http://i-rzeczoznawca.pl/ No. 1, 2022, p. 1-8

DOI: 10.37105/enex.2022.1.01

ENGINEERING EXPERT
RZECZOZNAWCA

Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych w procesie rekonstrukcji wypadków drogowych

Michał STOPEL (*ORCID ID: 0000-0002-8777-1080*)
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Polska
Autor do korespondencji: michal.stopel@pbs.edu.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono propozycję zastosowania bezzałogowych statków powietrznych do celów rekonstrukcji wypadków drogowych. W tym celu spreparowano miejsce zdarzenia drogowego insynuujące zderzenie się dwóch pojazdów osobowych na drodze publicznej. Do badan użyto bezzałogowy statek powietrzny dostępny na rynku konsumenckim o masie nie przekraczającej 900g wyposażonego w kamerę światła widzialnego wysokiej rozdzielczości. Przyjąć można, że zaproponowana metodyka może z powodzeniem być zastosowana również w celu dokumentowania miejsc katastrof budowlanych.

Słowa kluczowe: fotogrametria, rekonstrukcja wypadków drogowych, bezzałogowe statki powietrzne,

Oficjalną wersją publikacji jest wersja anglojęzyczna – posiada DOI. Niniejszy plik jest polskojęzyczną wersją.

Zacytuj ten artykuł w następujący sposób:

Stopel, M., The use of unmanned aerial vehicles in the process of reconstruction of road accidents, Engineering Expert, p. 1-8, No. 1, 2022, DOI: 10.37105/enex.2022.1.01

1. Wprowadzenie

Na przestrzeni kilku ostatnich lat bezzałogowe statki powietrzne (BSP) przestały już być technologią przyszłości, a stały się powszechnie stosowanym narzędziem w wielu dziedzinach życia. Dotyczy to zarówno sfery zastosowań prywatnych jak i komercyjnych. Prywatnie najczęściej BSP wykorzystuje się w celach związanych z upamiętnieniem miejsc i wydarzeń poprzez fotografię i nagrania wideo. Wśród najciekawszych, wchodzących do powszechnego użycia, komercyjnych zastosowań bezzałogowych statków powietrznych w pierwszej kolejności można wymienić transport towarów w tym także towarów wymagających szczególnego traktowania, których czas transportu może mieć istotne znaczenie jak na przykład transport krwi, organów czy próbek medycznych. W lutym 2022 r. uruchomiono pierwsze w Polsce regularne loty BSP na rzecz systemu usługi zdrowotnej. Kolejnym bardzo interesującym zastosowaniem BSP jest monitoring oraz inwentaryzacja placów budowy. Dzięki oprogramowaniu komputerowemu służącemu do obróbki materiału foto-wideo zebranego podczas lotu możliwe jest automatyczne śledzenie zmian na placu, pomiar kubatury budynków czy hałd składowania materiałów sypkich. Wykorzystanie możliwości jakie dają przestrzenne modele przygotowane w oparciu o zdjęcia zebrane podczas nalotu fotogrametrycznego zdaję się być nieograniczone. W tej pracy szczególną uwagę poświęcono zastosowaniu fotogrametrii niskiego pułapu z zastosowaniem dronów konsumenckich do inwentaryzacji oraz rekonstrukcji zdarzeń drogowych. Rozwiązanie to powoli staje się przedmiotem zainteresowania badaczy i hobbystów a być może z czasem wejdzie do powszechnego użycia przez agentów ubezpieczeniowych oraz policję. Niniejsze opracowanie ma na celu przybliżenie podstawowych pojęć związanych z lotnictwem bezzałogowym,

wskazanie możliwości oraz ograniczeń zastosowania dronów konsumenckich oraz przedstawienie procedury zbierania i opracowywania danych z miejsca zdarzenia. Opracowanie to ma przyczynić się do zachęcenia potencjalnych użytkowników do skorzystania w swojej pracy z możliwości jakie daje technologia bezzałogowych statków powietrznych.

2. Podstawowe pojęcia

W tej części przybliżone zostaną podstawowe pojęcia związane z planowaniem i wykonywaniem operacji lotniczych z zastosowaniem bezzałogowych statków powietrznych. Rozdział ten opracowany został w oparciu o aktualnie obowiązujące przepisy w tym w szczególności w oparciu o rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/947 z dnia 24 maja 2019 r. w sprawie przepisów i procedur dotyczących eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych. (wersja skonsolidowana z dnia 5 sierpnia 2021 r), Wytyczne nr 7 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 9 czerwca 2021 r. w sprawie sposobów wykonywania operacji przy użyciu systemów bezzałogowych statków powietrznych oraz Wytyczne nr 24 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego (ULC) z dnia 30 grudnia 2020 r. w sprawie wyznaczania stref geograficznych dla systemów bezzałogowych statków powietrznych.

