

Testujemy urządzenie viDoc RTK rover firmy Pix4D

Skaner spod strzechy

Czy smartfon ze specjalną nakładką wystarczy, by łatwo i szybko pozyskiwać chmurę punktów o centymetrowej dokładności? Brzmi chyba zbyt pięknie, by było prawdziwe...

**Jerzy Królikowski,
Maciej Wywiął, Grzegorz Durło**

Sporą niespodzianką dla branży elektroniki użytkowej była zapowiedź Apple'a z początku 2020 roku dotycząca wypuszczenia pierwszego tabletu i smartfona wyposażonego w lidar. Mowa o iPadzie Pro oraz iPhone Pro w wersji 12 (i wyższych). Chodziło nie tylko o samo zainstalowanie tego sensora, ale także zachowanie niewielkich rozmiarów oraz rozsądnej ceny tych popularnych urządzeń mobilnych. Oczywiście skanera w sprzęcie Apple'a nie umieszczono z myślą o wykonywaniu precyzyjnych pomiarów. Chodziło raczej o kwestie bardziej codzienne, jak choćby korzystanie z rzeczywistości rozszerzonej czy wykonywanie lepszych i bardziej oryginalnych zdjęć (lidar wspiera bowiem autofocus oraz umożliwia nakładanie na obraz z kamery atrakcyjnych efektów graficznych).

Mimo to zewnętrznie firmy dość szybko po premierze wypuściły mobilne aplikacje,

które pozwalają wykorzystać ten sensor w celach stricte pomiarowych. Dla geodezji nie była to raczej istotna wiadomość, bo – jak wyjaśnialiśmy w GEO-DECIE 8/2020 – w praktyce sensor ten oferuje niewielki zasięg oraz niezbyt imponującą dokładność. Sytuację zmieniła jednak szwajcarska firma Pix4D wraz z premierą urządzenia viDoc RTK rover.

• Czym jest viDoc RTK?

W największym skrócie instrument ten jest specjalnym modulem dołączanym do iPada bądź iPhone'a, który pozwala pozyskiwać chmurę punktów 3D o centymetrowej dokładności (fot. 1). Jak sugeruje nazwa, jest to możliwe dzięki wbudowanemu odbiornikowi GNSS-RTK wraz z niewielką i precyzyjną anteną satelitarą. Dodatkowym wsparciem są dwa dalmierze laserowe o dokładności 2 mm i zasięgu 40 metrów – pierwszy skierowany jest do dołu, a drugi do przodu. Sensory te pozwalają na precyzyjne wyznaczenie współrzędnych pojedynczych punktów. Są zatem przydatne nie tylko w pomiarach sytuacyjno-wysokościowych (w tym

punktów niedostępnych), ale również przy wyznaczaniu fotopunktów.

By korzystać z viDoc RTK, należy na smartfonie lub tablecie zainstalować aplikację Pix4Dcatch. Łączy ona dane z lidar, kamery i sensorów orientacji iPhone'a/iPada z pomiarami GNSS, generując chmurę punktów oraz oteksturowany model 3D otoczenia. Warto wspomnieć, że oprogramowanie to zaprezentowano jeszcze przed premierą viDoc RTK. Jak nie trudno zgadnąć, początkowo oferowało ono zatem dane o dokładności odpowiadającej przeciętnemu odbiornikowi GPS.

Zestaw jest kompatybilny z iPadami Pro 2021 oraz Pro 2020, a także z iPhone'ami: 13 Pro, 13 Pro Max, 12 Pro, 12 Pro Max, 11 Pro, 11 Pro Max oraz XR. Warto zwrócić uwagę, że viDoc RTK obsługuje również smartfony bez lidar. W tym przypadku modele 3D są generowane wyłącznie na podstawie dopasowania zdjęć. Lidar daje jednak tę zaletę, że pozyskuje mapy głębi zawierające odległość urządzenia od otoczenia (fot. 2), które pozwalają podnieść jakość wyników danych.

