



Firma NaviGate testuje drona DJI Mavic 3 Enterprise

Kolejny przebój geodezji?

DJI Phantom 4 – bez wątpienia najpopularniejszy dron wśród geodetów – doczekał się zupełnie nowego następcy. Choć różnic między starszym i młodszym bratem jest wiele, to czy mają one jakieś konkretne przełożenie na wykonywanie prac geodezyjnych?

Kamil Tomiak

Premiera drona Phantom 4 chińskiej firmy DJI odbyła się w 2016 roku i szybko zdobył on spore uznanie geodetów. Jego popularność w tej branży zwiększyła jeszcze zaprezentowana dwa lata później wersja wzbogacona o odbiornik RTK. Sukces był zasłużony, bo z jednej strony maszyna jest relatywnie tania, kompaktowa i prosta w obsłudze, a z drugiej posiada rozbudowane opcje realizacji misji fotogrametrycznych oraz kamerę, która sprawdza się w różnych zadaniach.

Sześć lat to już jednak wystarczający czas, by pokazać coś zupełnie nowego. I tak oto we wrześniu 2022 roku firma DJI z pompą zaprezentowała model Mavic 3 Enterprise (w skrócie 3E). Projektując go, producent chciał wprowa-

Tab. 1. Porównanie specyfikacji dronów

	DJI Mavic 3 Enterprise	DJI Phantom 4 RTK
masa	915 g + 24 g (moduł RTK) = 939 g	1391 g
kompaktywność	składane ramiona	brak możliwości złożenia ramion
długość przekątnej	380 mm	350 mm
maksymalna prędkość wznoszenia	6 m/s (N mode), 8 m/s (S mode)	6 m/s (mission flight), 5 m/s (manual flight)
maksymalna prędkość opadania	6 m/s	3 m/s
maks. prędkość wiatru, przy której można latać	12 m/s	10 m/s
maksymalna długość lotu	45 min bez modułu RTK 42 min z modułem RTK	30 min
temperatura pracy w zakresie	-10°C do 40°C	0°C do 40°C
maksymalna prędkość lotu podczas misji fotogrametrycznej	15 m/s	13 m/s

dzić do konstrukcji najnowsze zdobycze technologiczne, ale jednocześnie zachować dotychczasowe zalety Phantoma (z przystępną ceną włącznie). Już na pierwszy rzut oka widać między tymi dronami różnice zarówno w budowie, jak i w specyfikacji. Na ile jednak mają one znaczenie dla użytkowników z branży geodezyjnej? Temu w szczególności przyjrzała się firma NaviGate z Krakowa – złoty dystrybutor marki DJI Enterprise w Polsce.

• Patrząc ogólnie

Z porównania ogólnych parametrów obydwu maszyn (tab. 1) wynika, że Mavic 3 Enterprise jest dużo lżejszy, a jego konstrukcja jest bardziej opływowa oraz kompaktowa, bo w przeciwieństwie do Phantoma 4 RTK posiada możliwość składania ramion. Właśnie te cechy sprawiają, że nowego drona można z łatwością przenosić – mieści się bowiem nawet w kieszeni (rys. 1). Ponadto Mavic 3E jest bardziej odporny na podmuchy wiatru oraz posiada zwiększoną prędkość zarówno wznoszenia, jak i opadania, co ułatwia i przyspiesza wszystkie operacje. Najbardziej znaczącą różnicą między maszynami jest maksymalna długość lotu oraz prędkość wykonywania nalotów fotogrametrycznych. Mavic 3E ma pod tym względem znaczną przewagę, dzięki czemu jest o wiele wydajniejszy. Natomiast wspólną cechą jest brak stopnia ochrony IP, co oznacza, że obydwa drony nie są przystosowane do pracy w deszczu czy zapyleniu.

