
Zeszyty Naukowe SGSP 2021
2021, Nr 79, s. 51–82
ISSN: 0239-5223
Creative Commons Attribution 4.0 International License
DOI: 10.5604/01.3001.0015.2888

DR HAB. INŻ. NAWIG. ANDRZEJ FELLNER, PROF. PŚ
Politechnika Śląska
e-mail: afellner@o2.pl
ORCID 0000-0001-5634-5516

NADBRYG. DR INŻ. MARIUSZ FELTYNOWSKI
Szkoła Główna Służby Pożarniczej
e-mail: mfeltynowski@gmail.com
ORCID 0000-0001-5614-8387

MGR RADOSŁAW FELLNER
*Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej –
Państwowy Instytut Badawczy*
e-mail: rfellner@cnbop.pl
ORCID 0000-0002-9095-4996

PRZYGOTOWANIE NAWIGACYJNE BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH DO OPERACYJNYCH DZIAŁAŃ STRAŻY POŻARNEJ

ABSTRAKT

Warunkiem bezpiecznego i precyzyjnego wykonania zadania przez bezzałogowy aparat latający jest wstępne i bezpośrednie przygotowanie nawigacyjne. Potwierdzono to założenie podczas przeprowadzonych w kwietniu 2020 r. działań ratowniczo-gaśniczych w Biebrzańskim Parku Narodowym. Oprócz 79 zastępów jednostek

ochrony przeciwpożarowej i 380 strażaków, dwóch śmigłowców, sześciu samolotów dodatkowo działania operacyjne wspierały cztery bezzałogowe systemy latające. Zdobyte doświadczenia i wnioski umożliwiły opracowanie koncepcji przygotowania nawigacyjnego dla bezzałogowych systemów latających.

SŁOWA KLUCZOWE

bezzałogowy system powietrzny, przygotowanie nawigacyjne, straż pożarna, gaszenie pożarów, bezzałogowe statki powietrzne

Przyjęty: 21.07.2021; Zrecenzowany: 06.09.2021; Zatwierdzony: 06.09.2021

NAVIGATION PREPARATION OF UAV TO THE OPERATIONAL ACTIVITIES OF FIRE SERVICES

ABSTRACT

The prerequisite for the safe and precise execution of the task by an unmanned flying system is preliminary and direct navigational preparation. This was confirmed by the establishment of fire-fighting operations carried out in April 2020 in Biebrza National Park. In addition to 79 Fire Protection Units and 380 firefighters, 2 helicopters, 6 aircraft and four unmanned aircraft systems were additionally supported by operational operations. Experience gained and lessons learned have enabled the development of a navigational preparation concept for unmanned aircraft systems.

KEYWORDS

unmanned aircraft system, navigational preparation, fire services, firefighting, unmanned aerial vehicles

Received: 21.07.2021; Reviewed: 06.09.2021; Accepted: 06.09.2021

1. WPROWADZENIE

Tematyka użycia bezzałogowych statków powietrznych (BSP) w działaniach gaśniczych podczas wielkoobszarowych pożarów lasów jest bogato opisana w literaturze naukowej. Przykładowo, w serwisie Web of Science w latach 1990–2018 odnotowano 308 publikacji związanych z BSP i pożarami lasów [5]. Głównie są to analizy i badania dotyczące zdalnego wykrywania pożarów, monitorowania, tworzenia map, zarządzania i reagowania kryzysowego implikującego stosowanie technik i technologii satelitarnych. Zauważalne jest coraz częstsze zainteresowanie badaczy tematyką wykorzystania uczenia maszynowego do wykrywania i przewidywania rozprzestrzeniania się pożarów przy użyciu BSP [2]. Równolegle prowadzone są analizy dotyczące tworzenia ad-hoc za pomocą dronów lokalnych sieci przesyłania danych [18] czy dronów jako elementu Internetu Rzeczy (Internet of Things – IoT) [10]. W kontekście operacyjnym dopiero rozwijane są takie koncepcje i rozwiązania, jak przenoszenie wody i gaszenie z BSP [6]. Z analizy literatury przedmiotu wynika, że sporadycznie jest podejmowana problematyka działań operacyjnych z użyciem BSP, taktyki działań, procedur operacyjnych, naziemnego przygotowania do lotów specjalistycznych (operacyjnych), przygotowania nawigacyjnego.

Należy zauważyć, że upowszechnianie i rozwijanie technologii związanych z BSP na potrzeby działań straży pożarnej czy szeroko rozumianych służb pierwszego reagowania (First Responders – FR) są przedmiotem projektów naukowo-badawczych i rozwojowych, takich jak: ASSISTANCE [4], FIRE-IN [13], ResponDrone [21], INGENIOUS [16], DRIVER+ [9], FASTER [11]. Jednakże w wyżej wymienionych projektach brakuje celu, jakim byłoby opracowanie (na podstawie testów, demonstracji, warsztatów) zaleceń, rekomendacji czy standardów przyjętych dla wykonywania specjalizowanych, operacyjnych lotów BSP. Przy czym poprzez sformułowanie „operacyjne” należy rozumieć: wykonywane przez służby państwowe, możliwe do wykonania 24 godziny na dobę.

