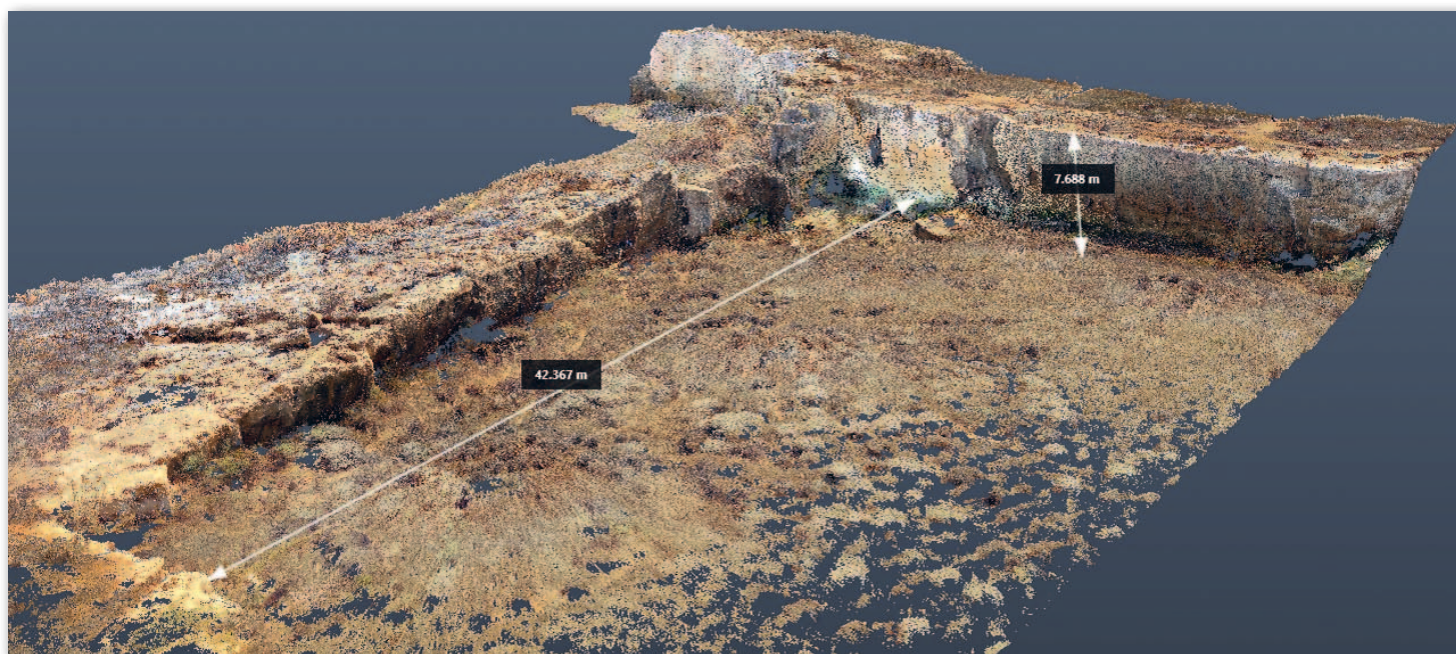


Ekspedycja do antyku

Celem XVI Wyprawy Bari studentów krakowskiej Akademii Górniczo-Hutniczej było cypryjskie miasto Pafos. Podczas trwającego kilkanaście dni obozu młodzi geodeci zebrali dane, które ułatwią pracę archeologom z Uniwersytetu Jagiellońskiego prowadzącym na wyspie wykopaliska.





Rys. 1. Pozostałości hipotetycznego starożytnego portu Pafos w chmurze punktów

Agnieszka Ochalek Justyna Ruchała

Słowo „Bari” jednym nie mówi nic, a innym kojarzy się z włoskimi posiadłościami królowej Bony. Słyszając „Bari” w środowisku geodetów i kartografów, myślimy najpierw o zagranicznych studenckich obozach naukowych, których historia sięga lat 70. ubiegłego wieku. W ramach tych obozów – organizowanych przez Koło Naukowe Geodetów „Dahlta” działające na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH – wykonywane były pomiary geodezyjne i inwentaryzacyjne obiektów z Listy światowego dziedzictwa UNESCO w Europie, Azji i Afryce.