• Bezpieczeństwo przede wszystkim

Użytkownicy Phantoma znają jego niezawodność, ale Mavic 3E został wyposażony w technologie, które zapewniają jeszcze większy poziom bezpieczeństwa podczas lotu. Bezzałogowiec ten posiada w chociażby odpowiednie oświetlenie (*beacon*) niezbędne do wykonywania lotów nocą (w przypadku Phantoma można je dokupić). Ale zdecydowanie ważniejszą cechą Mavica 3E jest ulepszony system bezpieczeństwa DJI APAS 5.0, który poprzez 6 szerokokątnych czujników optycznych typu rybie oko umożliwia wielokierunkowe wykrywanie oraz omijanie przeszkód – bez jakichkolwiek martwych pól. Dla porównania: Phantom 4 RTK posiada jedynie 3 optyczne czujniki (przedni, tylny i dolny) oraz sensory podczerwieni po bokach, które po wykryciu przeszkody zatrzymują go bez możliwości jej ominięcia. Ponadto



Rys. 1. Kompaktość drona Mavic 3 Enterprise

Mavic 3E został dodatkowo wyposażony w zaawansowany system RTH (Return-to-Home), który automatycznie planuje optymalną trasę powrotu do miejsca startu. Oszczędza dzięki temu energię, czas oraz stres operatora związany z omijaniem przeszkód.

• Co z kamerami?

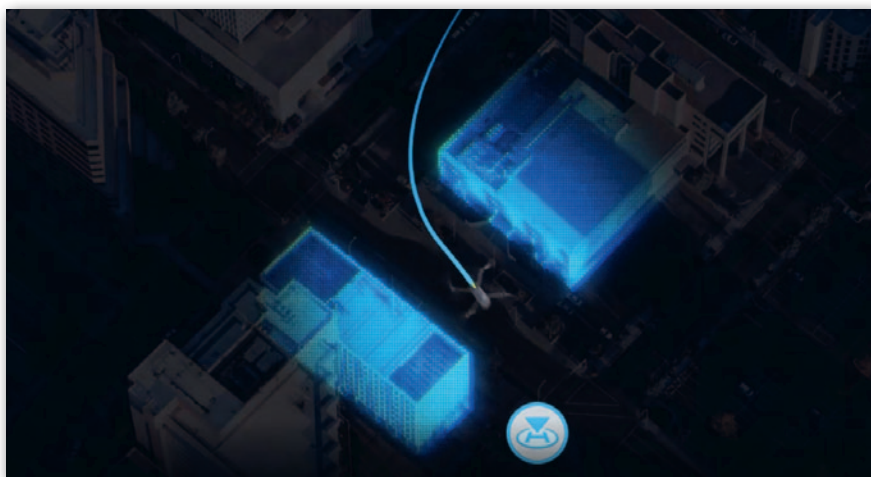
W Phantomie mamy do dyspozycji pojedynczą kamerę z 1-calową matrycą, pikselem o wielkości $2,4 \mu\text{m}$, ogniskową 8,8 mm (ekwiwalent 24 mm) i rozdzielczością 20 Mpx. Mavica 3E wyposażono w podwójną kamerę z matrycą CMOS 4/3 cala, pikselem $3,3 \mu\text{m}$, ogniskową 12 mm (ekwiwalent 24 mm) oraz rozdzielczością 20 Mpx. Ta sama liczba, ale większych pikseli gwarantuje lepszą jakość obrazu. Większe piksele oznaczają bowiem mniejsze szumy, co w połączeniu z inteligentnym trybem Low-Light Mode umożliwia wykonanie wyraźnych i nierozmytych zdjęć nawet w słabych warunkach

oświetleniowych.

Kamery w obu dronach dysponują mechaniczną migawką, co pozwala wykonywać fotografie w ruchu bez obawy o ich rozmycie przy większych prędkościach. Kolejnym ważnym parametrem jest minimalny interwał pomię-



Rys. 2. Najnowszy system APAS 5.0 w dronie Mavic 3 Enterprise



Rys. 3. Zaawansowany system RTH w Mavic 3 Enterprise

Tab. 2. Porównanie szerokokątnych kamer

	Mavic 3 Enterprise	Phantom 4 RTK
rozmiar matrycy CMOS	4/3 cala 5280 × 3956 px (4:3)	1 cal 5472 × 3648 px (3:2)
GSD [cm]	H [m]/36,5	H [m]/36,5
rozdzielczość	20 Mpx	20 Mpx
Rozmiar piksela matrycy	3,3 μm	2,4 μm
min. interwał zdjęć	0,7 s	2,5 s
mechaniczna migawka	tak (1/2000 – 8 s)	tak (1/2000 – 8 s)
ogniskowa	12 mm (ekwiwalent 24 mm)	8,8 mm (ekwiwalent 24 mm)
pole widzenia (FOV)	84°	84°
format zdjęć	JPEG/DNG (RAW)	JPEG
wykonywanie panoramy 360°	tak	nie
telekamera	1/2 cala CMOS, 12 Mpx, 7x–56x zoom	brak