Niniejszy artykuł ma na celu opisanie przygotowania nawigacyjnego i użycia BSP podczas pożaru wielkoobszarowego łąk, terenów leśnych, trzcinowisk i torfowisk, co przeprowadzono w kwietniu 2020 r. w Biebrzańskim Parku Narodowym. Wykorzystaną metodą badawczą jest zatem studium przypadku. Ze względu na operacyjny charakter opisywanych działań niektóre

dane i informacje będące własnością PSP nie mogły zostać upublicznione i przytoczone w niniejszym artykule.

Podjęmowane w pracy zagadnienie jest mocno osadzone w kontekście teorii zarządzania kryzysowego, ale odnosi się do ściśle określonego obszaru badawczego. Zarządzanie kryzysowe obejmuje cztery fazy [3]: zapobiegania, przygotowania, reagowania i odbudowy. Międzynarodowy standard cyklu reagowania USAR wyróżnia natomiast siedem faz [17]: gotowość, mobilizacja, działania (operacyjne), demobilizacji, po misji [7]. Uwzględniając powyższe oraz ograniczenia dotyczące publikacji, autorzy postanowili zawrzeć jedynie dwie fazy: przygotowania i reagowania (działań operacyjnych). Istotne, że artykuł choć odnosi się do lokalnego zdarzenia, zawiera treści i wnioski mogące mieć zastosowanie w innych formacjach mundurowych, także zagranicznych.

2. CHARAKTERYSTYKA DZIAŁAŃ RATOWNICZO-GAŚNICZYCH PODZAS POŻARU W BIEBRZAŃSKIM PARKU NARODOWYM

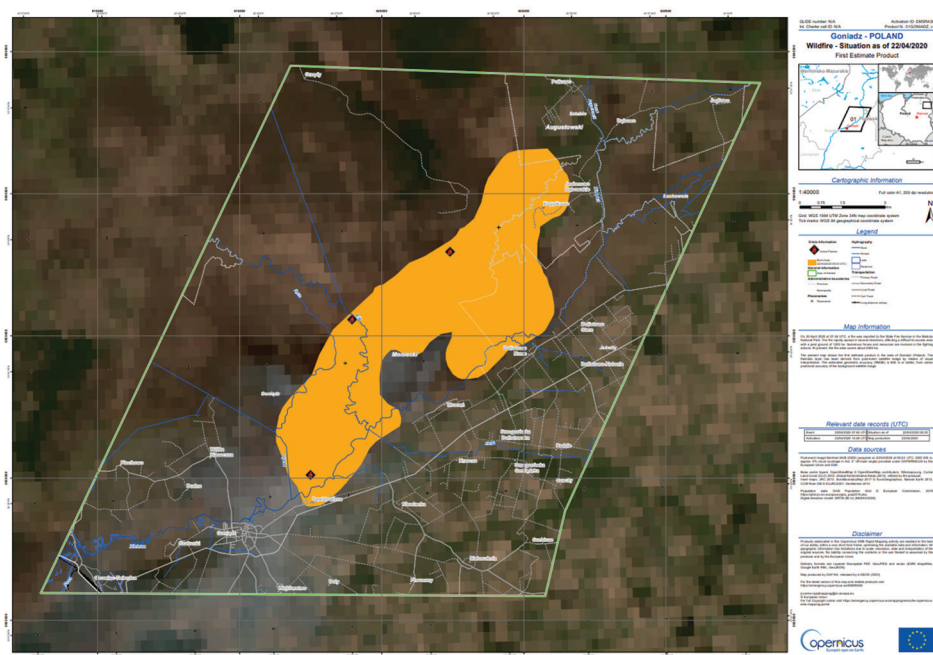
19 kwietnia 2020 r. od godz. 16:01 do 20:57 odnotowano pięć kaskadowych zgłoszeń pożarów na terenie Biebrzańskiego Parku Narodowego (zdj. 1). Działania gaśnicze realizowane siłami i środkami powiatu zakończono kolejnego dnia o godz. 7:21. W działaniach uczestniczyły 24 zastępy jednostek ochrony przeciwpożarowej (JOP) oraz 129 strażaków Państwowej Straży Pożarnej/Ochotniczej Straży Pożarnej. Niestety okazało się, że tego dnia już o godz. 7:42 wpłynęło kolejne zgłoszenie o pożarze w tym rejonie. Tym razem w działaniach gaśniczych uczestniczyło 51 zastępów JOP oraz 223 strażaków PSP/OSP. Gdy po zakończeniu głównych działań gaśniczych zabezpieczano pogorzeliiska, o godz. 8:55 21 kwietnia wpłynęło zgłoszenie o kolejnym pożarze na terenie parku. Tym razem w działaniach gaśniczych uczestniczyły 62 zastępy JOP, 348 strażaków PSP/OSP, cztery samoloty patrolowo-gaśnicze (PZL M18 Dromader) oraz BSL. Po zakończeniu głównych działań gaśniczych od godzin nocnych zabezpieczano pogorzeliiska, a powierzchnię pożaru określono na 3000 ha.