• Prościej się nie da

Po naszym redakcyjnym teście jedno można powiedzieć o tym wynalazku bez najmniejszej wątpliwości: viDoc jest niezwykle prosty w obsłudze. Moduł wyjmujemy z poręcznej walizeczki, dołączamy antenę GNSS, a następnie instalujemy na smartfonie/tablecie. Warto tu zaznaczyć, że instrument ten ma oddzielną wersję dla iPada oraz iPhone'a, co pozwala idealnie dopasować go do obudowy urządzenia mobilnego, znacznie ułatwiając instalację.

Dalej wystarczy nacisnąć jedyny dostępny na nim przycisk. Kolejnym krokiem jest uruchomienie aplikacji Pix4Dcatch – również ona jest niezwykle prosta w obsłudze. Tuż po uruchomieniu trybu pomiarowego naszym oczom ukaże się



Fot. Jerzy Królikowski

1. ViDoc RTK zintegrowany z iPhonem



Fot. NaviGate

2. Przykład map głębi pomierzonych przez lidar w iPhone

po prostu obraz z kamery. Nim jednak rozpoczniemy skanowanie, należy się połączyć przez Bluetooth z viDoc, a następnie z korektami RTK (w przeciwnym razie viDoc będzie korzystał ze znacznie mniej dokładnego odbiornika w urządzeniu Apple'a), co wygląda podobnie jak w geodezyjnych odbiornikach GNSS. Płynię stąd oczywisty wniosek, że do precyzyjnych pomiarów potrzebujemy zarówno możliwie najlepszej widoczności nieba, jak i dostępu do internetu (moduł nie obsługuje korekt nadawanych przez radio ani metody PPK).

Gdy uzyskamy połączenie ze strumieniem korekt, wystarczy wybrać przycisk rozpoczęcia pomiaru. Na obrazie z kamery wyświetlać się wówczas będzie w trybie rozszerzonej rzeczywistości informacja, jakie obiekty zostały już pomierzone (fot. 3). Jest to funkcja o tyle przydatna, że początkującym użytkownikom może wydawać się, iż pomiar przebiega tu nieintuicyjnie. Bywa bowiem tak, że mierzone są obiekty dalsze, a pomijane te bliżej nas. To dla nas sygnał, że aby uzyskać kompletny model 3D, należy podejść jeszcze bliżej skanowanego obiektu. Pix4Dcatch informuje ponadto użytkownika o wszelkich nieprawidłowościach, np. o tym, że poruszamy się zbyt szybko.

Przydatną funkcją jest także bieżący podgląd chmury punktów, który pozwala wychwycić np. niewystarczającą szczegółowość odwzorowania niektórych obiektów. O tym, że warto korzystać z tej opcji, przekonaliśmy się na własnej skórze. Chcąc ukończyć pomiar przed nadchodzącym oberwaniem chmury, nie skontrolowaliśmy danych przed zapisaniem. W efekcie wynikowy model okazał

się mocno zniekształcony. Niewykluczono, że przyczyną był intensywny ruch samochodowy w okolicy. Analiza zarówno tego, jak i innych pomiarów, które wykonaliśmy, prowadzi zresztą do wniosku, że o ile sama obsługa zestawu jest banalnie prosta, to uzyskanie poprawnych danych 3D wymaga jednak odrobiny wprawy.

Po zakończeniu pomiaru możemy w szczegółach podejrzeć wynikową chmurę punktów oraz oteksturowany model. Co jednak istotne, nie są to jeszcze dane metryczne. By je uzyskać, zebrane materiały należy przetworzyć w oprogramowaniu fotogrametrycznym. Ale Pix4D ma tu znacznie ciekawszą propozycję. Dane można bowiem przesłać do chmury obliczeniowej Pix4Dcloud, dzięki czemu nie potrzebujemy mocnych stacji roboczych. Czas obróbki przeciętnego projektu na tej platformie z reguły nie przekracza godziny i zależy od liczby wyodrębnionych klatek. Gdy proces się zakończy, otrzymamy link do strony, gdzie wynikowe dane będziemy mogli nie tylko oglądać w dwóch i trzech wymiarach, ale również wykonywać na nich pomiary, w tym długości, powierzchni i objętości (fot. 4). Co szczególnie istotne dla geodezji, możliwe jest także pobranie danych w pliku LAS w celu bardziej zaawansowanej obróbki w dowolnej aplikacji obsługującej ten popularny format.

