

GEOPROJEKT

Inwentaryzacja oraz digitalizacja obiektów zabytkowych w Ukrainie

By nie utracić bezpowrotnie



Dron DJI Phantom 4 PRO nad
Mauzoleum Błażewskich w Jazłowcu

Integracja danych fotogrametrycznych oraz skanowania laserowego pozwala na stosunkowo szybkie uzyskanie kompleksowych wyników – zarówno 3D, jak i 2D. Jak ważne mogą być te materiały dla ochrony zabytków, świadczy wojna w Ukrainie i zniszczenia czynione przez Rosjan.

**Robert Bombosz,
Łukasz Dębiński,
Piotr Kanclerowicz**

W ostatnich miesiącach nasze firmy – Metior 3D, Inwentaryzacje Budowlane 24 oraz Bombosz Drone Mapping – miały okazję uczestniczyć w ciekawym przedsięwzięciu polegającym na opracowaniu dokumentacji odtworzeniowej trzech obiektów sakralnych w Ukrainie. Wszystko we współpracy z Narodowym Instytutem Polskiego Dziedzictwa Kulturowego za Granicą – jednostką realizującą projekty o charakterze konserwatorskim, naukowo-badawczym, edukacyjnym i popularyzatorskim. W listopadzie ub.r. z wykorzystaniem technik skanowania laserowego, fotogrametrii niskiego pułapu oraz fotogrametrii bliskiego zasięgu pozyskaliśmy dane niezbędne dla digitalizacji polskich zabytków znajdujących się w Jazłowcu (obwód tarnopolski) oraz Włodzimierzu Wołyńskim (obwód wołyński).

• Pomiar na ratunek

Dla dwóch obiektów w Jazłowcu – Kaplicy Grobowej Błażewskich położonej na terenie polsko-ukraińskiego cmen-



Fot. Bombosz Drone Mapping

Zespół pomiarowy przed kościołem we Włodzimierzu Wołyńskim. Od lewej: Piotr Kanclerowicz, Łukasz Dębiński, Seweryn Rogut, Robert Bombosz

tarza oraz Sanktuarium Błogosławionej Marceliny Darowskiej (klasztoru sióstr Niepokalanek) mieszczącego się w części dawnego XVII-wiecznego pałacu – Instytut w 2020 r. zlecił przygotowanie raportu z rozpoznania problemów techniczno-konserwatorskich. Zadania tego podjęła się pracownia architektoniczno-konserwatorska Festgrupa. Następnie do działania przystąpiliśmy my, opracowując dokumentację odtworzeniową. Podobne materiały przygotowaliśmy również dla barokowego XVIII-wiecznego kościoła św. Joachima i św. Anny we Włodzimierzu Wołyńskim, blisko polskiej granicy. W skład dokumentacji przekazanej zamawiającemu weszły m.in. rysunki CAD (w tym liczne rzuty i przekroje) i wysokorozdzielcze ortofotoplany. Powstały one na podstawie złożonych i oczyszczonych chmur punktów z kompleksowego skanowania laserowego oraz modeli 3D opracowanych metodą fotogrametryczną z kilku tysięcy zdjęć, które również dostarczyliśmy Instytutowi.

Wszystkie te produkty miały posłużyć specjalistom odpowiedzialnym za odnowienie zabytków zinventaryzowanych przez nasz zespół od piwnic po dachy. Miały także przyczynić się do popularyzacji i zachowania polskiego dziedzictwa poza granicami kraju. Rosyjska agresja na Ukrainę może jednak pokrzyżować te plany. W obecnej sytuacji pod znakiem zapytania stają dalsze losy obiektów w Jazłowcu i Włodzimierzu Wołyńskim oraz ich ewentualna renowacja. Czy i w jakim stopniu wykonane zostaną te prace, zależy w dużym stopniu od wyniku i efektów trwającej wojny.

• My za tym stoimy

Nim napiszemy szerzej o pracy w Ukrainie, chcielibyśmy opowiedzieć

trochę o sobie. CAD4U to niewielka firma istniejąca od 2014 r. pod marką handlową Inwentaryzacje Budowlane 24. Głównym zakresem jej działalności są profesjonalne inwentaryzacje architektoniczne i architektoniczno-budowlane obiektów o różnych kubaturach i funkcjach. IB24 często wykonuje wymagające i detaliczne opracowania na potrzeby projektów i ekspertyz konserwatorskich. Od trzech lat swoje dokumentacje tworzy jedynie na bazie danych ze skanowania laserowego 3D. Przy bardziej wymagających projektach firma chętnie nawiązuje współpracę z innymi podmiotami.

