaniem różnych technologii pomiarowych: naziemnego

skanowania laserowego, fotogrametrii bliskiego zasięgu, pomiarów satelitarnych (w tym odbiornikiem wykorzystującym korekty usługi Trimble RTX) oraz klasycznych pomiarów geodezyjnych. Wszystkie prace dokumentacyjne były nawiązane do osnowy geodezyjnej założonej na obszarze stanowisk. Prace terenowe w przypadku obu obiektów rozpoczęto od stabilizacji i wyznaczenia globalnych współrzędnych punktów osnowy na podstawie danych GNSS przetworzonych metodą PPP (Precise Point Positioning) oraz pomiarów kątowno-liniowych pozyskanych za pomocą tachimetru.

## • Skanowanie

W toku prac inwentaryzacyjnych posługiwano się zarówno technologią naziemnego skanowania laserowego (TSL), jak i skanowaniem ręcznym. Pomiary TSL obu stanowisk archeologicznych wykonano skanerem laserowym Faro Focus M70. W starożytnym mieście Tuwaneh skupiono się na szczegółowej inwentaryzacji pozostałości karawanseraju – domu zajezdnego dla karawan. Podczas prac terenowych pozyskano dane z 55 stanowisk. Skanowanie przeprowadzono z rozdzielczością 3 mm/10 m.

Zastosowano około 100 tarcz referencyjnych, których współrzędne wyznaczono klasycznymi metodami pomiarowymi.

W ramach pomiarów TLS w forcie Dajaniya wykonano skany wszystkich czterech zewnętrznych fasad murów fortu, a także dwóch wewnętrznych: południowo-zachodniej i północno-zachodniej. Dodatkowo przeprowadzono inwentaryzację trzech wykopów sondażowych oraz principium – głównego budynku dowodzenia. W tym przypadku dane pomiarowe w rozdzielczości 3 mm/10 m zebrano z 47 stanowisk; wykorzystano ponad 100 tarcz referencyjnych. Prace z zastosowaniem naziemnego skanowania laserowego pozwoliły na uzyskanie modeli przestrzennych z dokładnością 2 cm.

Do inwentaryzacji wykorzystano również skaner ręczny Faro Freestyle 3D. W trakcie pomiarów operator ma wgląd w pozyskiwaną chmurę punktów na zintegrowanym z urządzeniem tablecie. Pozwala to natychmiast reagować na ewentualne błędy w pomiarze lub braki w chmurze. Urządzenie jest w stanie rejestrować do 88 tys. punktów na sekundę, a gęstość chmury wzrasta z czasem. Freestyle wyposażono w oświetlenie LED umożliwiające prowadzenie pomiaru w niedoświetlonych miejscach. Wy-



Pomiar ręcznym skanerem pozostałości łaźni w Tuwaneh



Pozostałości miasta Tuwaneh w chmurze punktów

nikiem pomiaru jest kolorowa chmura punktów generowana w czasie rzeczywistym.

Skaner ręczny wykorzystano do inwentaryzacji odsłoniętych pozostałości term w Tuwaneh, charakterystycznego przejścia w południowym murze zewnętrznym fortu Dajaniya, a także całości principium.

Chmury punktów przetworzono z wykorzystaniem aplikacji Faro Scene (TSL) oraz Faro Process (skanowanie ręczne). Ostatecznym rezultatem były metryczne chmury punktów o nadanej georeferencji, które wykorzystano podczas tworzenia pełnej dokumentacji archeologicznej badanych stanowisk.

### • Fotogrametria bliskiego zasięgu

Również tę metodę wykorzystano podczas prac inwentaryzacyjnych na obu stanowiskach archeologicznych. Zdjęcia wykonano w celu stworzenia dokumentacji następujących obiektów: murów zewnętrznych fortu Dajaniya, principium, wkopów rabunkowych na obu stanowiskach, karawanseraju, łaźni oraz kanału burzowego w mieście Tuwaneh. Warto podkreślić, że pozostałości starożytnego miasta są przedmiotem intensywnej

działalności grabieżczej. Na obszarze badań zinventaryzowano 119 wkopów rabunkowych, wyznaczając ich współrzędne oraz wykonując dokumentację fotograficzną. Niestety, nie udało się wykonać dokumentacji wszystkich wkopów grabieżczych, co świadczy o skali zjawiska nielegalnych wykopalisk.