dzy zapisem kolejnych zdjęć. Phantom 4 RTK potrzebował na to aż 2,5 sekundy, a Mavic 3E jedynie 0,7 sekundy. Wymienione cechy pozwalają na poruszanie się ze znacznie większą prędkością nawet przy relatywnie niedużych wysokościach, co w połączeniu z dłuższym czasem lotu na jednej baterii bezpośrednio przekłada się na wydajność maszyny. Przykładowo: podczas nalotu na wysokości 70 m nad ziemią (AGL) dla obszaru 100 ha z pokryciem poprzecznym 70% i podłużnym 80% oraz rozdzielczością zdjęć (GSD) 1,9 cm dla Phantoma i 1,8 cm dla Mavica maksymalna prędkość nalotu starszej maszyny wynosi zaledwie 5,5 m/s, a nowszej – aż 15 m/s. Dzięki temu misja może trwać ponaddwukrotnie krócej!

Poza kamerą szerokokątną Mavic 3E został dodatkowo wyposażony w 12-megapikselową telekamerę, która umożliwia uzyskanie nawet 56-krotnego hybrydowego zoomu. Ten dodatkowy sensor poszerza zakres standardowych misji fotogrametrycznych o wykonywanie wszelakich precyzyjnych inspekcji, także z daleka.

• Kontroler i aplikacja do planowania misji

Phantoma 4 RTK można było dostać w wersji ze standardowym kontrolerem RC (16 GB ROM) z wbudowanym 5,5-calowym wyświetlaczem (1920 × 1080 px) lub w wersji SDK, która była kompatybilna z urządzeniami mobilnymi, tj. tabletem czy smartfonem. Natomiast Mavica 3E wyposażono w nowy kontroler DJI RC Pro Enterprise (64 GB pamięci ROM). Jasność 5,5-calowego ekranu wynosząca aż 1000 nitów umożliwia bezproblemową pracę nawet w pełnym słońcu. Ogromną zaletą nowego rozwiązania jest złącze mini-HDMI, co pozwala

użytkownikowi przenieść obraz z kontrolera na dowolny ekran zewnętrzny. Można więc wygodnie zaplanować misję fotogrametryczną lub po prostu pokazać obraz z wyświetlacza innym osobom. Ponadto DJI umożliwiło użytkownikom Mavica 3E stworzenie własnych aplikacji do sterowania tym statkiem, a to dzięki udostępnieniu specjalnego zestawu narzędzi programistycznych SDK.

Do transmisji danych między kontrolerem a bezzałogowcem Mavic 3E wykorzystywana jest technologia nowej generacji DJI O3 Enterprise, która zapewnia zasięg nawet 8 km. Z kolei Phantom posługuje się starszą technologią OcuSync o zasięgu maksymalnie 5 km. Szkoda natomiast, że kontrolera DJI RC Pro Enter-