2.1. Kategorie wykonywania lotów

Operacje lotnicze z użyciem bezzałogowych statków powietrznych wykonywane mogą być w trzech kategoriach: „otwartej" (z ang. Open), „szczególnej" (z ang. Specific) oraz „certyfikowanej (z ang. Certified). Przypisanie odpowiedniej kategorii lotów dla konkretnej operacji wynika z oceny ryzyka z jaką się ona wiąże. Jeżeli planowana operacja lotnicza mieści się w ramach kategorii otwartej lub odpowiada jej jeden ze scenariuszy standardowych (STS – Standard Scenario) lub krajowych scenariuszy standardowych (NSTS – National Standard Scenario) w ramach kategorii szczególnej nie ma konieczności przeprowadzania oceny ryzyka. W przeciwnym wypadku należy ubiegać się o zezwolenie na operację załączając przy tym przeprowadzoną oceną ryzyka. Sugerowaną metodologią oceny ryzyka operacji lotniczych jest metodologia SORA (Specific Operations Risk Assesment) Metodologia ta wymaga jednak zaadoptowania do specyfiki realizowanych operacji lotniczych z zastosowaniem BSP o czym wspominają autorzy pracy (Janik et. al, 2021) wskazując, że metodologia ta zakłada, że na etapie oceny ryzyka znane są warunki pogodowe, miejsce oraz czas lotu. Autorzy wspominanej pracy wskazują, że w przypadku misji poszukiwawczo – ratowniczych kryteria te nie mogą zostać spełnione. Podobnie ma to miejsce w przypadku nalotu realizowanego na miejscu kolizji bądź wypadku drogowego. W ramach Agencji Europejskiej ds. Bezpieczeństwa Lotniczego (EASA - European Union Aviation Safety Agency) opracowano predefiniowane oceny ryzyka (PDRA – Predefined risk assesment). Jeżeli planowana operacja mieście się w ramach opublikowanych PDRA nie ma konieczności przeprowadzać analizy SORA. Obecnie w zależności od miejsca zdarzenia wykonanie modelu przestrzennego miejsca wypadku należałoby w większości przypadków zakwalifikować do kategorii otwartej – A2 lub szczególnej w ramach scenariuszy – NSTS-01 lub NSTS-02 w zależności od masy BSP.

Loty w kategorii „otwartej" charakteryzują się niskim ryzykiem związanym z wykonywaną operacją lotniczą. Dotyczą wyłącznie lotów realizowanych w zasięgu wzroku pilota do wysokości nie większej niż 120 m mierząc od punktu powierzchni ziemi znajdującego się najbliżej statku powietrznego. Maksymalna masa startowa BSP (MTOM – Maximum Take Off Mass) nie może przekraczać 25 kg. Kategoria „otwarta" została podzielona na trzy klasy operacji lotniczych w zależności od masy BSP, odległości poziomej od osób. A1 – dla BSP o MTOM do 500 g, A2 – do 2 kg i A3 – MTOM do 25 kg. Przy czym w kategorii otwartej A2 należy zachować odległość w poziomie od osób minimum 30 metrów (w trybie niskiej prędkości 5 m) a w kategorii A3 150 metrów od terenów, przemysłowych, mieszkaniowych, użytkowych bądź rekreacyjnych (Wytyczne nr 7 Prezesa ULC z dnia 9 czerwca 2021 r).

Loty w kategorii szczególnej podzielone zostały na krajowe scenariusze standardowe opisujące w przybliżeniu charakter operacji lotniczej. Pilot wykonujący operacje lotnicze w ramach tej kategorii

powinien posiadać odpowiednie kompetencje oraz złożyć oświadczenie o zgodności wykonywanej operacji lotniczej ze scenariuszem krajowym. W ramach kategorii szczególnej wydzielono osiem krajowych scenariuszy standardowych (Tab. 1). Systematycznie scenariusze krajowe zastępowane bądź uzupełniane będą scenariuszami europejskimi. Na chwilę obecną obowiązują dwa takie scenariusze STS-01 oraz STS-02 będące odpowiednikami tożsamych scenariuszy krajowych.

Tabela 1. Krajowe Scenariusze Standardowe (NSTS).