Firma Metior 3D – korzystając z nowoczesnych skanerów 3D oraz profesjonalnych programów do obróbki danych – realizuje zlecenia z zakresu architektury, okrętownictwa i kontroli jakości. Wykonuje dokumentacje CAD 2D, modele 3D odtworzeniowe obiektów oraz pomiary weryfikacyjne potwierdzające poprawność wykonanych prac. W swojej pracy promuje korzyści płynące ze skanowania laserowego oraz BIM (firma jest członkiem wspierającym „Stowarzyszenie BIM”). W ostatnim czasie Metior 3D wykonywał: pomiary odkształceń płaszcza zbiorników paliwowych PERN, skanowanie i pomiary fotogrametryczne elewacji Pałacu Mostowskich w Warszawie oraz skanowanie maszynowni statków.

Bombosz Drone Mapping to gdański zespół młodych geodetów wykształconych przez Katedrę Fotogrametrii AGH w Krakowie, wykorzystujących możliwości wynikające z połączenia BSP oraz fotogrametrii. Firma na co dzień zajmuje się tworzeniem ortomozaik, numerycznych modeli pokrycia terenu, modeli 3D obiektów oraz pomiarami objętości. Ostatnio opracowała m.in.



Pomiar piwnicy pod Kaplicą Grobową Błazewskich

popularnego wśród geodetów bezzałogowca DJI Phantom 4 Pro oraz aparat fotograficzny Nikon D5100. Lustrzanką pozyskaliśmy zdjęcia wnętrza obiektów, ciasnych zaułków, przestrzeni pod daszkami, przejść, a także ścian w sąsiedztwie drzew (w sumie 800 zdjęć klasztoru i 900 kaplicy).

Z pułapu BSP obfotografowaliśmy natomiast elewacje i dachy zabytków oraz wnętrza kaplicy cmentarnej. Podczas całego wyjazdu pozyskaliśmy około 5 tys. zdjęć z drona (klasztor – 3 tys., mauzoleum i kościół – po 1 tys.). Przy fotografowaniu maszyna latała w odległości zaledwie kilku metrów od ścian i dachów. Pozwoliło nam to na uzyskanie piksela terenowego zdjęć rzędu pojedynczych milimetrów, a co za tym idzie – na wysokorozdzielczą digitalizację zabytków uwzględniającą każdy detal. A takich istotnych detali było mnóstwo – nisko położone okienka, zdobienia naścienne, krzyże na wieżach czy ubytki w pokryciu dachowym.

Wszystkie loty wykonywane były manualnie, co wynikało zarówno z chęci kompletnego i szczegółowego odwzorowania zabytków, jak i kwestii bezpieczeństwa. Liczne drzewa rosnące w pobliżu obiektów, linie energetyczne czy sąsiednie budynki wykluczały możliwość skorzystania z trybów automatycznych.

● Chmura do chmury

Prace kameralne zajęły nam kilka tygodni. Gros czasu pochłonęły procesy obliczeniowe wykonywane przez specjalistyczne aplikacje, trwające nawet po kilka dni każdy. Dane ze skaningu opracowaliśmy w programie Scene stworzonym z myślą o skanerach laserowych Faro. Oprogramowanie to pozwoliło łatwo i wydajnie przetworzyć pozyskane dane dzięki funkcji automatycznego rozpoznawania i rejestracji skanów (metoda „cloud to cloud”). Aby osiągnąć odpowiednie wpasowanie, w szczególności skomplikowanych miejscach korzystaliśmy ponadto z manualnego wskazania punktów charakterystycznych i kul pomiarowych. Połączone i przefiltrowane chmury stanowiły wsad do dalszej obróbki w środowisku CAD. Były także podstawą do nadania poprawnej skali oraz georeferencji modelowi fotogrametrycznemu (o czym za chwilę szerzej).

● Modele ze zdjęć

Do opracowania danych fotogrametrycznych – stworzenia modeli 3D i pro-

ortomozaikę stanowiska archeologicznego na Starym Mieście w Elblągu oraz modele 3D pomnika króla Jana III Sobieskiego w Gdańsku i wyremontowanej Śluzы Północnej w Przegalinie.