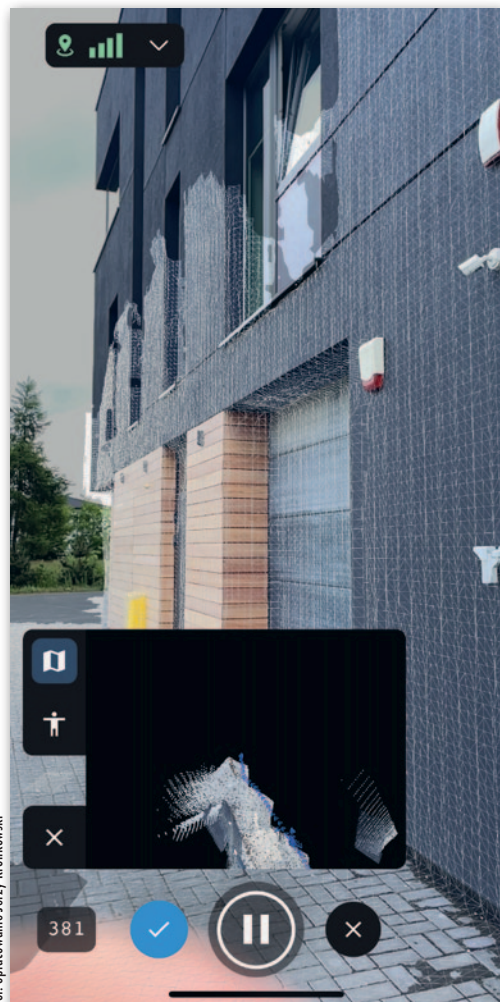
Szczególnie pozytywne wrażenie w viDoc RTK zrobiła na nas płynność i szybkość pracy. Choć przecież procesor smartfona/tabletu operuje na zbiorach zajmujących setki megabajtów, dane wyświetlają się na ekranie całkiem sprawnie, także w widoku 3D. Spora w tym zasługa porządnego hardware'u Apple'a.

• Faktycznie centymetry?

Intuicyjność obsługi to jedno, a co z jakością pomiarów? Czy viDoc faktycznie oferuje dokładność na poziomie 5 cm, jak zapewnia producent? Zainteresowało nas także, że w oficjalnej specyfikacji produktu słowem nie wspomniano o zasięgu pomiaru, a to przecież bardzo istotny parametr.