NSTS – 01 / STS – 01	Operacje w zasięgu wzroku (VLOS – Visual Line of Sight) oraz z widokiem pierwszej osoby (FPV – First Person View), z użyciem BSP o MTOM poniżej 4 kg
NSTS – 02 / STS – 02	Operacje w zasięgu wzroku (VLOS – Visual Line of Sight) z użyciem BSP kategorii wielowirnikowiec (MR – Multi Rotor) o MTOM poniżej 25 kg
NSTS – 03	Operacje w zasięgu wzroku (VLOS – Visual Line of Sight) z użyciem BSP kategorii stałopłat (A – Aeroplane) o MTOM poniżej 25 kg
NSTS – 04	Operacje w zasięgu wzroku (VLOS – Visual Line of Sight) z użyciem BSP kategorii helikopter (H – Helicopter) o MTOM poniżej 25 kg
NSTS – 05	Operacje poza zasięgiem wzroku (BVLOS – Beyond Visual Line of Sight) do 2 km od pilota z użyciem BSP o MTOM poniżej 4 kg
NSTS – 06	Operacje poza zasięgiem wzroku (BVLOS – Beyond Visual Line of Sight) do 2 km od pilota z użyciem BSP kategorii wielowirnikowiec (MR – Multi Rotor) o MTOM poniżej 25 kg
NSTS – 07	Operacje poza zasięgiem wzroku (BVLOS – Beyond Visual Line of Sight) do 2 km od pilota z użyciem BSP kategorii stałopłat (A – Aeroplane) o MTOM poniżej 25 kg
NSTS – 08	Operacje poza zasięgiem wzroku (BVLOS – Beyond Visual Line of Sight) do 2 km od pilota z użyciem BSP kategorii helikopter (H – Helicopter) o MTOM poniżej 25 kg

2.2 Strefy geograficzne dla operacji systemów bezzałogowych statków powietrznych

Strefy geograficzne stanowią wydzielone struktury z ogólnej przestrzeni powietrznej i nakładają dodatkowe ograniczenia dla lotów realizowanych w ich obszarze. Wyznacza się je celu zapewnienia bezpieczeństwa wykonywanych operacji lotniczych z wykorzystaniem BSP oraz ze względu na ochronę danych osobowych, prywatności oraz środowiska. Strefy te wyznaczane są niezależnie w krajach członkowskich przez organ właściwy na podstawie rozporządzenia Komisji (UE) 2019/947. Zgodnie z Wytycznymi nr 24 Prezesa ULC organem właściwym dla wyznaczania stref geograficznych w ramach polskiej przestrzeni powietrznej jest Polska Agencja Żeglugi Powietrznej (PANSA – Polish Air Navigation Services Agency). Zdecydowano się na wydzielenie odrębnych struktur od stref przestrzeni powietrznej znanych z lotnictwa załogowego przede wszystkim ze względu na odmienny charakter operacji lotniczych. W pewnym zakresie odpowiadają strefą przestrzeni powietrznej, ale również wprowadzają zupełnie nowe obszary odnoszące się wyłącznie do bezzałogowych statków powietrznych. W Polsce w oparciu o Wytyczne nr 24 Prezesa ULC określone zostały strefy przedstawione w tabeli 2. Wyznaczenie strefy geograficznej może odbyć się z własnej inicjatywy Polska Agencja Żeglugi Powietrznej bądź na wniosek strony zainteresowanej określonej w paragrafie 5 ust. 1 Wytycznych nr 24 Prezesa ULC. Wyznaczając strefę geograficzną określa się jej rodzaj, okres obowiązywania, granice poziome i pionowe oraz warunki wykonywania operacji z użyciem BSP.

Tabela 2. Strefy Geograficzne obowiązujące w polskiej przestrzeni powietrznej.

DRA-P	Strefa zakazana (P –Prohibitet) – nie można wykonywać operacji lotniczych z zastosowaniem BSP. Loty w wyjątkowych okolicznościach mogą się odbywać wyłącznie na potrzebę i za zgodą zarządzającego bez względu na masę BSP.
DRA-R	Strefa ograniczona (R – Restricted) – loty z zastosowaniem BSP mogą być wykonywane jedynie za zgodą oraz na warunkach określonych przez PANSA lub podmiot uprawniony. Strefy te podzielono dodatkowo w oparciu o stopień prawdopodobieństwa uzyskania zgody na wykonanie operacji lotniczej. z uwzględnieniem właściwych kompetencji kat. otwartej lub szczególnej. Dodatkowe ograniczenia wynikające z kategorii otwartej to zakaz wykonywania lotów w strefie DRA-L poniżej 1 km od granicy lotnisk komunikacyjnych, zakaz wykonywania lotów w strefie DRARM/RL bez kompetencji A1/A3, zakaz wykonywania lotów powyżej 30 m w strefie DRA-RM w odległości od 1 do 6 km od