Tab. 3. Porównanie rodzajów misji w aplikacjach

	Mavic 3 Enterprise	Phantom 4 RTK
APLIKACJA DO PLANOWANIA NALOTÓW	DJI Pilot 2	DJI GS RTK
metoda: Mapping/2D Photogrammetry przeznaczenie: ortofotomozaiki oraz NMPT/NMT dla obiektów powierzchniowych	tak	tak
metoda: Oblique/3D Photogrammetry (Multi-oriented) przeznaczenie: bardzo dokładne chmury punktów oraz modele 3D; misja składa się z 5 części; w pierwszej wykonuje się zdjęcia pionowe, w pozostałych – 4 zdjęcia ukośne z każdej strony obiektu	tak	tak
metoda: Waypoint Flight przeznaczenie: przelot po zaplanowanej ścieżce	tak	tak
metoda: Linear Flight Mission przeznaczenie: ortofotomapy i NMPT dla obiektów liniowych (autostrady, linie kolejowe itp.)	tak	tak
metoda: Terrain Follow/Terrain awareness Mode przeznaczenie: loty w terenach o dużej deniwelacji; możliwość ustawienia wysokości nalotu w odniesieniu do wysokości z NMT	tak	tak
metoda: 3D Photogrammetry (Double Grid) przeznaczenie: chmury punktów oraz modele 3D	nie	tak
metoda: Linear Flight (Adjustable Height) przeznaczenie: nalot liniowy ze zmianami wysokości nalotu	nie	tak
metoda: Angled Flight Route przeznaczenie: ortofotoplany elewacji budynków	nie	tak
metoda: Block Segmentation przeznaczenie: możliwość podzielenia dużych obszarów powierzchniowych na mniejsze oddzielne misje	nie	tak
metoda: Walk with RTK przeznaczenie: możliwość pomiaru GCP z wykorzystaniem stacji D-RTK	nie	tak
metoda: Smart-Oblique przeznaczenie: możliwość wykonywania zdjęć pionowych oraz ukośnych podczas 1 nalotu	tak	nie

prise nie wyposażono ani w moduł GSM, ani w możliwość podłączenia zewnętrznej baterii. Przez to użytkownik musi korzystać z modułu wi-fi w celu uzyskania połączenia internetowego i z przenośnej ładowarki, jeśli chce doładować kontroler w terenie.

Jeśli chodzi o oprogramowanie do planowania nalotów, to Phantom 4 RTK wyposażony jest w software DJI GS RTK, a Mavic 3E – w DJI Pilot 2 (znany z innych statków firmy DJI, takich jak Matrice 300 RTK). W obu przypadkach mamy możliwość wykonywania zarówno lotu manualnego, jak i misji autonomicznych. W tabeli 3 zestawiono różne typy misji autonomicznych dostępne w obydwu aplikacjach.

Zarówno w jednej, jak i w drugiej użytkownik ma możliwość określenia obszaru opracowania ręcznie na podkładzie satelitarnym lub importu gotowej osi bądź poligonu za pomocą pliku KML (stworzonego wcześniej np. w Google Earth). Nalot nad obszarem o dużych deniwelacjach też nie sprawi kłopotu, ponieważ po odpowiednim przetworzeniu można wgrać do kontrolera NMT pozyskany z Geoportal.gov.pl. Aplikacja Pilot 2, w przeciwieństwie do GS RTK, umożliwi też pobranie online NMT oferowanego przez firmę DJI, dzięki czemu możemy łatwo zachować stałą wysokość lotu nad gruntem podczas wykonywania misji powierzchniowej. Jednak podczas nalotów na wysokościach do 80 m DJI zaleca stosowanie



Rys. 4. Kontrolery: DJI RC Pro Enterprise (do Mavica 3E) oraz RC Standard (do Phantoma 4)

dokładniejszych modeli terenu (np. z Geoportalu).