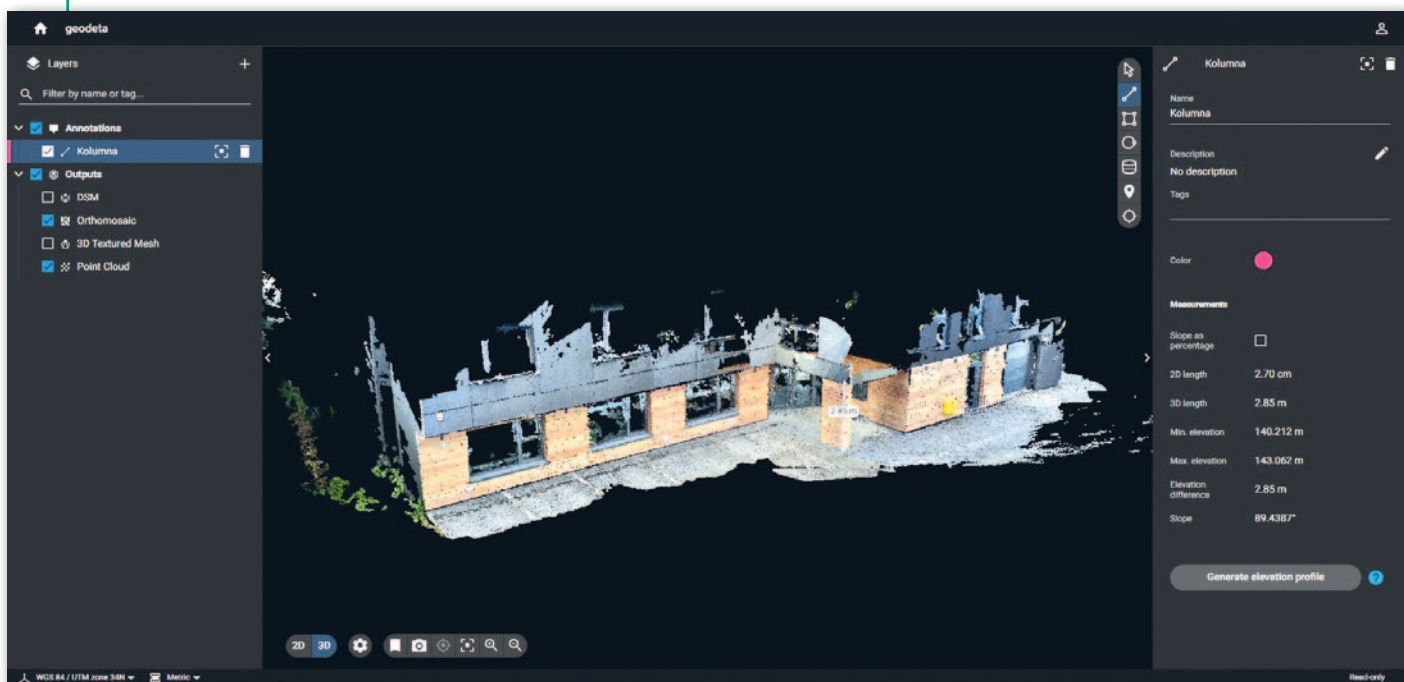
Postanowiliśmy sprawdzić to sami. Na początek zeskanowaliśmy siedzibę warszawskiego biura firmy NaviGate – krajowego dystrybutora oprogramowania Pix4D i urządzenia viDoc. Chodząc w odległości 1–3 metrów od bryły budynku, udało nam się w szczegółach pomierzyć całą pierwszą kondygnację oraz mniej więcej połowę drugiej (fot. 4). Krótko mówiąc, trudno podać konkretny zasięg pomiaru viDoc RTK, choć wynosi on w granicach kilku metrów.

Wizualnie pozyskane dane wydają się w porządku. Poprawnie została odwzoro-



Fot. opracowanie Jerzy Królikowski

3. Wizualizacja postępów pomiarów w mobilnej aplikacji Pix4Dcatch



Fot. opracowanie Jerzy Królkowski

4. Wizualizacja wyników modelowania 3D wykonanego przez chmurowe oprogramowanie Pix4Dcloud

wana nie tylko dolna część bryły budynku, ale i detale, takie jak choćby stojak na rower, kamery monitoringu, oświetlenie czy skrzynka gazowa. Stosując przeglądarkowe narzędzie firmy Pix4D, porównaliśmy także wymiary kilku obiektów. Efekt? Dla kilku z nich wartości zgadzały się niemal idealnie, natomiast rozbieżności z reguły nie przekraczały 1 cm. W jednym przypadku sięgnęły blisko 2 cm, co mogło być efektem nie do końca idealnego wskazania punktów w przeglądarkowym narzędziu. Na marginesie, w naszej ocenie mogłoby być ono pod tym kątem nieco udoskonalone.

By sprawdzić dokładność bezwzględną danych, udaliśmy się z viDoc RTK na pobliski punkt osnowy. Różnice między współrzędnymi katalogowymi i pomierzonymi wyniosły 5 cm dla X i 3 cm dla Y. Oczywiście – jak zwykle – musimy w tym miejscu zaznaczyć, że podanej

wyżej wartości nie należy wprost utożsamiać z błędem pomiaru viDoc RTK, gdyż trzeba by też uwzględnić błąd osnowy.