Na podstawie wykonanych zdjęć wygenerowano chmury punktów, a następnie modele 3D umożliwiające dokładne określenie geometrii inwentaryzowanego obiektu. Na ich podstawie możliwe jest tworzenie dowolnych przekrojów czy interesujących wizualizacji. W pomiarach wykorzystano niemetryczne aparaty fotograficzne: Nikon D5100, Nikon D3100 oraz Canon 600D, natomiast punkty referencyjne pomierzono tachimetrem.

### • NMT stanowiska

Ze względu na restrykcyjne jordańskie prawo dotyczące dronów, jak również trudności z transportem statku powietrznego, uczestnicy XVII Wyprawy Bari zmuszeni byli opracować alternatywną metodę, która pozwoliłaby zastąpić pomiary fotogrametryczne z powietrza. Ostatecznie zdecydowano się

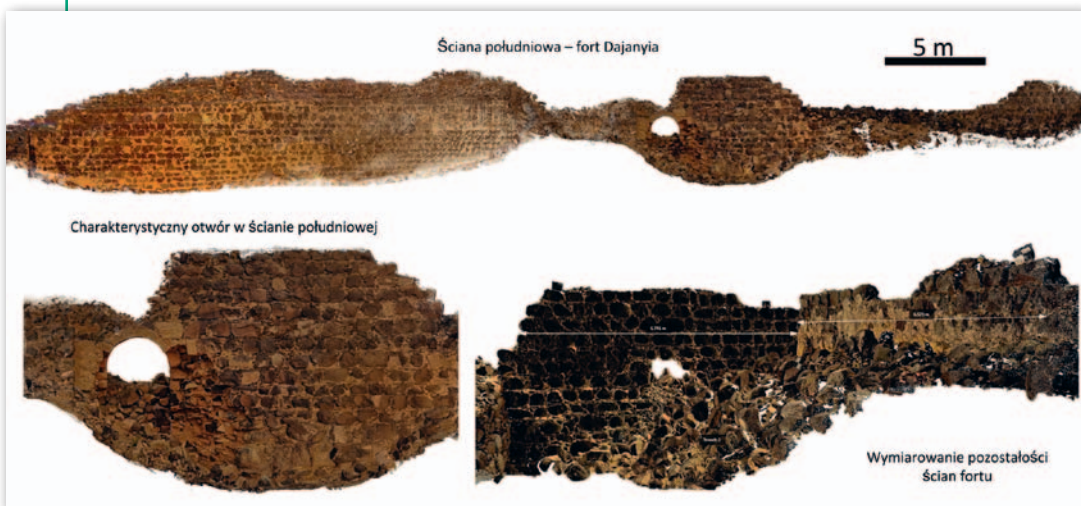
na wykonywanie zdjęć kamerą sportową GoPro HERO 6 Black zamontowaną na 5-metrowym wysięgniku z libellą sferyczną do kontroli pionowości. Metodę tę nazwano ULAPh – Ultra Low Altitude Photogrammetry. Na każdym stanowisku wykonywano po 8 zdjęć ukośnych (obracając wysięgnik w miejscu) w taki sposób, aby na fotografiach znalazło się jak najmniej nieba i wysięgnika. Później w procesie obróbki

materialu pomiarowego zastosowano maskę na zdjęciach. Samo wykonywanie fotografii było możliwe dzięki łączności wi-fi między kamerą a telefonem komórkowym. Przydatność tej konstrukcji weryfikowano na terenie fortu Dajaniya oraz miasta Tuwaneh.

Na badanych obszarach zamarkowano stanowiska pomiarowe w odległości około 5 m od siebie, co pozwoliło utworzyć relatywnie regularną i gęstą siatkę pomiarową. Zdjęcia wykonywano z rozdzielczością 12 Mpx, a wielkość piksela terenowego na zdjęciach wyniosła 4 mm.

Czy stosowana technika dała zadowalające rezultaty? Czy ULAPh może zastąpić bezzałogowe statki latające? W celu weryfikacji dokładności uzyskanego produktu postanowiono porównać numeryczne modele terenu utworzone z wykorzystaniem różnych metod. Za referencyjne uznano opracowanie na podstawie danych ze skanera laserowego Faro Focus M70, a także wyniki klasycznej fotogrametrii bliskiego zasięgu. Nawiązanie do globalnego układu współrzędnych możliwe było dzięki pomiarowi GNSS RTK.

Przeprowadzone badania i analizy wykazały, że najistotniejszym aspektem wpływającym na dokładność numerycznego modelu terenu z metody ULAPh jest odpowiednie wykonanie zdjęć (m.in. pokrycie między nimi czy kąt pochylenia kamery). Aby odpowiedzieć na postawione pytania, należy uściślić, dla jakiego typu terenu jest ona stosowana. W miejscach, gdzie występowały głębokie wykopy czy wyraźne krawędzie (np. krawędź muru), uzyskana dokładność była zaledwie dostateczna. Jednak dla rozległych obszarów z niewielkimi deniwelacjami i odsłoniętym terenem może być ona z powodzeniem stosowana.