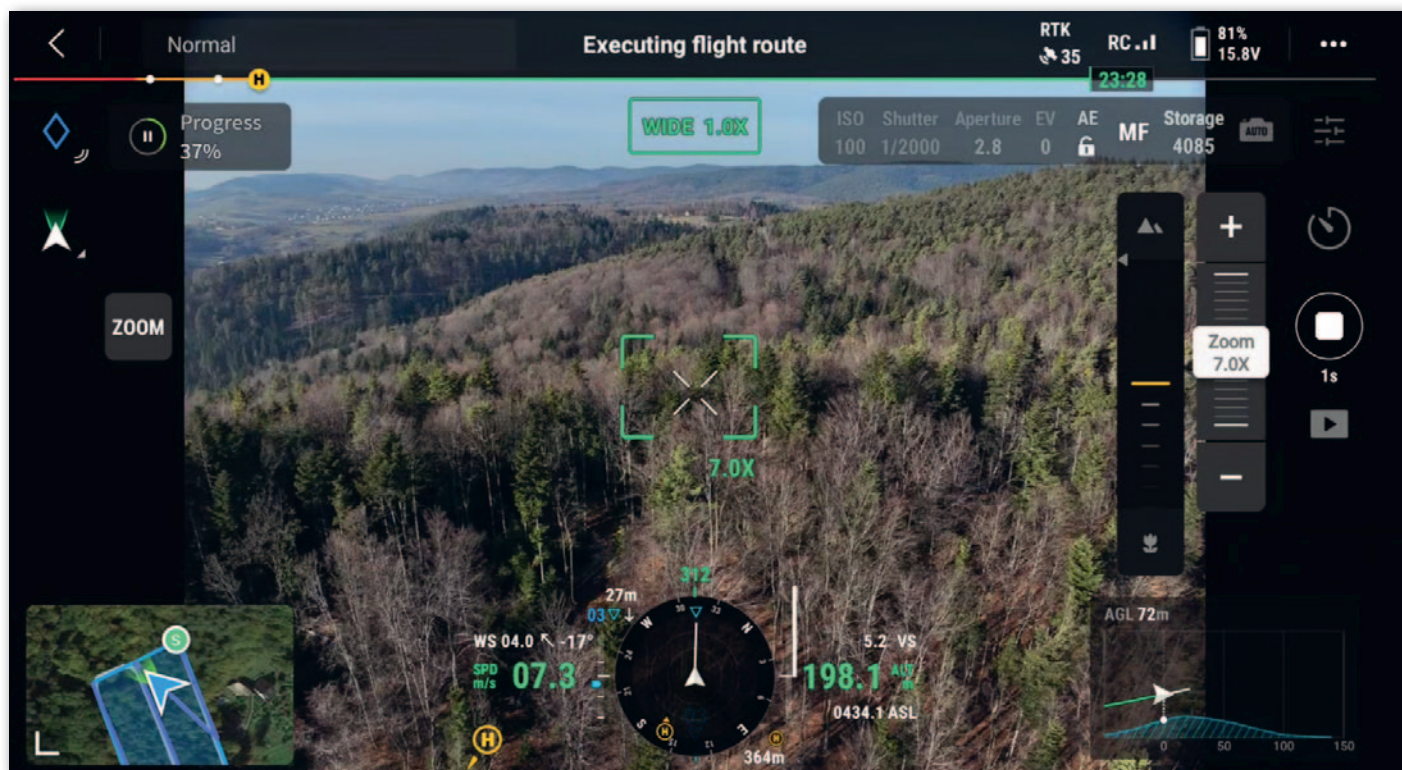
• Analiza wydajności

Bezzałogowiec Mavic 3E jest znacznie wydajniejszym narzędziem do wykonywania opracowań fotogrametrycznych niż Phantom 4 RTK. Dzięki lepszej jakości sensora (większa matryca oraz większy piksel), krótszemu interwałowi zapisu zdjęć i o wiele dłuższemu czasowi pracy na jednej baterii Mavic 3E istotnie redukuje czas spędzony w terenie, szczególnie dla projektów o wymaganym małym GSD. Na wykresach (rys. 6 i 7) prezentujemy różnice w czasie misji obydwu statków w celu wykonania nalotu fotogrametrycznego (zdjęcia pionowe) dla obszaru 100 ha w zależności od piksela terenowego oraz liczbę zestawów baterii koniecznych, aby taki nalot wykonać. Do analizy

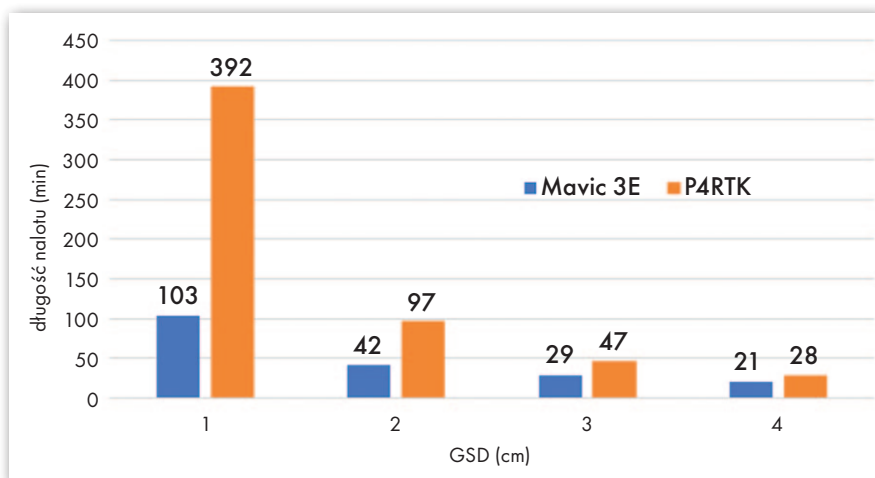
przyjęliśmy czas lotu na poziomie 90% wartości podawanych przez producenta (podczas misji w powietrzu nie rozładuje się nigdy baterii do końca).