● Skanowanie zabytków

Prace terenowe w Ukrainie zrealizowaliśmy w dniach 8–12 listopada 2021 roku. W tym czasie udało nam się nie tylko zebrać ogromną ilość danych, ale także sprawnie pokonać dzielącą oba miasta odległość po ukraińskich drogach, co nie było łatwe. W skład naszego zespołu pomiarowego wchodził: Robert Bombosz (Bombosz Drone Mapping), Łukasz Dębiński (Metior 3D), Piotr Kanclerowicz (IB24) i Seweryn Rogut (Metior 3D). Trzy osoby – z firm z Metior 3D i IB 24 – odpowiedzialne były za naziemne skanowanie laserowe. Wykorzystaliśmy skanery marki Faro: Focus X130 oraz Focus M70. W trakcie prac niezbędne okazały się również: drabina teleskopowa oraz kilka statywów, w tym 4-metrowy, które umożliwiły odwzorowanie każdego zakamarka. Chcemy bowiem podkreślić, że pomiarowi podlegały wszystkie wnętrza zabytków oraz ich elewacje. Nie lada wyzwaniem okazało się skanowanie piwnicy pod kaplicą, do której prowadził jeden niewielki otwór w stropie (fot. powyżej). Wielkie brawa dla całego zespołu skanującego za od-

wagę i pomysłowość! Dzięki nim udało się pozyskać kompletne odwzorowanie mauzoleum.

W trakcie pomiarów nie korzystaliśmy z klasycznej osnowy geodezyjnej. Dzięki gestemu rozmieszczeniu stanowisk skanera (w sumie dla trzech zabytków było ich 1500) uzyskaliśmy bardzo dobre wzajemne pokrycie sąsiednich skanów. Pozwoliło nam to na „sztywne” połączenie stanowisk, minimalizujące możliwe błędy, bo bazujące na wpasowaniu milionów punktów sąsiednich chmur. W nielicznych miejscach posiłkowaliśmy się jednak kulami pomiarowymi. Takie podejście znacznie przyspieszyło prace terenowe. Jednocześnie nie pozbawiło nas możliwości kontroli wzajemnego dopasowania skanów czy wpasowania bloku zdjęć w punkty pomiarzone na chmurze ze skaningu – za pomocą obliczanych przez oprogramowanie błędów wyrażonych w jednostkach metrycznych.

Wszystkie obiekty zeskanowaliśmy z rozdzielczością 6 mm dla odległości 10 m. Rejestrowaliśmy też intensywność odbicia. Do pokolorowania finalnych chmur punktów sięgnęliśmy natomiast po zdjęcia z drona i naziemne.

● Fotografie z ziemi i powietrza

Za pozyskanie wszystkich zdjęć odpowiedzialna była jedna osoba z Bombosz Drone Mapping. Wykorzystaliśmy

Fot. Bombosz Drone Mapping



Klasztor w Jazłowcu w chmurze punktów

duktów pochodnych – skorzystaliśmy z programu RealityCapture 1.2. Jest to jedno z wiodących rozwiązań na rynku w dziedzinie modelowania 3D scen, świetnie wykorzystujące algorytm SfM (Structure from Motion) do rekonstrukcji powierzchni sfotografowanego obiektu. Pracę nad danym obiektem rozpoczynaliśmy od importu wszystkich pozyskanych zdjęć – zarówno z BSP, jak i aparatu fotograficznego. Następnym krokiem było przeprowadzenie orientacji wzajemnej zdjęć, której celem było ustalenie powiązań łączących ze sobą wszystkie zdjęcia bloku oraz elementów orientacji wewnętrznej użytych kamer (łącznie z dystorsją). Zazwyczaj przy obiektach tego typu i rozmiaru – klasztor miał ponad 100 metrów długości – oraz tysiącach zdjęć wykonanych z różnych perspektyw całego zbioru obrazów nie udaje się od razu zorientować poprawnie jako jeden blok. Konieczny jest manualny pomiar dodatkowych punktów wiążących zdjęcia odrębnych bloków i ponowne przeprowadzenie orientacji wzajemnej. Tak też było i w naszym przypadku.

Następnie mogliśmy przystąpić do integracji bloku zdjęć z finalną chmurą punktów. Poprzez pomiar wspólnych punktów charakterystycznych obiektów widocznych na skanach i zdjęciach nadaliśmy blokowi poprawną skalę oraz georeferencję bazującą na danych laserowych. W dalszej kolejności w wyniku procesu aerotriangulacji poznaliśmy EOZ (elementy orientacji zewnętrznej) obrazów oraz współrzędne punktów wiążących tworzących tzw. rzadką chmurę punktów. Na tak przygotowanym zbiorze zintegrowanych danych przeprowadziliśmy proces rekonstrukcji powierzchni (z wykorzystaniem zarówno zdjęć, jak i skanów), w wyniku

Skanowanie elewacji dawnego pałacu, a obecnie klasztoru w Jazłowcu



Fot. Metlor 3D

którego powstała gęsta chmura punktów oraz model 3D typu mesh obiektu. Na powstałe produkty 3D nałożyliśmy jeszcze tekstury bazujące na zdjęciach, a zatem bardzo szczegółowe, z milimetrową rozdzielczością.