22 kwietnia w godzinach porannych w Goniądzu zawiązał się Sztab Podlaskiego Komendanta Wojewódzkiego PSP, a kierowanie działaniami ratowniczymi na poziomie strategicznym objął Podlaski Komendant Wojewódzki

PSP. W tym samym czasie Komendant Główny PSP polecił zadysponować siły i środki Centralnego Odvodu Operacyjnego, w tym 170 strażaków, 75 ratowników, zespół operatorów bezzałogowych statków powietrznych. W celu koordynowania sił i środków powołano Stanowisko Kierowania Komendanta Głównego PSP. Na nim uruchomiono europejski system reagowania w przypadku klęsk i katastrof COPERNICUS, w ramach którego pozyskano zobrazenie satelitarne obszaru (zdzj. 2).



Zdj. 1. Czoło pożaru oznaczone na zdjęciu terenu i na zdjęciu satelitarnym
Źródło: opracowanie własne



Zdj. 2. Obraz rozpoznania satelitarnego Copernicus z zaznaczonym obszarem objętym pożarem w Biebrzańskim Parku Narodowym

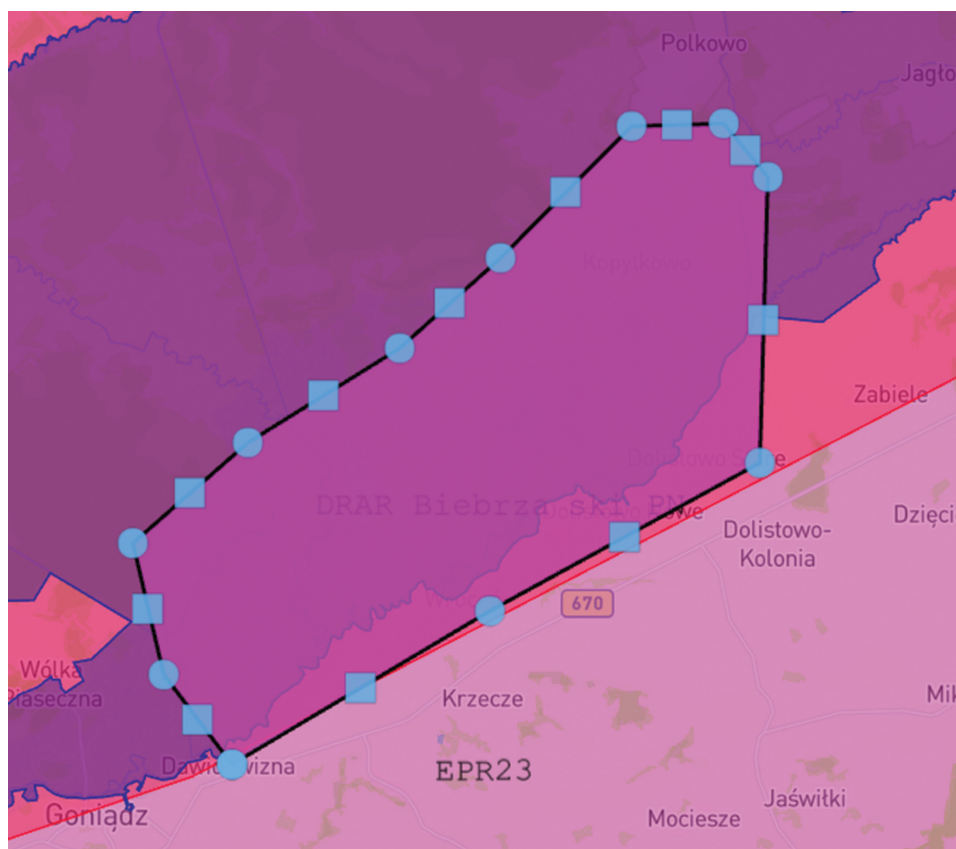
Źródło: https://emergency.copernicus.eu/mapping/system/files/components/EMSR436_AOI01_FEP_PRODUCT_r1_RTP01_v1.jpg, dostęp: 26.11.2020 r.

Należy zaznaczyć, że nad obszarem objętym pożarem znajdowały się następujące struktury przestrzeni powietrznej (zdj. 3.):

- strefa ograniczona w przestrzeni powietrznej, wyznaczona przez Polską Agencję Żeglugi Powietrznej EPR23 BIEBRZAŃSKI PARK NARODOWY – aktywna H24, wysokość od GND do 4000 ft AMSL [1],
- DRAR – Drone Airspace Restriction – strefa ograniczona U-space [20].