• ViDoc wnikliwym okiem dystrybutora

Zdecydowanie bardziej wyczerpujące testy tego instrumentu przeprowadzili Maciej Wywiół, Grzegorz Durło oraz Kamil Tomiak z firmy NaviGate, i to im oddajemy teraz głos. Miejscem eksperymentu były ruiny budynku starej prochowni z okresu I wojny światowej zlokalizowanego na Wzgórzu Swaroga w dzielnicy Podgórze w Krakowie w rejonie kamieniołomu Liban (fot. 5). Obiekt o łącznej kubaturze około 120 m³ jest złożony z jednej kondygnacji z fragmentem ściany szczytowej i zwieńczony stropem betonowym.

Prace terenowe rozpoczęto od zamarkowania i pomierzenia osnowy pomiarowej przy użyciu precyzyjnego odbiornika Spectra Precision SP85 na tyczce

z uchwytem typu tripod oraz rejestratorem Mobile Mapper 60 wyposażonym w oprogramowanie terenowe Spectra Geospatial Origin. Pomiar był uśrednieniem 30 epok pomiarowych. Korzystano z poprawek NTRIP (RTN w serwisie ASG-EUPOS). Następnie metodą wcięcia wstecz ustawiono dwa stanowiska swobodne tachimetru Spectra Focus 35. Z obu stanowisk pomierzono łącznie 6 tarcz pomiarowych (wykorzystanych do kontroli wyrównania zdjęć z drona) oraz 15 tarcz pomiarowych z krzyżami nitek. W celu zachowania możliwie jak najwyższych dokładności nawiązanie stanowiska oraz osnowę fotogrametryczną pomierzono z wykorzystaniem miniprzyzmatu, a także na obiekcie – bezlustrowo.

Z kolei model fotogrametryczny obiektu wykonano dwiema metodami za pomocą 3 urządzeń. Pierwszą był nalot przy użyciu drona DJI Matrice 300 RTK wyposażonego w kamerę DJI Zenmuse P1 z obiektywem 35 mm. Misję zaplanowaną w aplikacji DJI Pilot zrealizowano w trybie Smart Obliq na wysokości 80 m AGL. W jej trakcie wykonano 110 zdjęć, co zajęło około 3 minut. Dodatkowo pozyskano 25 zdjęć w trybie manualnym, orbitując wokół obiektu pomiarowego.

Druga metoda polegała na pomiarze przy użyciu smartfonów iPhone 12 Pro z modulem viDoc RTK oraz Xiaomi 11 Lite. Wykonano go w aplikacji Pix4Dcatch i polegał on na ciągłym nagrywaniu filmu; zadaniem programu było wyodrębnienie poszczególnych klatek. Aplikacja samodzielnie decyduje, którą klatkę wybrać do rekonstrukcji, w zależności od zadanego pokrycia. Procedura ręcznego



Fot. NaviGate

5. Lokalizacja testu – ruiny starej prochowni na Wzgórzu Swaroga w Krakowie

Tab. 1. Porównanie rozdzielczości modeli 3D pozyskanych różnymi sensorami



„skanowania” obejmowała pieszą trasę wokół budynku z prędkością ok. 2 km/h oraz skanowanie stropu w 4 liniach na kierunku wschód–zachód. Odległość od obiektu wynosiła przeciętnie 3,5 metra, ekran był ustawiony w pozycji pionowej, w polu widzenia obiektywu znajdowały się zaś wszystkie plakietki z krzyżami nitek umieszczone na elewacji budynku. Podczas skanowania aplikacja używała aktywnego modułu RTK z poprawkami NTRIP RTN z serwisu ASG-EUPOS. Zapis zdjęć w obu przypadkach odbywał się w pamięci wewnętrznych urządzeń. Łącznie wykonano 654 (iPhone) i 736 (Xiaomi) geotagowanych zdjęć, które następnie wyeksportowano na dysk twardy komputera. Można było również skorzystać z automatycznego przesłania klitek bezpośrednio z aplikacji Pix4Dcatch do

chmury Pix4Dcloud, gdzie model zostanie wygenerowany na serwerach Pix4D.