	granicy lotniska komunikacyjnego bez kompetencji A2, zakaz wykonywania operacji lotniczych na wysokości powyżej 100 m w strefach DRA-RH w odległości większej niż 6 km od granicy lotniska komunikacyjnego.
DRA-RH	Strefa ograniczona o wysokim stopniu prawdopodobieństwa uzyskania zgody. Najczęściej jest to obszar powyżej 6 kilometra od granic lotnisk komunikacyjnych i aeroklubowych. Loty BSP o masie do 900 g poniżej 100 m mogą odbywać się bez zgody zarządzającego, powyżej 100 oraz dronem o masie do 25 kg za zgodą zarządzającego – z uwzględnieniem ograniczeń wynikających z posiadanych kompetencji pilota BSP.
DRA-RM	Strefa ograniczona o średnim stopniu prawdopodobieństwa uzyskania zgody. Loty BSP o masie do 900 g poniżej 30 m mogą odbywać się bez zgody zarządzającego, powyżej 100 oraz dronem o masie do 25 kg za zgodą zarządzającego, po spełnieniu określonych w planie lotu warunków, wyłącznie za zgodą kontroli ruchu lotniczego (ATS – Air Trafic Control).
DRA-RL	Strefa ograniczona o niskim stopniu prawdopodobieństwa uzyskania zgody. Bez względu na wysokość lotu oraz masę BSP loty wyłącznie za zgodą zarządzającego, po spełnieniu określonych w planie lotu warunków, wyłącznie za zgodą ATS.
DRA-I	Strefa informacyjna (I – Information) – najczęściej są to ostrzeżenia nawigacyjne pomagające zachować bezpieczeństwo wykonywanych operacji lotniczych
DRA-T	Strefa ograniczona ze względu na warunki techniczne BSP – (T – Technical restrictions) – określają wymogi techniczne jakie musi spełniać BSP, którym wykonywana ma być operacja lotnia w strefie
DRA-U	Strefa, w której operacje z użyciem BSP mogą być realizowane tylko z użyciem zweryfikowanych usług zapewnianych w strefie.

3. Dokumentacja fotograficzna zdarzenia drogowego

Dokumentacja fotograficzna jest zbiorem zdjęć przedstawiających obszar zdarzenia dzięki czemu umożliwia dokładne ukazanie miejsca wypadku w możliwie wysokim stopniu obrazując wszystkie znajdujące się tam szczegóły (Prochowski et. al., 2014). Dołączona do dokumentacji miejsca wypadku znacznie ułatwia jego zrozumienie, rekonstrukcje oraz ocenę jego przyczyn jednak nie może zastępować protokołu oględzin. Fotografie są materiałem uzupełniającym i zabezpieczają przed utratą szczegółów mogących mieć istotne znaczenie, a z różnych względów nie zostały zawarte w protokole i na szkicu sytuacyjnym (Białek, 1995). Proste zdjęcia wykonane przy użyciu aparatu fotograficznego nie mogą również zostać użyte bezpośrednio do odczytu wymiarów geometrycznych. Aby to zrobić należy najpierw dokonać przekształcenia z rzutu środkowego na rzut prostokątny. Bywa jednak, że pomimo wykorzystania różnorakich technik nie da się odtworzyć koniecznych wymiarów z powodu źle wykonanego zdjęcia. Rozwiązaniem zdecydowanie ułatwiającym pracę biegłych sądowych z zakresu wypadków komunikacyjnych byłby dostęp do modelu powierzchniowego w wysokim stopniu odwzorowującego miejsce wypadku, dzięki czemu w każdej chwili mieliby możliwość dokonania dowolnych pomiarów oraz przeanalizowania miejsca zdarzenia. Tworzenie modeli przestrzennych dużych obiektów na otwartej przestrzeni zazwyczaj odbywa się w oparciu pomiar ręczny z zastosowaniem tachimetru, pomiar z zastosowaniem technologii wykorzystującej impuls światła laserowego LiDAR (Light Detection and Rangining) lub z wykorzystaniem fotogrametrii. Dwie pierwsze technologie są albo bardzo czasochłonne (zastosowanie tachimetru) albo bardzo drogie (LiDAR). (McMahon et. al., 2021). Dzięki zastosowaniu zdjęć fotogrametrycznych niskiego pułapu z użyciem bezzałogowego statku powietrznego możliwe jest wygenerowanie modelu przestrzennego o wysokiej dokładności stosunkowo niewielkim kosztem oraz w krótkim czasie. Dokładność uzyskanego modelu może zależeć od wielu czynników w tym także w dużym stopniu od warunków atmosferycznych – duże zachmurzeni i aktywność słońca wpływa na działanie satelitarnych systemów pozycjonowania, rodzaju podłoża – dokładniejsze wyniki uzyskuje się na płaskim terenie np. parkingi, ale przede wszystkim od ilości zebranych zdjęć. Powstało wiele prac mówiących o wpływie ilość naziemnych punktów kontrolnych na dokładność odwzorowania rzeczywistych wymiarów (Lucieer et. al., 2014, Bolkas et. al., 2019 (McMahon et. al., 2021, Javadnejad et. al., 2021) wskazując, ich optymalna ilość mieści się w zakresie od 12 do 20. Dostępne komercyjnie bezzałogowe statki powietrzne wyposażone są w dokładne systemy nawigacji satelitarnej. Przy odpowiednio dużej liczbie fotopunktów błąd średniokwadratowy wy-

