



Cerkiew w układzie

W ramach współpracy kół naukowych Wyższej Szkoły Inżyniersko-Ekonomicznej w Rzeszowie oraz Politechniki Lwowskiej jesienią 2014 r. pracownicy oraz studenci obu uczelni wykonali skanowanie wnętrza zabytkowej cerkwi w Kwiatoniu. Wynikiem prac było stworzenie chmury punktów w państwowym układzie współrzędnych 2000.

Jako obiekt doświadczalny wybrano pochodzącą z XVII wieku cerkiew św. Paraskewy w Kwiatoniu (gm. Uście Gorlickie), należąca do najlepiej zachowanych cerkwi łemkowskich

w Polsce. 21 czerwca 2013 r. została ona wpisana na listę dziedzictwa kulturowego UNESCO. Świątynia ta nie była wcześniej inwentaryzowana ani metodami fotogrametrycznymi, ani za

pomocą skanowania laserowego. Dlatego wykonane przez nas prace oprócz wartości naukowej mają też znaczenie praktyczne – pozyskane chmury punktów mogą zostać wykorzystane przez

Narodowy Instytut Dziedzictwa do inwentaryzacji cerkwi. Warto także nadmienić, że ta metoda jest stosowana z powodzeniem na Ukrainie przez pracowników Politechniki Lwowskiej, którzy zinventaryzowali w ten sposób już ponad 65 obiektów.

W wyniku skanowania laserowego otrzymujemy chmurę punktów w lokalnym układzie współrzędnych skanera, innym dla każdego stanowiska. Aby uzyskać jeden model, skany trzeba wzajemnie zorientować. Dysponując wspólnymi punktami dostosowania (kule oraz tarcze), można dokonać „złożenia” skanów polegającego



Kwiaton, widok zabytkowej cerkwi św. Paraskewy. Z prawej i na górze strony: pokolorowana chmura punktów pozyskana z wnętrza obiektu



na transformacji kilku lokalnych układów współrzędnych do jednego wspólnego. Zastosowanie skanera Faro Focus 3D, rozdzielczości skanowania 6 mm/10 m, nadliczbowych punktów dostosowania (niezbędne dwa wspólne dla sąsiednich stanowisk) oraz oprogramowania Faro Scene pozwala na wzajemne wpasowanie chmur punktów z błędem średnim rzędu 2-10 mm. Ta metoda ma jednak dwie wady. Po pierwsze, nadal uzyskujemy układ lokalny. Po drugie, otrzymany błąd jest tak naprawdę odchyleniem standardowym z wyrównania metodą najmniejszych kwadratów całego modelu i niewiele mówi o dokładności wyznaczenia pojedynczych punktów skanu.

W praktyce często dochodzi do sytuacji, że kilka sąsiednich skanów ma tylko 2-3 punkty wspólne, i to znajdujące się blisko siebie (np. podczas „łączenia skanów przez drzwi”), przez co powstają konstrukcje, które można porównać do wiszących kilkuelementowych ciągów poligonowych. W przypadku cerkwi w Kwiatoniu taka sytuacja miała miejsce w zakrytej oddzielonej od nawy głównej obiektu ikonostasem oraz wąskimi drzwiami. Dlatego przy bardzo małym błędzie RMS całego modelu mogą wystąpić pojedyncze stanowiska skanera, dla których będą znacznie większe odchylenia położenia punktów.

Prace wykonywane przez nasz zespół w Kwiatoniu polegały na praktycznym zastosowaniu metody precyzyjnego wpasowywania skanów z wykorzystaniem tarcz, których współrzędne przestrzenne w układzie 2000 zostały wyznaczone metodą klasycznych pomiarów geodezyjnych. Zadanie to zrealizowano, mierząc kilka punktów wokół budynku techniką RTN (bez stabilizacji), następnie w miejscu anten zamon-

Przykładowa tarcza wykorzystywana jako punkt dostosowania



Skanowanie wnętrza cerkwi

towano na spodarkach lustra. Tak stworzone punkty posłużyły do nawiązania tachimetru metodą wolnego stanowiska (wcięcie), dzięki czemu minimalizuje się ryzyko poruszenia statywów, a instrument może zostać ustawiony w miejscach dogodnych do pomiaru tarcz.

Pomiar tarcz jest wykonywany metodą bezlustrową. W trakcie prac w Kwiatoniu pomierzono 11 tarcz umieszczonych wewnątrz obiektu. Pomiar wykonano z jednego stanowiska instrumentu ulokowanego wewnątrz obiektu, jednak na tyle blisko drzwi, aby możliwe było nawiązanie do znajdujących się na zewnątrz statywów. Wykorzystanie sieci TPI NETpro (oferującej poprawki także do systemu GLONASS), oraz 3-4 punktów nawiązania widocznych z każdego stanowiska pozwoliło na pomiar tarcz z dokładnością względem punktów wokół budynku (o współrzęd-



nych określonych w układzie 2000) na poziomie 20 mm.

Pomiar GNSS punktów służących jako nawiązanie tachimetru jest krytycznym elementem tej metody określającym jej dokładność, gdyż sam pomiar tachimetryczny znaków pomiarowych cechuje się znacznie wyższą dokładnością. Wykonanie wpasowania skanów przede wszystkim na podstawie niezależnie pomierzonych punktów gwarantuje zachowanie jednakowej dokładności dla wszystkich stanowisk.

Mimo że uzyskiwane błędy średnie wyrównania są większe, wiarygodność tej metody jest znacznie lepsza, w szczególności w sytuacji, gdy obiekt jest złożony z kilku elementów, które mają ze sobą słabe połączenie. W przypadku zabytkowych cerkwi, które najczęściej mają jedne małe drzwi, elementem krytycznym jest łączenie skanów wykonywanych na zewnątrz i wewnątrz obiektu. Podczas prac w Kwiatoniu uzyskano (z wykorzystaniem tarcz o znanych współrzędnych) średni błąd wzajemnego wpasowania 13 skanów wynoszący 12 mm. Dla porównania próba wpasowania skanów w układzie lokalnym na podstawie automatycznie dobranych punktów dostosowania dawała błąd wynoszący 5 mm.

Chmura punktów w układzie 2000, o średnim błędzie pomiaru rzędu pojedynczych centymetrów, daje nie tylko pełną dokumentację obiektu wraz z jego usytuowaniem, ale także możliwość monitoringu odchylenia, odkształceń oraz przemieszczeń spowodowanych na przykład ruchami masowymi ziemi czy uszkodzami górnictwami. Pomiaru te mogą odbywać się bez stabilizacji punktów osnowy pomiarowej, praca jest szybka i łatwa do wykonania nawet przez jedną osobę, co jest szczególnie istotne w przypadku obszarów, gdzie występuje bardzo szeroki zakres przemieszczeń i trudno w bliskości obiektu stabilizować punkty stałe, które by tym przemieszczeniom nie podlegały.

Efekt prac w formie kolorowej chmury 420 mln punktów pomierzonych z dokładnością rzędu pojedynczych centymetrów w układzie współrzędnych 2000 świadczy o tym, że połączenie nowoczesnych technik (naziemny skaning laserowy, tachimetria oraz pomiary GNSS) daje całkiem nowe możliwości szybkiej (jeden dzień pracy) inwentaryzacji oraz monitoringu obiektów przestrzennych.

Paweł Matuła
WSI-E Rzeszów
Yurii Golubinka
Politechnika Lwowska