Zeskanowane ściany fortu Dajaniya



Pomiar ULAPh na terenie fortu Dajaniya

wana zamiast dronów. ULAPh sprawdza się przede wszystkim w zadaniach lokalizacyjnych (kartometryczne opracowanie dużego terenu, na którym widoczne jest nie tylko ukształtowanie powierzchni, ale także wkopy rabunkowe i wyraźne pozostałości po dawnych obiektach). Doskonale nadaje się także do wizualnej oceny geometrii i stanu obiektów będących przedmiotami badań archeologicznych.

### ● Test technologii Trimble RTX

Dzięki uprzejmości jednego ze sponsorów – firmy NaviGate – podobnie jak podczas poprzedniej wyprawy na Cypr studenci mieli możliwość przetestowania odbiornika GNSS Spectra Precision SP60. Odbiornik wyposażono w nowoczesną antenę L-Band, która pozwala na wykorzystanie poprawek Trimble RTX. Dzięki nim, jak zapewnia producent, po kilkunastominutowej inicjalizacji w praktycznie dowolnym miejscu na świecie – bez dostępu do jakiegokolwiek stacji referencyjnej i bez zasięgu GSM – można osiągnąć powtarzalną 2-centymetrową dokładność pomiaru w poziomie i 5-centymetrową wysokościowo.

Instrument wykorzystano m.in. do wyznaczenia geodezyjnej osnowy na terenie obu stanowisk archeologicznych, nadania georeferencji chmurom punktów oraz do pozyskania lokalizacji panoram sferycznych, które wykorzystano do stworzenia wirtualnej wycieczki wokół fortu Dajaniya.

Ponadto w czasie prac udało się potwierdzić zarówno dokładność, jak i wy-

soką przydatność metody RTX GNSS do prowadzenia pomiarów dokumentacyjnych stanowisk archeologicznych. W celu określenia rzeczywistej dokładności odbiornika Spectra Precision SP60 założona została baza testowa składająca się z 40 punktów, która pozwoliła na pomiar pikiet zarówno w bardzo dobrych warunkach, jak i przy częściowo zasłoniętym horyzoncie. Cykle pomiarowe wykonane w różnych terminach i porach dnia umożliwiły przeprowadzenie analizy powtarzalności wyników oraz weryfikację globalnej dokładności metody Trimble RTX.

Aby określić globalną dokładność, wykonano dodatkowe pomiary: RTK za pomocą odbiornika Geomax Zenith-25, tachymetryczne, statyczne PPP trzech punktów z zastabilizowanej sieci geodezyjnej (współrzędne tych punktów zostały obliczone za pomocą usługi on-line dostarczonej przez Natural Resources Canada CSRS-PPP). Analizy przeprowadzono w systemie współrzędnych ITRF 2014 (epoka 2018) Jordan TM (EPSG 3066).

Testy potwierdzają, że powtarzalność pomiarów w dogodnych warunkach zawiera się w granicach błędu deklarowanego przez firmę Trimble.

### ● Wirtualne wycieczki

Ochrona dziedzictwa kulturowego ma coraz większe znaczenie. Dlatego kolejnym zadaniem XVII Wyprawy Bari było przygotowanie wirtualnej wycieczki po rzymskim forcie wojskowym

Dajaniya. Stworzenie publicznego, wirtualnego muzeum i zachowanie informacji o zabytkach wpływa pozytywnie na stan wiedzy o dziedzictwie kulturowym Jordanii; podkreśla ponadto znaczenie badań polskich misji archeologicznych na świecie. Wirtualne wycieczki z powodzeniem zastępują prezentacje multimedialne i są doskonałym sposobem na promocję inwentaryzowanego miejsca, przenosząc odbiorcę w zupełnie inny świat.

Do stworzenia 33 zdjęć panoramicznych użyto kamer sferycznych Theta S.C. wypożyczonych od Ricoh Polska. Do zlokalizowania wszystkich stanowisk kamer, a tym samym wykonanych zdjęć, wykorzystano technologię GNSS Trimble RTX, dzięki której współrzędne w układzie globalnym otrzymano w czasie rzeczywistym już w terenie. Zdjęcia obejmują cały obszar stanowiska archeologicznego i pozwalają na obejrzenie nie tylko pozostałości murów fortu i bram, ale również wnętrza fortu, w tym principium. Prace zrealizowano na portalu ViarLive, a ich efekty są dostępne pod adresem [viar.live/tour/txsy9m](http://viar.live/tour/txsy9m).