nosi około 0,012 m dla osi pionowej i 0.065 m dla powierzchni prostopadłej, wzrastając wraz ze zmniejszaniem się ilości fotopunktów do wartości 1.394 m i 0,604 m. Chcąc zwiększyć dokładność położenia stosuje się bezzałogowe systemy latające wyposażone w stację naziemne systemów RTK (Real-time kinematic) lub PPK (Post-processing kinematic). W przypadku tych systemów wpływ ilości fotopunktów jest zdecydowanie mniejszy. Dla około 20 punków błąd średniokwadratowy wynosi odpowiednio dla osi pionowej 0,055 m i 0,031 m dla płaszczyzny prostopadłej i wraz ze spadkiem ilości fotopunktów spada do wartości 0,056 i 0,083 (Wiącek, 2017). Należy jednak zauważyć, że zastosowanie statków powietrznych bez dodatkowej stacji naziemnej oraz naziemnych punktów kontrolnych pozwalającej na korektę błędów systemów pozycjonowania znajdujących się na pokładzie nadal zapewniają dokładność znacząco przewyższającą dotychczas stosowane metody akwizycji danych z miejsca zdarzenia drogowego. Należałoby w przyszłości przeprowadzić badania skorelowane z wynikami ekspertyz biegłych z miejsc wypadków w celu jednoznacznego określenia, czy są to dane wystarczające, czy wymagana jest większa dokładność jak w przypadku nalotów fotogrametrycznych wykonywanych do celów pomiarowych na terenach budowlanych.

Na dziś nie ma jednoznacznej ogólnie przyjętej sformalizowanej procedury wykonywania nalotów fotogrametrycznych w celu wykonania modeli 3D terenu, a tym bardziej nie ma wytycznych dla wykonywania nalotów w celu uzyskania modeli przestrzennych wypadków komunikacyjnych pod kątem materiału dowodowego dla biegłych sądowych.

4. Wskazówki jak zrealizować nalot na miejsca zdarzenia drogowego

Ocena miejsca wykonywania operacji lotniczej – operację lotniczą należy wykonywać za zgodą i na zasadach uzgodnionych ze służbami ratowniczymi bądź po zakończeniu ich aktywności, zapoznać się z obowiązująca strefą geograficzną oraz obowiązującymi w niej zasadami, należy ocenić ryzyko pojawienia się osób postronnych w obszarze wykonywania lotu, rozpoznać przeszkody terenowe w miejscu zdarzenia oraz określić bezpieczne granice wysokości wykonywania lotu.

Przygotowanie miejsca startu – przed rozpoczęciem nalotu fotogrametrycznego warto zabezpieczyć i oznaczyć miejsce startu i lądowania w taki sposób, aby podczas zliczania się BSP nie doszło to nagłego wtargnięcia ludzi lub zwierząt.

Lista kontrolna – warto przygotować sobie przedstartową listę kontrolną obejmującą wyżej wymienione czynności oraz dodatkowo sprawdzenie stanu technicznego bezzałogowego systemu latającego.

Planowanie lotu – przed przystąpieniem do operacji warto ocenić na jakiej minimalnej wysokości można zrealizować nalot, im niższa wysokość tym wyższa uzyskana rozdzielczość. Jednak jednocześnie wraz z obniżeniem pułapu lotu komplikuje się proces łączenia zebranych zdjęć w jedną mapę lub model, ponieważ mniejszy obszar zawierał będzie mniej cech szczególnych. Dlatego lot należy wykonać po okręgu wokół POI (Point Of Interest) lub po płaszczyźnie liniami równoległymi z minimum 70% nakładką w kierunku wzdłużnym i po okręgu oraz 60% nakładką w kierunku poprzecznym (Ruzgiene, 2014). Niższy pułap wydłuża również czas trwania operacji lotniczej. Warto wykonać lot na minimum dwóch wysokościach tj. plan ogólny oraz lot szczegółowy oraz pochylić kamerę pod kątem w celu uchwycenia szczegółów w kierunku pionowym w przypadku tworzenia modeli 3D, podczas tworzenia ort fotomapy kamera powinno być skierowania pod kątem 90 stopni w kierunku fotografowanej płaszczyzny. Lot można wykonać w sposób automatyczny planując trasę z użyciem dedykowanego oprogramowania np. DroneDeploy lub w sposób manualny przy zachowaniu wyżej określonych reguł.