• Tym razem Cypr

Po czterech latach przerwy w sierpniu 2017 r. odbyła się XVI Wyprawa Bari. Członkowie KNG Dahlta wraz z opiekunami podjęli współpracę z krakowskimi naukowcami z Zakładu Archeologii Klasycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego, którzy pod kierunkiem prof. Ewdoksii Papuci-Władyki realizują interdyscyplinarne przedsięwzięcie pn. Paphos Agora Project. Archeologia to wyjątkowa gałąź nauk humanistycznych silnie związana z geodezją. Pomiary wykonywane przez geodetów nieraz przyczyniły się do ważnych odkryć. Krakowska archeologiczno-geodezyjna ekipa miała przyjemność wymieniać się doświadczeniami w cypryjskim mieście Pafos – Europejskiej Stolicy Kultury 2017. Inwentaryzacja starożytnych zabytków wpisanych na Listę

światowego dziedzictwa UNESCO – zachowanych głównie w Parku Archeologicznym Kato Pafos – była możliwa dzięki wsparciu Paphos Agora Project oraz pozwoleniu cypryjskiego Departamentu Starożytności.

Teren Parku Archeologicznego jest przedmiotem badań sześciu ekspedycji: dwóch polskich (z Krakowa i Warszawy), francuskiej (z Awinionu), australijskiej (z Sydney), włoskiej (z Katanii) oraz cypryjskiej (z Nikozji). Zakład Archeologii Klasycznej UJ realizuje obecnie największy projekt archeologiczny w Pafos. Głównym celem XVI Wyprawy Bari była inwentaryzacja wykopalisk krakowskich badaczy oraz ogólnodostępnych starożytnych zabytków z wykorzystaniem najnowocześniejszych geodezyjnych metod pomiarowych. Zakres zadań był na bieżąco konsultowany ze stacjonującymi na miejscu archeologami.

• Pomiar skanerem laserowym

Skanowaniem laserowym objęte zostały dwa obiekty znajdujące się na te-

renie Parku Archeologicznego: głęboka fosa (najprawdopodobniej pozostałość po starożytnym porcie miejskim) oraz odeon (budowla przeznaczona na występy muzyczne i teatralne). Zwłaszcza ten pierwszy obiekt – kompleks skalny o powierzchni ponad 24 tys. m² – był nie lada wyzwaniem dla zespołu pomiarowego. Szczegółowe odwzorowanie fosy wiązało się z wykonaniem 170 skanów, natomiast odeonu – 23. Podczas trwających 9 dni prac wykorzystano skaner Z+F Imager 5010C, który mierzył w rozdzielczości 6 mm/10 m oraz, sporadycznie, 2 mm/10 m. Wcześniej założono jeszcze osnowę składającą się z 300 tarcz ze współrzędnymi wyznaczonymi tachymetrycznie zarówno w układzie lokalnym parku, jak i globalnym WGS 84.

W pracach kameralnych wykorzystano programy ReCap360 Pro, CloudCompare, Leica Cyclone, C-Geo oraz Z+F Laser Control. Pierwszy etap polegał na połączeniu skanów z wykorzystaniem odwzorowanych w chmurach punktów tarcz. Następnie przeprowadzono wyrównanie. Maksymalny błąd wpasowania skanów wyniósł 3,7 cm, co jest wynikiem zadowalającym w przypadku obiektów o tak skomplikowanych kształtach. Kolejny etap to czyszczenie, podczas którego usunięto zbędne i nieistotne dla archeologów obiekty oraz szumy pomiarowe. Przykładowo skany odwzorowujące fosę (rys. 1) „odchudzono” ze 180 do 23 GB. Wynikowe chmury punktów posłużą do dalszych analiz zinventaryzowanych obiektów.