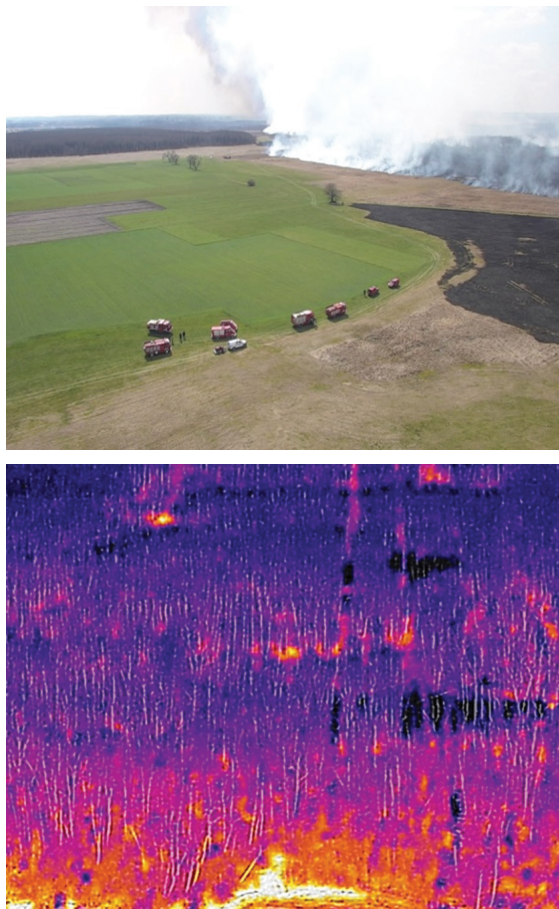
W celu kontynuowania działań gaśniczych i dozorujących powołano Grupę Operacyjną KG PSP, a teren podzielono na pięć odcinków: Kuligi, Grzędy, Wroceń, Kopytkowo, Kanał. Prowadzone działania na wszystkich odcinkach polegały na dogaszaniu pogorzeliisk i pojawiających się zarzewi ognia. W związku ze skrajnie trudnymi warunkami terenowymi związanymi z występowaniem terenów bagiennych oraz cieków wodnych do przemiesz-

czania się sił i środków używane były amfibie ARGO 8x8 oraz wszędołazy. Równocześnie na poszczególnych odcinkach wodnych rozpoznawano możliwość budowania magistrali wodnych, utworzenia lotniska polowego w celu przyspieszenia procesu tankowania gaśniczych statków powietrznych. Zamiar taktyczny polegał na przelewaniu wodą czterech kompleksów leśnych i trzcinowisk w okolicach miejscowości: Wroceń, Wólka Piaseczna, Grzędy i Kuligi. Od 24 kwietnia w dalszym ciągu prowadzone były działania gaśnicze i dozoruące, a nocą sprawdzano za pomocą BSP z kamerami termowizyjnymi pogorzelnisko w celu wychwycenia kolejnych zarzewi ognia (zdj. 4).



Zdj. 3. Mapa pogładowa struktur przestrzeni powietrznej (EPR23, DRAR) w przybliżonym obszarze objętym pożarem

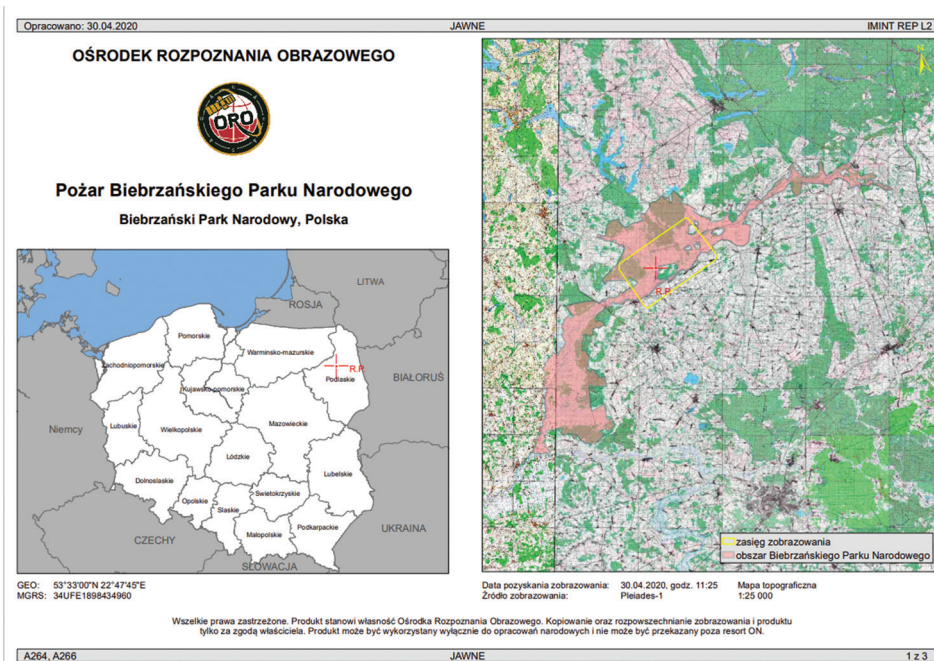
Źródło: PANS-UTM



Zdj. 4. Dozorowanie pożaru w dzień (z prawej) i w nocy (termowizja) za pomocą BSP
Źródło: opracowanie własne