Realizacja lotu – w trakcie wykonywania operacji lotniczej, jeżeli jest to możliwe należy utrzymywać kontakt wzrokowy z BSP. Cały czas kontrolować parametry lotu w tym stan naładowania baterii i jakość sygnału sterowania i pozycjonowania. W przypadku pojawienia się przeszkody operację należy wstrzymać bądź przerwać.

Rozdzielczość – rozdzielczość opracowanego modelu zależy przede wszystkim do dwóch czynników – matrycy aparatu oraz wysokości z jakiej wykonywane są zdjęcia. Te dwa elementy determinują Ground Samplink Distance (GSD). Im wartość tego parametru jest wyższa tym większa dokładność

uzyskanego modelu. Na przykład wykonując zdjęcia aparatem wyposażony w matrycę 50 megapikseli z wysokości 58 metrów uzyskujemy rozdzielczość na poziomie 0.31 cm/pixel, natomiast wykonując zdjęcia z tej samej wysokości aparatem z matrycą 20 megapixeli GSD wyniesie 1.08 cm/pixel. Chcąc uzyskać taką samą wartość GSD dla aparatu o 20 megapikselowej matrycy przelot musiałby zostać zrealizowany na wysokości 25 metrów. Opracowanie przedstawione w niniejszych badaniach ma rozdzielczość równą 1.7 cm/pixel. Zazwyczaj oprogramowanie wykorzystywane do planowania misji automatycznie oblicza i wyświetla wartość GSD dla planowanego przelotu. W badaniach eksperymentalnych przedstawionych w literaturze wartość GSD nie przekracza 2 cm/pixel co wydaje się być wystarczającą wartością dla potrzeb przygotowania modelu zdarzenia drogowego.

5. Opracowanie danych

W tym rozdziale zaprezentowano dane zebrane podczas inscenizowanego zdarzenie drogowego na płaskim ternie na drodze szutrowej. Do stworzenia modelu przestrzennego zastosowano oprogramowanie DroneDeploy. Nalot realizowano z użyciem powszechnie dostępnego bezzałogowego statku powietrznego o przeciętnych kosztach zakupu – DJI Air 2s. Parametry techniczne drona przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wybrane parametry techniczne DJI Air 2S.