• FocusSphere

Istotnym aspektem XVI Wyprawy Bari była inwentaryzacja małogabarytowych

Po raz kolejny nie dotarli do Bari

Pierwsza zagraniczna wyprawa członków KNG Dahlta odbyła się w 1974 r., a jej celem pierwotnie miało być włoskie miasto Bari. W toku przygotowań Departament Kultury Materialnej UNESCO w Paryżu zaproponował jednak zmianę Bari na Fez w Maroku i ostatecznie tam udała się pierwsza historyczna ekspedycja Dahlty. Z uwagi na stopień zaawansowania prac organizacyjnych nazwa Bari pozostała, a później towarzyszyła wyprawom młodych geodetów z AGH przez kolejne lata, choć żadna z nich do tego miasta nie dotarła.



Rys. 2. Inwentaryzacja detalu architektonicznego i wynikowy model 3D

ność, a więc idealnie nadawało się ono do inwentaryzacji delikatnych starożytnych obiektów. Zebrane materiały fotogrametryczne pozwoliły na stworzenie chmur punktów 22 obiektów (8 lampek oliwnych, 11 mis i talerzy oraz 3 innych naczyń), z których następnie zbudowano pełnowymiarowe oteksturowane modele *mesh*. W pracy wykorzystano programy Agisoft Photoscan, CloudCompare oraz środowisko Matlab. Pozyskane dzięki FocusSphere informacje o geometrii i strukturze antycznych przedmiotów posłużyły do dalszych analiz i zasilą bazy archeologiczne.

• Fotogrametria bliskiego zasięgu

W trakcie wyprawy studenci podjęli się także inwentaryzacji detali architektonicznych (rys. 2) wydobytych przez krakowską ekspedycję archeologiczną (m.in. fragmentów kolumn). Z odpowiednio przygotowanego (oczyszczonego z piasku i zabrudzeń) detalu ściągane były miary, a następnie zaznaczano na nim punkty charakterystyczne i nie-

metrycznymi aparatami fotograficznymi (Nikon D3100 oraz Canon EOS 600D) wykonywano zdjęcia z odpowiednim pokryciem podłużnym i poprzecznym.

Wykorzystując aplikacje Agisoft Photoscan i CloudCompare, z pozyskanych fotografii opracowano trójwymiarowe reprezentacje – gęste chmury punktów. Dla kilku szczególnie istotnych detali przygotowane zostaną jeszcze modele wektorowe, które ułatwią interpretację archeologom z Paphos Agora Project. W trakcie wyprawy udało się obfotografować 49 detali. W procesie opracowania kameralnego oczekiwane rezultaty uzyskano dla aż 85% z nich.

Studenci podjęli także próbę opracowania trójwymiarowej reprezentacji odeonu z wykorzystaniem metod fotogrametrii bliskiego zasięgu z poziomu gruntu. Szczegółowe wyniki badań zostały zaprezentowane w grudniu 2017 r. podczas Studenckiej Konferencji Kół Naukowych Pionu Górniczego. W referacie pt. „Wpływ konfiguracji sieci zdjęć na jakość gęstej chmury punktów – inwentaryzacja fotogrametryczna Odeonu w Parku Archeologicznym w Pafos” dowiedziono, że do celów wizualizacyjnych fotogrametria bliskiego zasięgu jest w zupełności wystarczająca.

• Fotogrametria lotnicza z niskiego pułapu

Wśród przetransportowanego z Krakowa sprzętu znalazł się także quadcopter DJI Phantom 2 z zamontowaną kamerą GoPro Hero3+. Za jego pomocą pozyskano dane dla pięciu interesujących obszarów Parku Archeologicznego: odeonu (rys. 3), agory (rys. 4) oraz trzech pól testowych (w północnej części starożytnego miasta, na południe od agory oraz w okolicach zamku Saranda Kolones). Przed pomiarem zastabilizowano i pomierzono odbiornikiem GNSS pomysłowe, bo wykonane za pomocą dostępnych płytek ceramicznych, fotopunkty. Bezzałogowiec wykonywał naloży na średniej wysokości 18 m z prędkością 2 m/s. Zdjęcia posłużyły do stworzenia w Agi-