### ● Archeolodzy podczas wyprawy

XVII Wyprawa Bari nie odbyłaby się bez archeologicznej części załogi, która prowadziła badania w ramach projektu „ArTu-DTu – Archeological Study of Dajaniya & Tuwaneh, Jordan”. Czym dokładnie zajmowali się badacze z Uniwersytetu Jagiellońskiego? Przede wszystkim zbierali materiał archeologiczny, głów-



Pomiary satelitarne w celu określenia rzeczywistej dokładności odbiornika Spectra Precision SP60

nie fragmenty ceramicznych naczyń. Po przeprowadzeniu analiz znalezionych elementów możliwe będzie potwierdzenie datowania stanowisk w Dajaniya i Tuwaneh. Zarówno formy, jak i dekoracja naczyń ceramicznych zmieniały się bowiem w czasie. W efekcie specjaliści ceramolodzy potrafią określić, czasem nawet z dokładnością do kilkudziesięciu lat, kiedy dane naczynie zostało wykonane. Dodatkowo w Tuwaneh ułamki ceramiczne zbierane były z wkopów wykonanych przez poszukiwaczy skarbów. To z kolei pozwoli archeologom nie tylko na weryfikację dotychczasowych ustaleń dotyczących okresu, w którym istniało miasto, ale również powiedzenie czegoś więcej o chronologii struktur, w obrębie których kopali rabusie.

## • Owocna współpraca

Wszystkie produkty wygenerowane na podstawie danych pozyskanych w trakcie Wyprawy Bari zostały przekazane wykonawcom projektu ArTu-DTu i będą wykorzystywane w prowadzonych przez nich badaniach naukowych. Kolejna już geodezyjno-archeologiczna współpraca studentów AGH i naukow-



W XVII Wyprawie Bari uczestniczyli studenci (Maciej Bernaś, Hubert Dec, Katarzyna Sawicka, Aleksandra Słodowska i Kacper Widuch), doktoranci (Dawid Mrocheń i Agnieszka Ochałek) oraz pracownicy WGGiIŚ (dr inż. Paweł Cwiąkała i dr inż. Edyta Puniach – opiekunowie). Badania prowadzone we współpracy z archeologami z Instytutu Archeologii Uniwersytetu Jagiellońskiego: dr. hab. Jarosławem Bodzkiem, dr. Kamilem Kopijem, Małgorzatą Kajzer i Łukaszem Miszkciem. Podczas prac kameralnych (już w Polsce) pomocą służyli również studenci z KNG Dahlta:

Paulina Cierpich, Justyna Ruchała, Jakub Broda, Joachim Pawliński, Adam Wala, Anna Wójcik, Gabriela Maniak, Dajana Mielczarek oraz Agata Bochniarz. Wyprawa otrzymała wsparcie finansowe w ramach projektu „Najlepsi z najlepszych! 3.0” organizowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Celem tego projektu jest wspieranie wybitnie uzdolnionych studentów w rozwoju ich aktywności naukowej, innowacyjności i kreatywności.

ców z Uniwersytetu Jagiellońskiego stała się okazją do wymiany doświadczeń i była zachętą do podjęcia następnych interdyscyplinarnych projektów. Więcej informacji o przedsięwzięciu na stronach [web.facebook.com/WyprawyBARI](http://web.facebook.com/WyprawyBARI) oraz [wyprawabari.agh.edu.pl](http://wyprawabari.agh.edu.pl).

**Agnieszka Ochałek,  
Justyna Ruchała, Dawid Mrocheń  
KNG Dahlta**

Uczestnicy XVII Wyprawy Bari serdecznie dziękują za wsparcie Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, sponsorom oraz patronom, bez których wyprawa nie doszłaby do skutku – KNG Dahlta, Stowarzyszenie Geodetów Polskich Oddział w Krakowie, Geoforum.pl, Gisplay.pl, Studentnews.pl, KSAF, ArcanaGIS.com, Scan Measure, 3Deling, Miernictwo Górnicze Piotr Szajt, Esri Polska, SKALA 3D Artur Adamek, Ricoh Polska, NaviGate. Wyrazy wdzięczności kierują również do Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego za możliwość uczestniczenia w projekcie „Najlepsi z Najlepszych 3.0!” oraz do uczestników wyprawy archeologów z Uniwersytetu Jagiellońskiego za przekazaną wiedzę i cierpliwość.