• Smart Oblique

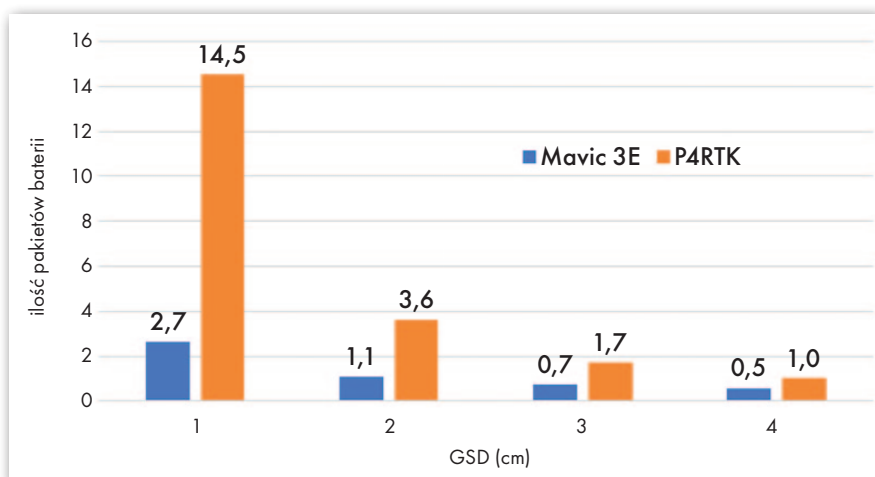
Jako że Mavic 3E może wykonywać zdjęcia co 0,7 s, został dodatkowo wyposażony w modyfikowaną funkcję wykonywania misji typu Smart Oblique znaną z kamery DJI Zenmuse P1 [patrz GEODETA 5/2021 – red.]. Różnica polega na tym, że Mavic 3E musi zrealizować nie jedną, ale dwie misje. Podczas ich trwania zbierane są zarówno zdjęcia pionowe, jak i ukośne (rys. 8). Mimo to cały proces zbierania danych (zdjęcia pionowe + ukośne) jest i tak znacznie szybszy (i to prawie dwukrotnie), niż gdybyśmy chcieli zastosować standardową misję Oblique, podczas której wykonywanych jest aż 5 nalotów.



Rys. 5. Automatyczny tryb Follow Terrain



Rys. 6. Porównanie czasu lotu dla obszaru 100 ha dla różnych GSD



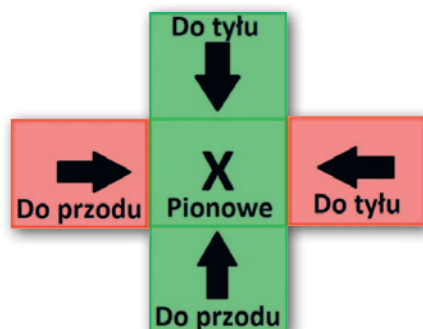
Rys. 7. Porównanie liczby baterii potrzebnych do wykonania nalotu dla obszaru 100 ha dla różnych GSD

• Testy dokładności

Phantom 4 RTK ma wbudowany na stałe moduł RTK. Natomiast Mavic 3 Enterprise standardowo sprzedawany jest bez tego modułu, który według nas do celów fotogrametrycznych trzeba obowiązkowo dokupić. Obydwa drony są kompatybilne zarówno z ogólnopolską siecią stacji referencyjnych ASG-EUPOS, jak i jej komercyjnymi odpowiednikami. Dodatkowo w miejscach, gdzie sygnał GSM jest słaby, możemy w obydwu maszynach wykorzystać stację referencyjną D-RTK 2 [precyzyjny odbiornik GNSS produkcji DJI – red.]. Uzyskujemy wówczas centymetrowe dokładności współrzędnych środków rzutów każdego zdjęcia, zmniejszając konieczność pomiaru fotopunktów (GCP) do minimum.