Uzyskane 3 zestawy danych przetworzono w oprogramowaniu Pix4Dmapper (wersja 4.8.0). Aby móc wiarygodnie porównać dokładności wszystkich metod, przy wyrównaniu zdjęć nie korzystano z fotopunktów (*Ground Control Points*). Wszystkie punkty pomiarzone klasycznie za pomocą tachimetru posłużyły jako punkty kontrolne (*Check Points*). Dla opracowania z kamery Zenmuse P1 uzyskano piksel terenowy (GSD – *Ground Sampling Distance*) równy 0,9 cm.

Modele 3D wykonane za pomocą smartfonów cechowały się zdecydowanie wyższą rozdzielczością i lepszą możliwością detekcji szczegółów na elewacji budynku, ponieważ dla obu metod piksel terenowy wynosił 0,2 cm. Każdą

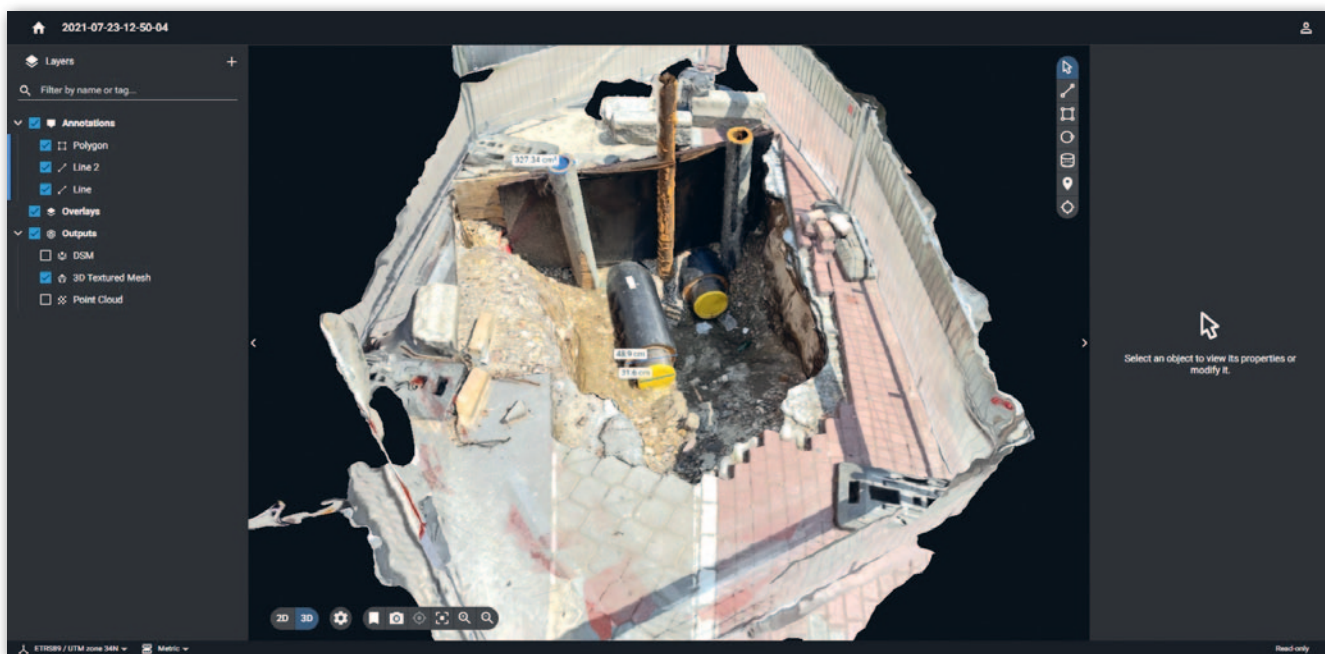
z 15 tarczek pomiarowych z każdego zestawu danych pomierzono metodą analitycznego wcięcia w przód na podstawie pomiaru monoskopowego na zdjęciach.