Całkowita powierzchnia pożaru wynosiła 5280 ha, a podjęte działania przynosiły rezultaty, bo prowadzone były już działania na trzech odcinkach bojowych, przy czym na jednym o powierzchni 1500 ha prowadzono przelewanie tłących się zarzewi ognia, a na dwóch pozostałych prowadzono dozowanie. Równocześnie zaobserwowano obniżenie poziomu wody w Biebrzy, więc zadysponowano przedstawiciela wojsk inżynieryjnych do opracowania przeprawy wodnej. W kolejnym dniu kontynuowane były działania gaśnicze i dozujące na trzech odcinkach. Użycie kamer termowizyjnych umożliwiło lokalizację punktów o wysokiej temperaturze, a tym samym niedopuszczenie do powstania nowych ognisk pożaru oraz pożaru podpowierzchniowego

(torfu) na dużym obszarze. 26 kwietnia dokonano sprawdzenia pogorzelska pod względem nowych zarzewi ognia z użyciem śmigłowca policyjnego Bell oraz trzech dronów PSP wyposażonych w systemy termowizyjne. Przeprowadzone patrole nie ujawniły zagrożeń, toteż o godz. 17:00 zakończono działania gaśnicze i teren akcji przekazano władzom Biebrzańskiego Parku Narodowego. W tych działaniach ratowniczo-gaśniczych uczestniczyły: dwa śmigłowce i sześć samolotów patrolowo-gaśniczych typu „Dromader” Lasów Państwowych, dwa śmigłowce Policji, śmigłowiec Straży Granicznej. Dodatkowo zastosowano cztery bezzałogowe systemy powietrzne do rozpoznania terenu działań, precyzyjnego określania pojedynczych ognisk pożaru w oparciu o standardowe kamery RGB oraz termowizyjne. BSP były wykorzystywane praktycznie od rana do późnych godzin wieczornych. Skuteczność i precyzja podczas wykonywania zadań przez wymienione statki powietrzne w dużej mierze zależała od wstępnego i bezpośredniego lotniczego przygotowania nawigacyjnego oraz wskazała na konieczność opracowania odpowiedniej metodyki dla BSP. Ponowną kontrolę wykonano dronami straży pożarnej po zakończeniu akcji 30 kwietnia (zdj. 5) metodą drabinkową.



Zdjęcie 5. Przeprowadzona kontrola po zakończeniu akcji gaśniczej 30.04.2020 r.
Źródło: opracowanie własne

3. CHARAKTERYSTYKA OPERACYJNIE UŻYWANYCH BEZZAŁOGOWYCH SYSTEMÓW POWIETRZNYCH

Podczas działań gaśniczych prowadzonych od 19 do 26 kwietnia 2020 r. na terenie Biebrzańskiego Parku Narodowego operacyjnie stosowano od rana do późnych godzin wieczornych bezzałogowe statki powietrzne typu:

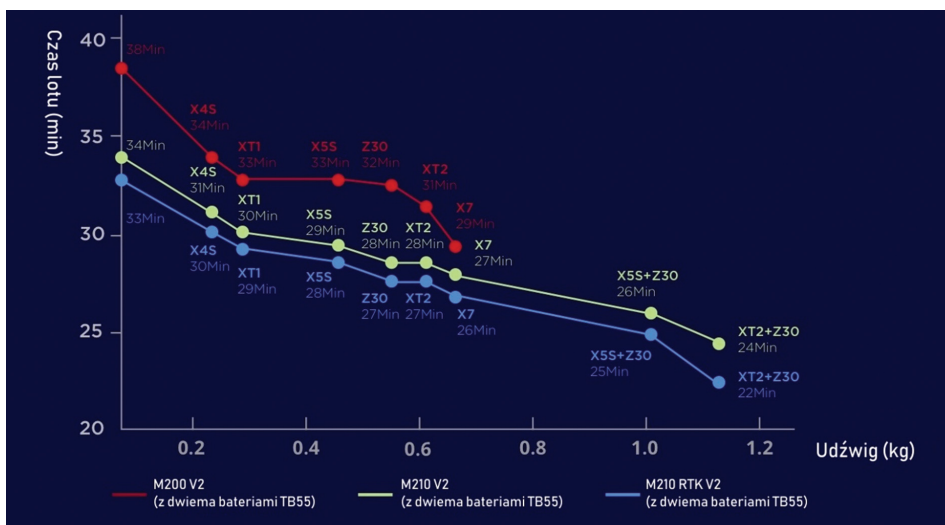
- czterowirnikowce DJI Matrice 210 wyposażone w różne wersje kamer (na światło widzialne RGB oraz termowizyjne),
- sześciowirnikowce Yuneec H520 (na światło widzialne RGB).

Wymienione BSP dokonywały rozpoznania terenu działań, precyzyjnie określały pojedyncze ogniska pożaru, a także w oparciu o pokładowe kamery monitorowały wyniki działań gaśniczych i dozorowały podejmowane przedsięwzięcia, jak również umożliwiały kontrole pogorzeliisk po zakończeniu akcji gaśniczych (zdj. 6).