Po wyczyszczeniu ze zbędnych elementów oraz przycięciu do opracowywanego zakresu pokolorowane gęste chmury punktów oraz oteksturowane modele 3D były gotowe do eksportu. W końcu, bazując na modelach 3D, stworzyliśmy wysokorozdzielcze (nawet 2-milimetrowe) ortofotoplany elewacji i dachów, a z nich w oprogramowaniu typu CAD – dokumentację rysunkową 2D.

• Wojna w Ukrainie

Nie możemy tu nie nawiązać do najważniejszych wydarzeń ostatnich tygodni. Rosyjska agresja na Ukrainę bardzo nami wstrząsnęła. Kraj będący na początku swojej drogi ku rozwojowi nowoczesnych technologii, o czym parę miesięcy temu mogliśmy się przekonać, teraz walczy o przetrwanie. Zupełnie inaczej patrzy się na dziejącą się tam tragedię, kiedy niedawno na własne oczy oglądało się ukraińskie wsie i miasta.

Pracę w Ukrainie wspominamy bardzo ciepło, mimo niskich temperatur, jakie wówczas pano-

wały. Pyszna i obfita kuchnia, piękne krajobrazy i życzliwi ludzie – wszystko to zapadło nam w pamięć obok biedy, rażących braków w infrastrukturze, ale także wyróżniających się z otoczenia złotymi kopułami cerkwi. W Jazłowcu zapoznaliśmy się z zespołem ukraińskich geodetów, którzy wykonywali pomiary zagospodarowania terenu wokół klasztoru. Z goszczącymi nas w klasztorze siostrami nie mamy teraz kontaktu, prawdopodobnie nie wszystko u nich działa.

We Włodzimirzu Wołyńskim przyjął nas sam mer miasta wraz z głównym architektem. Podczas spotkania podzieliliśmy się informacjami o postępach w wykonywanych przez nas pracach, a także zapoznaliśmy z wizualizacjami planów przebudowy ścisłego centrum miasta – zaprezentowano nam nowoczesny, iście europejski projekt.

W bezpośrednim sąsiedztwie digitalizowanych przez nasz zespół obiektów na razie nie toczą się działania wojenne, jednak już pierwszego dnia wojny ostrzelane zostało lotni-

sko w Iwano-Frankiwsku, leżące około 80 km od klasztoru w Jazłowcu. Wiemy też, że do Włodzimierza Wołyńskiego dociera pomoc humanitarna z Polski, chociażby z Krakowa. Oczywiście jesteśmy całym sercem po stronie Ukraińców i staramy się wspierać działania w naszym kraju, których celem jest niesienie im pomocy.

• Musimy zachować dla potomnych

To, co się dzieje obecnie w Ukrainie, jest niewytłumaczalnym barbarzyństwem zadawanym zwykłym, niewinnym ludziom, jak i gwałtem na obiektach o często bezcennej, ponadczasowej wartości. To nigdy nie powinno się wydarzyć. Krzywda wszystkich ludzi, również tych, których mieliśmy okazję poznać w trakcie pobytu w Ukrainie, łamie nam serca. Mamy jednak nadzieję, że ten dramat szybko się skończy, a także że będziemy mogli po wszystkim w jakiś sposób pomóc w wielkim planie odbudowy Ukrainy, dokładając naszą drobną cegiełkę wiedzy i doświadczenia.

W kontekście tych wydarzeń rodzi się w nas także pewna refleksja. Musimy sobie jeszcze mocniej uświadomić, jak ważne jest zachowanie obiektów naszego dziedzictwa kulturowego dla kolejnych pokoleń.

Obecnie możemy korzystać z precyzyjnych narzędzi pomiarowych i doskonałych metod obrazowania parametrycznego pozwalających archiwizować obiekty o często skomplikowanej architekturze, trudnej do odtworzenia innymi metodami. Wydaje się więc, że jest obowiązkiem naszego pokolenia, aby wdrażać na szeroką skalę, wręcz systemowo, programy cyfryzacji i dokumentacji wszystkich cennych obiektów według najnowszych standardów i metod. Jedynie tak będziemy mogli zachować te miejsca w dzisiejszym stanie, a jeśli zajdzie taka konieczność – zrekonstruować i odbudowywać.

Robert Bombosz

Bombosz Drone Mapping
Łukasz Dębiński
Metior 3D

Piotr Kandlerowicz
Inwentaryzacje
Budowlane 24

Model 3D kościoła
we Włodzimirzu Wołyńskim

Fot. Bombosz Drone Mapping