• Zaskakująco dobrze

Wyniki analizy dystrybutora przedstawiają tabele 1 i 2. Jak podkreślają przedstawiciele NaviGate, oni sami są pozytywnie zaskoczeni otrzymanymi wartościami. Błąd średniokwadratowy RMSE dla pomiaru z drona i iPhone’a wynosi ± 2 cm w osiach X i Y. Stały znak przy błędach dla osi Z oznacza, że model jest przesunięty o stałą wartość – w przypadku modelu z drona jest to około 3 cm, a dla zestawu iPhone + viDoc przesunięcie wynosi około 5,5 cm. Czyli w obu przypadkach ze sporym zapasem spełniamy standardy techniczne wykony-

Tab. 2. Zestawienie różnic pomierzonych współrzędnych w odniesieniu do pomiaru tachimetrem

Nr pkt	viDoc & iPhone			M300 & P1			Xiaomi		
	X [m]	Y [m]	Z [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]
1	-0,015	-0,002	0,048	-0,007	0,000	-0,021	-2,973	-1,152	2,394
2	-0,011	0,004	0,048	0,009	-0,006	-0,020	-3,009	-1,116	2,370
3	-0,018	-0,011	0,047	0,012	0,013	-0,019	-3,018	-0,825	2,478
4	-0,013	-0,005	0,049	0,009	0,007	-0,020	-3,038	-0,813	2,445
5	-0,019	-0,010	0,048	0,009	0,003	-0,015	-2,960	-0,784	2,484
6	-0,018	-0,006	0,058	0,010	-0,004	-0,031	-2,399	-0,692	2,550
7	-0,020	-0,008	0,065	0,009	0,009	-0,028	-2,088	-0,675	2,601
8	-0,015	-0,005	0,062	0,009	0,005	-0,028	-2,019	-1,035	2,546
9	-0,021	-0,006	0,062	0,013	0,009	-0,029	-2,054	-1,011	2,508
10	-0,013	-0,006	0,060	0,006	0,004	-0,031	-2,287	-1,136	2,515
11	-0,017	-0,003	0,059	0,010	0,006	-0,034	-2,333	-1,116	2,469
12	-0,014	-0,004	0,060	0,006	0,005	-0,022	-2,597	-1,165	2,457
13	-0,014	-0,006	0,056	0,007	0,008	-0,018	-2,868	-1,201	2,414
14	-0,014	-0,001	0,056	0,009	-0,001	-0,020	-2,890	-1,172	2,388
15	-0,011	0,001	0,055	0,011	-0,006	-0,027	-2,933	-1,230	2,360
RMSE [m]	0,016	0,006	0,056	0,009	0,007	0,025	2,658	1,026	2,466



6. Przykład zastosowania viDoc RTK – pomiar obiektów niedostępnych

wania geodezyjnych pomiarów sytuacyjnych dla szczegółów terenowych I grupy. Pomiar wysokości względnej w obu metodach również osiąga dokładności około ± 2 cm. Problemem będzie jedynie uzyskanie wysokości bezwzględnej w konkretnym układzie wysokościowym. Aby to wykonać z możliwie najlepszą dokładnością, konieczne jest wyrównanie bloku zdjęć z wykorzystaniem fotopunktów.

Wyniki dokładnościowe modelu 3D ze smartfona Xiaomi znacznie odbiegają od poprzednich metod. Zauważono niewielkie skrócenie modelu, co wpływa również na pomiary odległości względnej. Pomierzono kilka odcinków pomiędzy tarczami pomiarowymi i stwierdzono, że przy krótkich odcinkach (do około 2 m) błąd ten wynosi około 5 cm, a przy dłuższych (około 6 m) błąd ten narasta i wynosi nawet 20 cm. Błąd ten oczywiście można wyeliminować poprzez zastosowanie fotopunktów lub skalarów. W tym projekcie z tego jednak zrezygnowano, aby miarodajnie porównać dokładności wszystkich zestawów danych.

Dodajmy, że wyniki z pomiaru na modelu (bez wskazywania punktów na zdjęciach) wykonanym automatycznie w Pix4Dcloud z danych zebranych przy użyciu zestawu viDoc + iPhone dały bardzo podobne wyniki – błąd RMSE wynosił odpowiednio $\pm 1,7$ cm po osi X, $\pm 0,6$ cm po osi Y i $\pm 5,5$ cm po wysokości. Odchyłki na pomierzonych współrzędnych były zgodne co do milimetrów z pomiarem monoskopowym. Powodem takiej zgodności była wysoka rozdzielczość modelu 3D. Przy zdjęciach wykonanych z drona, gdzie rozdzielczość modelu była niższa, spójność współrzędnych również była niższa.