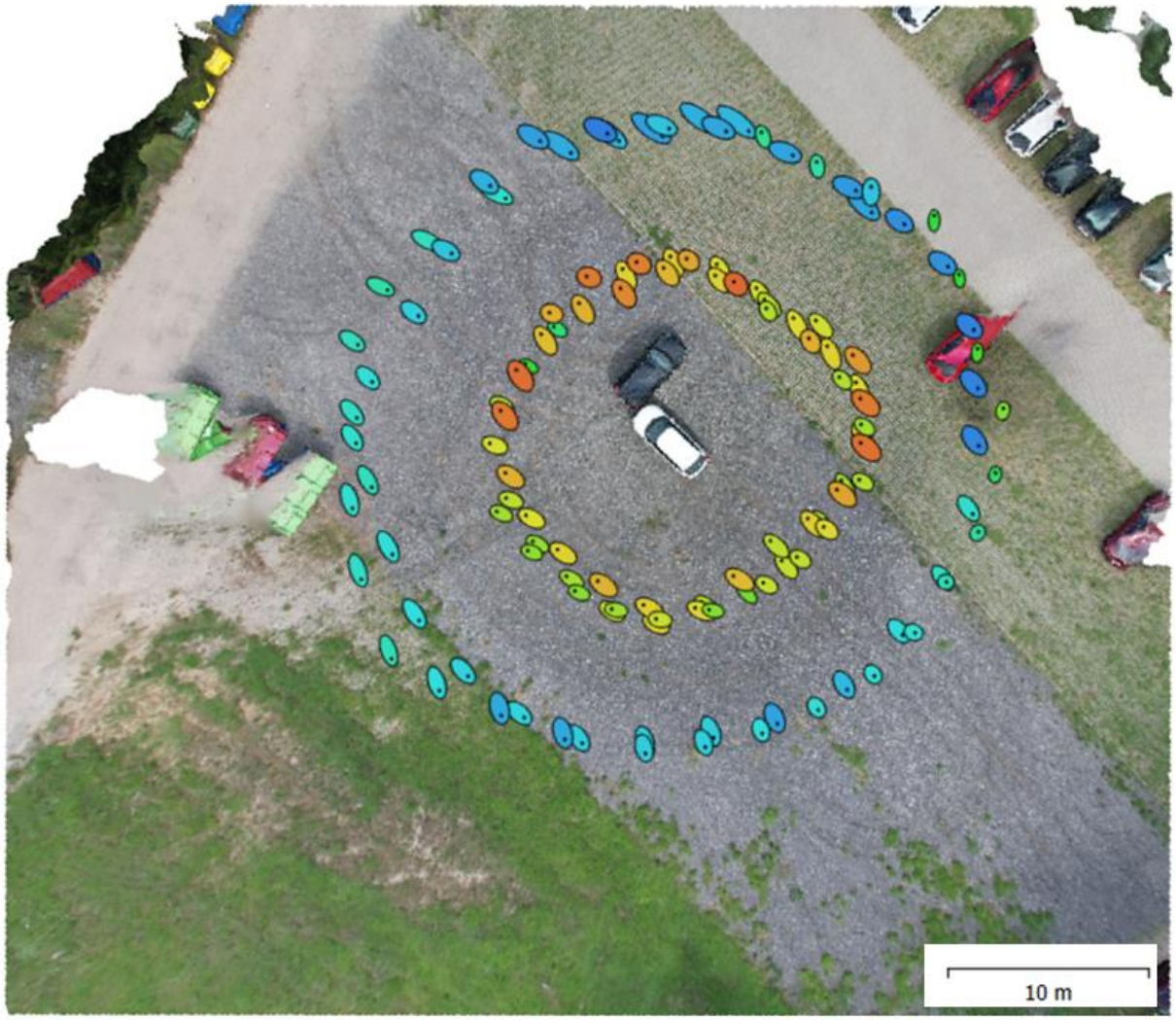
Komunikacja	2.4 GHz 5.8 GHz	**Przysłona**	f/2.8
Nawigacja	GPS, GLONASS	**Kąt widzenia**	88°
Prędkość maksymalna	68 km/s	**Stabilizacja**	Trójosiowa
Prędkość wznoszenia / opadania	6 m/s	**Rozdzielczość wideo**	5.4K, 3078p, do 30 fps 4K, 2160p, do 60 fps 2.7K, 1520p, do 60 fps FullHD, 1080p, do 120 fps
Zasięg	8000 m	**Format wideo**	H.265 H.264 MPEG-4
Czas pracy	31 min	**Rozdzielczość zdjęć**	5472 × 3648
Kamera	20 Mpix	**Format zdjęć**	RAW, JPEG
Matryca	1" CMOS	**MTOM**	595 g

Nalot realizowano w sposób manualny po okręgach wokół POI na dwóch wysokościach: 5 i 10 m oraz dwa przeloty po liniach prostopadłych. Wykonywano zdjęcia w interwałach 2s podczas lotu po okręgu z prędkością 2 m/s uzyskując łącznie 125 zdjęć. Łączny czas trwania operacji na miejscu zdarzenia wynosił 10 minut. Na rysunku 1 przedstawiono pozycję, w których wykonane były zdjęcia.

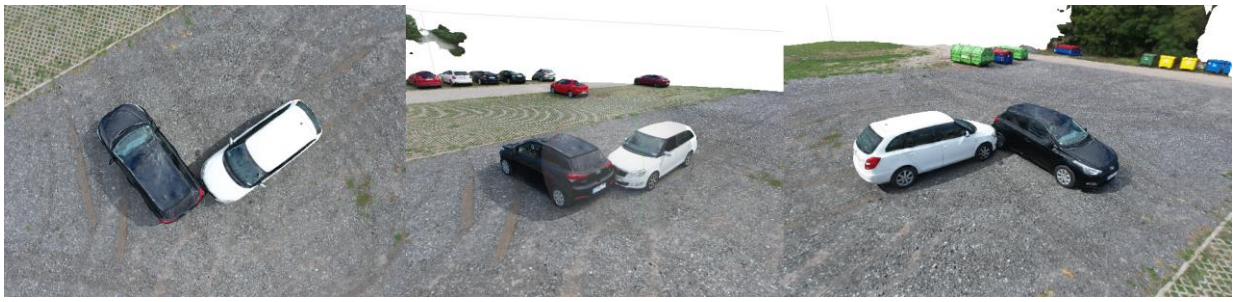
W kolejnym kroku importowano zdjęcia do oprogramowania Agisoft Metashape ver. 1.8.4 w celu stworzenia modelu przestrzennego. Modelowanie realizowano na komputerze przenośnym wyposażonym w 16 GB pamięci RAM, czterordzeniowy, ośmiowątkowy procesor Intel i5 10300h oraz kartę graficzną NVIDIA GTX 1650Ti dysponującą 4 GB pamięci. Łączny czas przygotowywania modelu wyniósł 40 minut. Wynik zaprezentowano na rysunku 2. przedstawiającym kilka wybranych ujęć modelu 3D.