obektów ceramicznych. Do wykonania zdjęć kruchych naczyń i lampek pochodzących z wykopalisk Paphos Agora Project wykorzystano Zautomatyzowaną Platformę Fotogrametryczną FocusSphere. Instrument ten został stworzony przez członków KNG Dahlta w ramach projektu, którego kierownikiem był uczestnik wyprawy Witold Niewiem. FocusSphere to maszyna wyposażona w aparat Canon EOS 750D realizująca pomiary fotogrametryczne bliskiego zasięgu [więcej w GEODECIE 3/2017 – red.]. Jedną z wielu zalet tego rozwiązania jest nieinwazyj-



Rys. 3. Model 3D odeonu opracowany na podstawie zdjęć z drona



Rys. 4. Ortofotomapa agory stworzona na podstawie zdjęć z drona

soft Photoscan gęstych chmur punktów i opracowania końcowych ortofotomap z pikselem terenowym 6 mm (obszar agory) i 9 mm (pozostałe miejsca).

● Technologia RTX

Podczas wyprawy studenci KNG Dahlta mieli okazję przetestować odbiornik GNSS Spectra Precision SP60 wyposażony w antenę typu L-Band, która w czasie rzeczywistym odbiera poprawki Trimble CenterPoint RTX (rys. 5). Instrument ten udostępniła firma NaviGate. Technologia Trimble RTX – jak zapewnia producent – pozwala na pomiary na całym świecie i w każdych warunkach z dokładnością 4 cm bez korzystania z sieci naziemnych stacji referencyjnych. Co więcej, pomiary mogą być wykonywane za pomocą tylko jednego odbiornika nawet w terenie bez zasięgu GSM.





Rys. 5. Pomiary satelitarne odbiornikiem GNSS Spectra Precision SP60 w technologii RTX

Pomiary satelitarne z wykorzystaniem technologii RTX znalazły zastosowanie w:

- wyznaczeniu współrzędnych osnowy geodezyjnej założonej na terenie Parku w globalnym układzie współrzędnych,
- wspieraniu ekipy zajmującej się naziemnym skanowaniem laserowym poprzez pomiar współrzędnych wybranych punktów osnowy skaningowej,
- określeniu współrzędnych zabytkowych obiektów Parku.

Dodatkowo w celu sprawdzenia dokładności uzyskiwanych przez SP60 założone zostały dwie bazy testowe składające się odpowiednio z 30 i 55 punktów kontrolnych. Zostały one zlokalizowane w taki sposób, aby na jednej z nich możliwy był pomiar pikiet w dobrych warunkach, a na drugiej przy częściowo zasłoniętym horyzoncie. Wykonano cztery cykle pomiarowe dla każdej z baz w różnych terminach i porach dnia, otrzymując współrzędne globalne.

Dodatkowo wszystkie punkty pomierzono z wykorzystaniem techniki RTK odbiornikiem GeoMax Zenith-25 (nieobsługującym RTX) w lokalnym układzie współrzędnych Parku Archeologicznego. Pozwoliło to na stworzenie bazy danych ze współrzędnymi lokalnymi i globalnymi (RTX) punktów oraz powiązanymi z nimi parametrami (współczynnikami DOP, czasem pomiaru, liczbą śledzonych satelitów itp.).

Analiza pozyskanych danych składała się z trzech etapów:

- sprawdzenia powtarzalności wyników pomiaru pikiet metodą RTX,
- transformacji współrzędnych z odbiornika SP60 do układu lokalnego Parku i wyznaczenia lokalnej dokładności poprzez porównanie ich ze współrzędnymi RTK,

- transformacji współrzędnych lokalnych RTK do układu globalnego z wykorzystaniem statycznych pomiarów PPP oraz wyznaczenia globalnej dokładności RTX.

Przeprowadzone badania pozwoliły stwierdzić, że odbiornik Spectra Precision SP60 oraz zastosowana w nim technologia RTX zapewnia powtarzalność wyników pomiaru pikiet na poziomie gwarantowanym przez producenta (4 cm). Średnia różnica między metodami RTK i RTX wyniosła 3,8 cm. Dokładność globalna dla terenu z odsłoniętym horyzontem to około 3 cm, a w trudnych warunkach – ponad 5 cm (zasłonięty horyzont silnie wpływa na dokładność w przypadku technologii RTX).