Użyte trzy bezzałogowe statki powietrzne typu DJI Matrice 210 (zdj. 5) przedstawiono wraz z wybranymi parametrami w tabeli 1. Wyposażone były w: aparaturę sterującą CENDENCE-S (GL900A) z monitorem CrystalSky DJI CrystalSky 7.85” o rozdzielczości 2048×1536, jasności 2000 cd/m², Android 5.1 o pamięci 128 GB, dolny system pozycjonowania, przedni system pozycjonowania, górne czujniki podczerwieni, akumulator (TB55-7660mAh-22.8V), ładowarkę (IN2C180), hub do ładowania (IN2CH). Niewątpliwie do kluczowych cech Matrice 210 V2 zalicza się:

- stopień ochrony – IP43;
- nowy system transmisji OcuSync 2.0 pozwalający na stabilny lot dzięki wykorzystaniu automatycznego przełączania się między pasmami 2.4 GHz i 5.8 GHz oraz zasięgowi wynoszącemu do 5 km w optymalnych warunkach;
- system TimeSync monitorujący w czasie rzeczywistym ustawienie kontrolera lotu, kamery, modułu GPS/RTK oraz urządzeń dedykowanych, akcesoriów;
- dokładność zbierania danych;
- technologię DJI AirSense – dzięki wbudowanemu odbiornikowi ADS-B automatycznie zapewnia operatorowi informacje o pobliskim ruchu powietrznym w czasie rzeczywistym;
- zasilanie systemu, które stanowią dwa akumulatory TB55 z systemem podgrzewania, dzięki czemu BSP może osiągnąć czasu lotu do 34 minut (bez obciążenia) i pracować w zakresie temperatur od -20 do +50°C;

- oświetlenie antykolizyjne: dolna i górna dioda sygnalizacyjna, umożliwiająca zlokalizowanie BSP w nocy i słabo oświetlonych warunkach, a tym samym poprawę bezpieczeństwa wykonywanych lotów;
- kamerę FPV;
- kalibrację/trymerowanie, w przypadku gdy zamontowano na pokładzie kilka urządzeń – wtedy operator może przestawić środek ciężkości BSP w aplikacji, zwiększając bezpieczeństwo i stabilność lotu;
- kompatybilność z: oprogramowaniem Mobile SDK, technologią DJI SkyPort, oprogramowaniem Onboard SDK;
- podwójne dolne mocowanie gimbału;
- kompatybilność z sensorami Zenmuse: XT2, X5S, X7, Z30, X4S, XT (adapter i kamera w wersji V2), urządzeniami innych producentów (poprzez Payload SDK).



Zdj. 6. DJI Matrice 210 oraz czasy lotu w jego poszczególnych konfiguracjach

Źródło: opracowanie własne

Tabela 1. Specyfikacja techniczna bezzałogowego statku powietrznego DJI Matrice 210

Wymiary	883×886×398 mm (rozłożony + śmigła i podwozie)
Waga	4,8 kg (z dwoma bateriami TB55)
Maksymalna masa startowa	6,14 kg
Maksymalny udźwig	1,34 kg
Dokładność zawisu (P-mode, GPS)	pionowo: $\pm 0,5$ m lub $\pm 0,1$ m (włączony dolny system pozycjonowania) poziomo: $\pm 1,5$ m lub $\pm 0,3$ m (włączony dolny system pozycjonowania)
Częstotliwość pracy	2,4000–2,4835 GHz; 5,725–5,850 GHz
EIRP (moc nadajnika)	2,4 GHz: ≤ 20 dBm (CE/MIC) 5,8 GHz: ≤ 14 dBm (CE)
Maksymalna prędkość obrotu	Pitch: 300°/s, Yaw: 120°/s
Maksymalna prędkość wznoszenia	5 m/s
Maksymalny kąt nachylenia	S-mode: 35° (górny gimbal, dolny podwójny gimbal: 30°) P-mode: 30° (włączony przedni system czujników: 25°) A-mode: 30°
Maksymalna prędkość opadania	3 m/s
Maksymalna prędkość	S-mode/A-mode: 81 km/h (górny gimbal, dolny podwójny gimbal: 73 km/h) P-mode: 61.2 km/h
Maksymalny pułap n.p.m.	3000 m (ze śmigłami 1760S)
Maksymalny zasięg transmisji (obszar wolny od zakłóceń, teren otwarty)	CE/MIC: 5 km
Maksymalna odporność na wiatr	12 m/s
Maksymalny czas lotu (dwie baterie TB55)	34 min (bez obciążenia) 24 min (masa startowa: 6,14 kg)
Obsługiwane gimbały DJI	Zenmuse X4S/X5S/X7/XT/XT2/Z30
GNSS	GPS+GLONASS
Indeks odporności (woda/ciała stałe)	IP43
Temperatura pracy	-20° do 50°C)