Wszelkie pomiary oraz ocena miejsca wypadku wykonywana może być na modelu przestrzennym. Model ten można poddać prostej analizie bezpośrednio w środowisku Agisoft Metashape lub wyeksportować w formacie *.obj i poddać analizie w innym środowisku. Na przykład, aby uzyskać fotorealistyczny render utworzonego modelu można wykorzystać darmowe oprogramowanie Blender (Skon-

dras et. al., 2022). Oprogramowanie to jest parte o język programowania python i stwarza możliwości analizy geometrii w oparciu o utworzone skrypty. Rysunek 3 przedstawia pomiar długości drogi hamowania. Środowisko Metashape nie dysponuje rozbudowanym modułem pomiarowym, niemniej jednak wygenerowane modelu lub ujęcia można przenieść do środowiska takiego jak wspomniany blender lub innego oprogramowania używanego przez biegłych tak jak miałoby to miejsce w przypadku zdjęć wykonanych metodami tradycyjnymi.



Rys. 1. Pozycje, z których realizowane były zdjęcia.



Rys. 2. Wybrane ujęcia modelu 3D.

Rys. 3. Długość drogi hamowania.

6. Wnioski

Zastosowanie małych bezzałogowych statków powietrznych, w odróżnieniu od śmigłowców i płatowców załogowych, umożliwia wykorzystanie zalet fotogrametrii na niewielkim obszarze również w mieście, gdzie naturalną przeszkodą mogą być wysokie zabudowania. Dzięki możliwości wykonywana zdjęć na relatywnie niskim pułapie możliwe jest uzyskanie zdjęć o wysokiej rozdzielczości, a samo przygotowanie się do lotu nie zajmuje dużo czasu. Odpowiednio duża liczba zdjęć wykonanych z zachowaniem reguł właściwych dla fotogrametrii pozwala na wykonanie modelu przestrzennego miejsca wypadku o dużej szczegółowości, w krótkim czasie. Nalot fotogrametryczny może być realizowany przez osobę, która nie jest specjalistą z zakresu oceny wypadków drogowych. Dobrze przygotowany model przestrzenny mógłby ograniczyć czas jaki biegły musiałby spędzić na miejscu w celu zebrania i zarchiwizowania wszystkich możliwych śladów zdarzenia. Model ten może również zostać następnie wykorzystany do analizy miejsca zdarzenia pod kątem zmniejszenia ryzyka wystąpienia kolejnej kolizji w rozpatrywanym miejscu poprzez analizę widoczności na skrzyżowaniu ograniczonej przez roślinność bądź zabudowania.

Literatura

Białek I., (1995) *Problematyka prawna i techniczna wypadków drogowych materiały szkoleniowe*, Kraków, Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych

Guidelines No. 7 of the President of the Polish Civil Aviation Authority of 9 June 2021 *on the methods of performing operations with the use of unmanned aerial vehicle systems*

Guidelines No. 24 of the President of the Polish Civil Aviation Authority of 30 December 2020 *on the designation of geographical zones for unmanned aerial vehicle systems*

Janik, P. Zawistowski, M. Fellner, R. Zawistowski, G., (2021) *Unmanned Aircraft Systems Risk Assessment Based on SORA for First Responders and Disaster Management*, Appl. Sci., 11, 5364, https://doi.org/10.3390/app11125364

McMahon C, Mora OE, Starek MJ., Evaluating the Performance of sUAS Photogrammetry with PPK Positioning for Infrastructure Mapping, Drones, 5(2):50. https://doi.org/10.3390/drones5020050

Prochowski L., Unarski J., Wach W., Wicher J., (2014) *Basics of road accident reconstruction*, Warszawa, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności

Ruzgiene B., (2004) *Requirements for aerial photography*, Geodesy and Cartography, vol. 30 no 3, doi: 10.1080/13921541.2004.9636646

Skondras, A. Karachaliou, E. Tavantzis, I. Tokas, N. Valari, E. Skalidi, I. Bouvet, G.A. Stylianidis, E., *UAV Mapping and 3D Modeling as a Tool for Promotion and Management of the Urban Space*, Drones, 6, 115. doi: 10.3390/drones6050115

Wiącek P., (2017) *Why an RTK in a drone? Does the installation of RTK receivers in unmanned aerial vehicles significantly increase the accuracy of the resulting photogrammetric data??*, Geodeta, no 2 item 261

McMahon C, Mora OE, Starek MJ., *Evaluating the Performance of sUAS Photogrammetry with PPK Positioning for Infrastructure Mapping*, Drones, 5(2):50. doi: 10.3390/drones5020050