Do celów testowych pomierzyliśmy w sąsiedztwie biura firmy NaviGate w Krakowie 11 punktów kontrolnych odbiornikiem GNSS Spectra SP85, a następnie wykonaliśmy dwie misje fotogrametryczne na wysokości 70 m AGL

Rys. 9. Ekran aplikacji DJI Pilot podczas planowania misji typu Smart Oblique



Rys. 8. Kierunki wykonywania zdjęć podczas misji typu Smart Oblique w Mavic 3E



(prędkość 15 m/s, GSD = 1,8 cm). Podczas pierwszej misji Mavic 3E nie został wyposażony w moduł RTK. W celu uzyskania dokładnych współrzędnych środków rzutów zdjęć i poprawy dokładności wykonaliśmy następnie drugi nalot, już z odbiornikiem RTK. Analiza została przeprowadzona w oprogramowaniu 3DSurvey, gdzie sprawdziliśmy dokładności w zależności od liczby GCP. Wyniki prezentuje tabela 4.

Analiza dokładności pokazała, że w przypadku nalotu dronem Mavic 3E bez modułu RTK dopiero po zastosowaniu 3 GCP otrzymaliśmy dokładności centymetrowe. W przypadku nalotu z modułem RTK oraz w połączeniu z usługą RTN sieci ASG-EUPOS zarówno współrzędne XY, jak i Z nie wymagają zastosowania GCP. Warto jednak pamiętać, aby zawsze wykorzystywać punkty kontrolne w celu własnej kontroli dokładności.

Oczywiście, żeby każdy mógł samemu przekonać się o dokładności, wydajności i działaniu Mavica 3E, firma NaviGate prowadzi na terenie całej Polski pokazy, prezentacje i szkolenia. W celu umówienia prezentacji wystarczy kontakt mailowy (drony@navigate.pl).

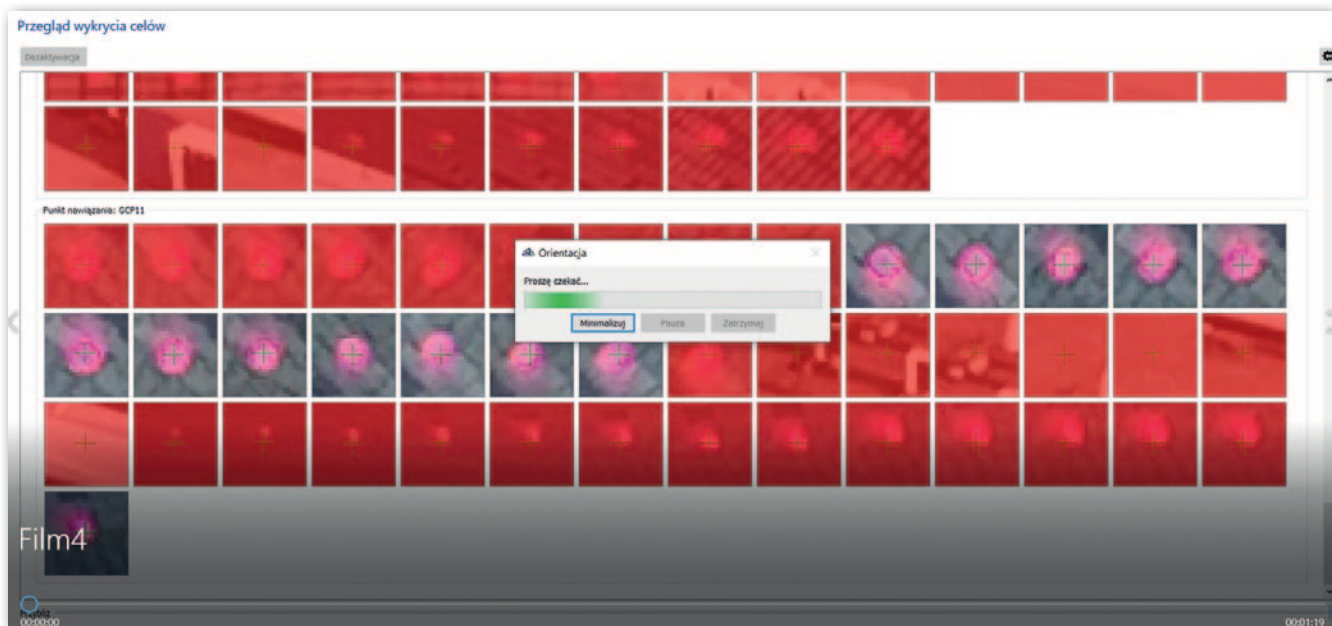
• Dlaczego Mavic 3 Enterprise?