Źródło: opracowanie własne

Również stosowano bezzałogowy statek powietrzny Yuneec H520, a jego specyfikację techniczną prezentuje tabela 2. Heksakopter H520 z kamerą E90 przygotowany jest do zastosowań profesjonalnych, umożliwia lot po wyznaczonych punktach, wykonywanie map 2D i 3D oraz wyposażony jest w Software Development Kit (SDK). Urządzenie ST16S z procesorem Quadcore i 7" wyświetlaczem Low-Glare pozwala na kompleksowe zaplanowanie misji. Natomiast kompaktowy czujnik 1*CMOS z rozdzielczością 20 megapikseli umożliwia wykonywanie zdjęć w wysokiej rozdzielczości. Wideo rejestrowane jest w 4K przy 60fps, dzięki czemu materiał jest bardzo płynny i umożliwia pozyskiwanie płynnych ujęć typu slow-motion. Obraz na żywo przesyłany jest do stacji naziemnej ST16S w jakości 720p z 5,8 GHz. Sprawdzony trójosiowy gimbal Yuneec z rotacją 360° zapewnia maksymalną stabilizację platformy. Stosowana jest stacja naziemna ST16S Ground Station, a jej bazę stanowi procesor Intel Quadcore dostarczający niezbędną moc obliczeniową. Podstawę dla wszystkich funkcji lotu stanowi oprogramowanie DataPilot oferujące komunikaty głosowe, a poprzez gniazdo USB może streamować obraz do osobnego urządzenia w celu wyświetlania, np. na monitorze LCD. Nawigacja w menu przebiega w sposób intuicyjny, a używając Mission Mode, można na zintegrowanej mapie zaznaczyć współrzędne niezbędne podczas wykonywania misji, ustawić pokrycie wzajemne (dwu sąsiednich zdjęć). Jednak dla każdego punktu zainteresowania (Point Of Interest – POI) należy określić wysokość lotu, ustawienie kamery lub boczne odchylenie. Po ukończeniu misji i lądowaniu możliwy jest powrót do miejsca startu, powtórzenie misji oraz odbycie misji wielokątnej, czyli określenie obszaru, w którym dron ma latać (zdz. 6). Program DataPilot automatycznie oblicza całkowitą odległość, czas lotu, a także wielkość (powierzchnię) danego obszaru. Po załadowaniu ustawień BSP automatycznie rozpoczyna misję, realizuje ją, powraca do miejsca startu.

Bezzałogowy statek powietrzny Yuneec H520 posiada tryby lotu: Angle Mode, Manual Mode, Return to Launch, Mission Mode. Natomiast oprogramowanie Mobile SDK umożliwia dostęp do funkcji związanych ze stabilizacją lotu, telekomunikacją, zarządzaniem czujnikami, kontrolą kamery, misjami lotniczymi. W oparciu o SDK można tworzyć nowe aplikacje. Transfer danych (telemetria) umożliwia dostęp w czasie rzeczywistym do takich parametrów, jak pozycja GPS, prędkość, statusu lotu, wysokość, podgląd 720p na żywo poprzez RTSP, zgrywanie materiałów poprzez WiFi, dostęp do logów w czasie rzeczywistym.

Tabela 2. Specyfikacja techniczna bezałogowego statku powietrznego Yuneec H520 i aparatury sterującej ST 16S Ground Station

Czas lotu	do 25 minut (z kamerą E90)
Waga	1633 g (z baterią bez kamery E90)
Maksymalna ładowność	500 g
Nadajnik	ST16S 16-kanałowa 2,4 Ghz 5,8 GHz transmisja video
Zasięg	1,6 km (1 mila)
Maksymalna wysokość (względna)	500 m
Maksymalna prędkość kątowna obrotu	120 stopni
Maksymalne wychylenie	35 stopni
Maksymalna prędkość wznoszenia	7 m/s
Maksymalna prędkość opadania	6 m/s
Maksymalna prędkość w poziomie	48,6 km/h (13,5 m/s)
Częstotliwość radiowa sterowania	2,4 GHz
GNSS	GPS+GLONASS
Indeks odporności (woda/ciała stałe)	Brak
Temperatura pracy	Od -10°C do 40°C
ST16S Ground Station	
System operacyjny	Android
Zasięg transmisji sterowania	1,6 km w optymalnych warunkach
Rozdzielczość transmisji video	HD 720p Yuneec Protocol
Częstotliwość transmisji video	5.8 GHz
Zasięg transmisji video	do 1,6 km (1 mila) w optymalnych warunkach
Dane telemetryczne lotu	tak
Rozmiar ekranu LCD	7"
Sygnały dotykowe, wibracje, dźwiękowe	tak
Bateria	3,6 V 8700 mAh, 31,32 Wh, Lithium Ion
Komunikaty głosowe	tak

Źródło:



Zdj. 7. Bezzałogowy system powietrzny: aparatura sterująca ST16S Ground Station oraz bezzałogowy statek powietrzny Yuneec H520 z kamerą E90
Źródło: opracowanie własne