Zweryfikowano również czas inicjalizacji, czyli okres, po którym odbiornik osiągał satysfakcjonującą użytkownika dokładność (4 cm) i możliwe było rozpoczęcie pomiaru. Jak twierdzi producent sprzętu, nie powinna ona trwać dłużej

niż 30 minut. Czas inicjalizacji na terenie Parku prawie zawsze mieścił się w granicach 30-40 minut.

•Wirtualne wycieczki

Do realizacji kolejnego zadania – opracowania wirtualnej wycieczki – wykorzystano udostępnione przez firmę Ricoh kamery sferyczne Theta SC. Zdjęcia panoramiczne wykonano w charakterystycznych miejscach Parku Archeologicznego Kato Pafos. Starano się tak zaprojektować ścieżki i ich skrzyżowania, aby użytkownik mógł obejrzeć cały Park. Dodatkowo miejsca wykonania zdjęć pomierzono odbiornikiem SP60. Nadanie geolokalizacji ułatwiło potem połączenie fotografii. Z pomiarów uzyskano około 400 panoram, które podzielono na cztery wycieczki tematyczne prezentujące: agorę i odeon, mury miejskie, obszar wokół domu Dionizosa oraz teren badań włoskiej ekspedycji obejmujący m.in. starożytne podziemne sanktuarium. Opracowane wirtualne wycieczki zostaną umieszczone na stronie internetowej KNG Dahlta.

•Wycieczki uczestników

Wyprawy Bari to nowe wyzwania i poszerzanie horyzontów nie tylko w zakresie technik pomiarowych, ale także w aspekcie odkrywania nowych miejsc na mapie świata. Studenci odwiedzili m.in. sąsiednie stanowiska archeologiczne: pozostałości miasta Kurion, sanktuarium Apollina, a także miasto Amatus z agorą, portem i akropolem. Ponadto dotarli do Skały Afrodyty oraz na plażę Lara, gdzie na niebie obserwowali spadające gwiazdy z roju Perseidów, a na piasku... wykluwające się żółwie.

Młodzi geodeci gościli także w pobliskich ośrodkach naukowych w Nikozji – The Cyprus Institute oraz The Science and Technology in Archeology Research Center. Wysłuchali tam ciekawych prezentacji dotyczących historii i struktury instytutu, prowadzonych projektów, a także zwiedzili nowoczesne laboratoria i zapoznali się z wynikami badań.

•Inspirujący obóz

Wszystkie produkty wygenerowane na podstawie danych pozyskanych w trakcie Wyprawy Bari zostały przekazane wykonawcom Paphos Agora Project i będą wykorzystywane w prowadzonych przez nich badaniach naukowych. Geodezyjno-archeologiczna kooperacja studentów AGH i naukowców z Uniwersytetu Jagiellońskiego okazała się niezwykle rozwijająca i zachęcająca do podjęcia kolejnych interdyscyplinarnych projektów.

Agneszka Ochalek, Justyna Ruchała
KNG Dahlta

Studenci dziękują

XVI Wyprawa Bari nie doszłaby do skutku, gdyby nie wsparcie ze strony: Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH, Stowarzyszenia Geodetów Polskich, KNG Dahlta, Stowarzyszenia Naukowego im. S. Staszica w Krakowie, cypryjskiego Departamentu Starożytności oraz firm: OPGK Opole, OPGK Kraków, Ricoh Polska, MG Piotr Szajt, NaviGate, 3Deling, FlyTech UAV, TECHGIS, Amigeo Migut Garstecki, Esri Polska, Geomax Positioning Polska. Patronat medialny objęła m.in. redakcja miesięcznika GEODETA i portalu Geoforum.pl. Szczególne podziękowania należą się zespołowi Uniwersytetu Jagiellońskiego pod kierownictwem prof. Ewdoksii Papuci-Władyki.