• Cena? To złożona kwestia

Jak wyjaśnia Maciej Wywiół z firmy NaviGate, na cenę całego zestawu składa się kilka elementów. Sam koszt viDoc RTK Rover to 5490 euro netto, czyli około 25 800 zł (wg kursu na dzień pisania artykułu). Do tego należy dodać koszt software'u. Jeśli projekty będą przetwarzane na własnej stacji roboczej, należy doliczyć jakiegokolwiek oprogramowanie fotogrametryczne. Dla przykładu Pix4Dmapper kosztuje katalogowo 3990 euro netto (ok. 18 750 zł). Jeśli jednak ktoś chce korzystać z przetwarzania projektów w chmurze, musi się liczyć z kosztami zakupu rocznej licencji Pix4Dcloud, czyli 1700 euro (7 990 zł) dla wersji standardowej i 2600 euro (12 220 zł) dla wersji zaawansowanej. Warto dodać, że do 30 września br. przetwarzanie projektów z aplikacji Pix4Dcatch jest nieograniczone (a standardowo było to 2500 zdjęć).

Aby skompletować zestaw, brakuje jedynie iPhone'a lub iPada oraz danych korekcyjnych RTK. Cena iPhone'a wynosi od 4500 zł brutto. Poprawki RTN, w zależności od dostawcy, to z kolei około 1500 zł brutto za rok.

• Czy viDoc to już rewolucja?

Trudno jednoznacznie odpowiedzieć na to pytanie. Z jednej strony można zauważyć, że viDoc bazuje na dobrze znanej i całkiem powszechnej (głównie dzięki popularyzacji dronów) technologii. Już wcześniej dostępne były bowiem różne rozwiązania, które pozwalały przetwarzać w chmurze zdjęcia z telefonów komórkowych do postaci danych 3D, a także robić użytek z lidarów wbudowanego w sprzęt Apple'a. Wystarczyła wpraw-

na ręka geodety, by podnieść dokładność tych danych do poziomu centymetrów.

Ale z drugiej strony viDoc RTK wyróżnia się połączeniem intuicyjności obsługi, szybkości pracy i kompaktowości z centymetrową dokładnością. Sprawia to, że zestaw ten może znaleźć wiele różnorodnych zastosowań, np. w archeologii, architekturze krajobrazu, kryminalistyce czy budownictwie. Grzegorz Durło widzi spory potencjał także w leśnictwie, a konkretnie w analizie objętości drewna.

A co z geodezją? Tu także pole do popisu jest spore (choć – co oczywiste – wszystko zależy od wymagań dokładnościowych danego projektu). ViDoc szczególnie dobrze powinien się sprawdzać w cyklicznym inwentaryzowaniu niezbyt rozległych obiektów, np. w monitorowaniu postępów inwestycji budowlanych. Przyda się także w lokalnym uzupełnianiu danych pozyskiwanych przez drony (oferuje bowiem znacznie lepszą rozdzielczość) bądź w pomiarach miejsc trudno dostępnych (fot. 6).

Nawet jeśli nie uznamy viDoc RTK za rozwiązanie przełomowe, to instrument ten z pewnością zwiastuje rychłą pomiarową rewolucję. Skoro bowiem konkurenci Apple'a (choćby Samsung) również zapowiadają montaż w swoich urządzeniach mobilnych małych lidarów, niechybnie pociągnie to ze sobą eksplozję zastosowań tego typu sensorów. Krótko mówiąc, od szerokiego wykorzystania fotogrametrii w geodezji już nie uciekniemy.

**Jerzy Królikowski,
Maciej Wywiół, Grzegorz Durło**

Artykuł powstał we współpracy z firmą NaviGate, która posiada status Premier Reseller Pix4D w Polsce