Phantom 4 RTK wyznaczył niegdyś nowe standardy w kategorii lekkich kompaktowych dronów dla fotogrametrii i geodezji. Umożliwił bowiem otrzymywanie dokładności centymetrowych nawet bez GCP, co znacznie przyspiesza prace terenowe i analityczne. Możemy śmiało stwierdzić, że Mavic 3E definiuje te standardy na nowo. Uważamy zatem, że odpowiedź na pytanie, czy ten nowy dron godnie zastąpi bestsellerowego Phantoma, może być tylko twierdząca.

Po pierwsze, Mavica 3E można uznać za najbardziej kompaktowe rozwiązanie w swojej klasie, które daje niesamowitą mobilność. Nowoczesna technologia APAS 5.0, zaawansowany system RTH oraz DJI O3 Enterprise gwarantują najwyższy sto-



Rys. 10. Tryb Smart Oblique w dronie Mavic 3 Enterprise



Rys. 11. Analiza dokładności Mavic 3 Enterprise z modułem RTK w oprogramowaniu 3DSurvey

pień bezpieczeństwa nalotu oraz transmisji danych, nawet w trudnych warunkach.

Po drugie, wbudowana szerokokątna kamera 20 Mpx CMOS 4/3 cala, która umożliwia zapis kolejnych zdjęć z prędkością jedynie 0,7 s, pozwala na wykonanie nalotów fotogrametrycznych z prędkością nawet 15 m/s na relatywnie małych wysokościach. Dodatkowo, jeśli interesują nas zdjęcia zarówno ukośne, jak i pionowe, to tryb Smart Oblique w znacznym stopniu przyspieszy prace terenowe.

Połączenie powyższych cech z długim czasem lotu na jednej baterii umożliwi pozyskanie wysokiej jakości danych dla misji wielkopowierzchniowych w krótkim

czasie. Ponadto telekamera 12 Mpx z 56-krotnym hybrydowym zoomem pozwala na wykonywanie wszelakich inspekcji, nawet z dużej, bezpiecznej odległości. A dzięki dodatkowemu modułowi

RTK można uzyskać centymetrowe dokładności bez konieczności pomiaru GCP, przyspieszając w ten sposób zarówno prace terenowe, jak i analityczne. Centymetrowe dokładności środków rzutów skracają bowiem podczas aerotriangulacji proces obliczeniowy. DJI Mavic 3 Enterprise jest zatem świetnym rozwiązaniem zarówno dla początkujących, jak i doświadczonych pilotów, usprawniając codzienną pracę terenową nawet na dużych obszarach.

Kamil Tomiak
specjalista ds. lidar i fotogrametrii z BSP w firmie NaviGate. Spółka jest oficjalnym Złotym Partnerem DJI i posiada wieloletnie doświadczenie w zakresie technologii dronowych

Tab. 4. Analiza dokładności zdjęć z drona Mavic 3E w zależności od liczby punktów GCP i modułu RTK

Liczba GCP	RMSE XY [m]	RMSE Z [m]	RMSE XYZ [m]
bez modułu RTK			
0	2,237	10,425	10,663
1	0,062	1,069	1,076
3	0,025	0,026	0,039
5	0,021	0,028	0,036
z modułem RTK			
0	0,015	0,037	0,040
1	0,015	0,031	0,035
3	0,012	0,032	0,035
5	0,011	0,031	0,033