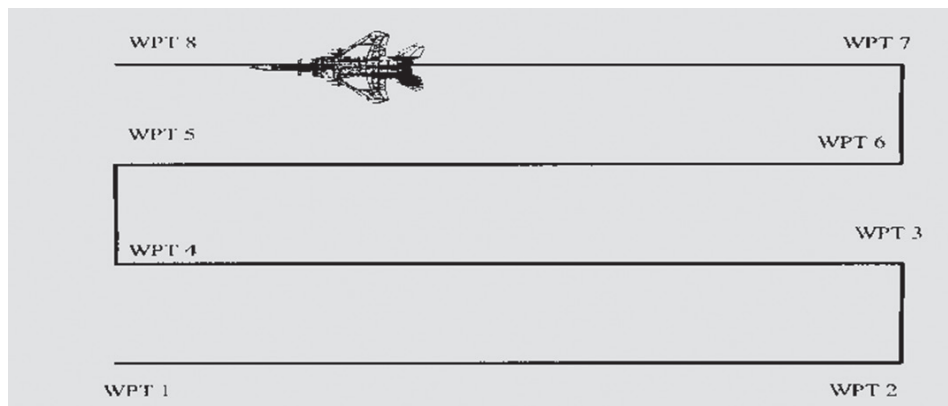
Wskazywanym mankamentem bezzałogowego systemu powietrznego Yuneec H520 jest stosunkowo długi czas nawiązywania połączenia między aparaturą sterującą a BSP.

4. WSTĘPNE I BEZPOŚREDNIE NAWIGACYJNE PRZYGOTOWANIE DRONÓW DO LOTU

Podczas przeprowadzonych przez straż pożarną w kwietniu 2020 r. działań ratowniczo-gaśniczych w Biebrzańskim Parku Narodowym po raz pierwszy, wzorem lotnictwa, zastosowano wstępne i bezpośrednie przygotowanie nawigacyjne do lotów bezzałogowych systemów powietrznych. Zdobyte doświadczenia i wnioski umożliwiły opracowanie odpowiedniej dla BSP koncepcji takiego przygotowania. Okazało się, że jest ono warunkiem bezpiecznego i precyzyjnego wykonania założonych zadań. Również podczas rozpoznawania terenu działań, precyzyjnego określania pojedynczych ognisk pożaru oraz monitorowania rozległości pożaru w oparciu o pokładowe kamery i dozоровanie rezultatów podejmowanych przedsięwzięć zastosowano opcję dronowej misji wielokątnej, określając obszar, w którym dron ma latać. Na tej podstawie implementowano metodę drabinkową. Była ona opracowana i zweryfikowana podczas testów lotniczych w 1998 r. [12] (wtedy żaden z militarnych systemów satelitarnych GPS NAVSTAR, GLONASS nie był jeszcze w pełni operacyjny) w zakresie prowadzenia akcji poszukiwawczo-ratowniczych, niesienia pomocy podczas walki z klęskami żywiołowymi. W oparciu o pokładowe odbiorniki lotnicze możliwe było wykonywanie lotu metodą drabinkową (rys. 1), która była skuteczna i wygodna podczas prowadzenia powyższych działań. Metoda ta została szczególnie sprawdzona podczas akcji poszukiwawczo-ratowniczych, gdy śmigłowce wyposażone w pokładowe odbiorniki satelitarne „Garmin” (rys. 2), w oparciu o dane otrzymywane z naziemnej mobilnej stacji referencyjnej/różnicowej (rys. 3), mogły precyzyjnie dotrzeć do potrzebujących pomocy. Obecnie wystarczy korzystać z europejskiej sieci stacji permanentnych RTK DGP ASG EUPOS.

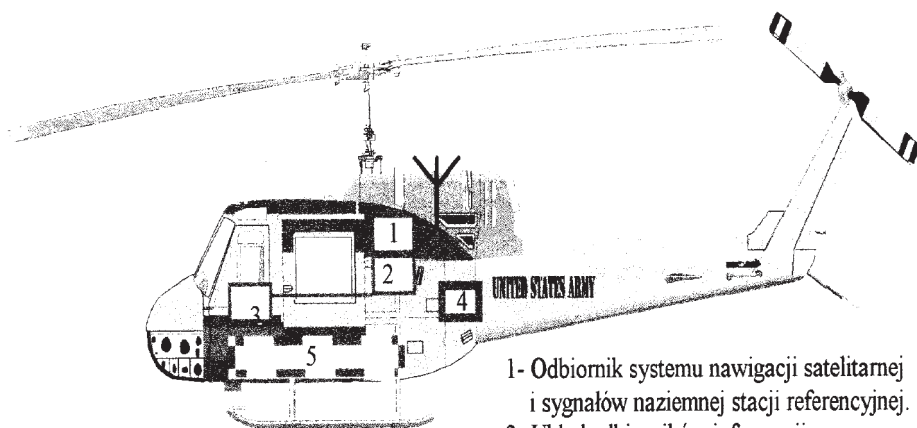
Zdobyte przez autorów doświadczenia, przeprowadzone badania naukowe i testy lotnicze w latach 2005–2019 wskazały, że metodę drabinkową można stosować podczas operacyjnych misji bezzałogowych systemów/platform latających, szczególnie podczas akcji poszukiwawczo-ratowniczych, monitoringu. Również podczas przeprowadzonych w kwietniu 2020 r. działań ratowniczo-gaśniczych w Biebrzańskim Parku Narodowym okazało się konieczne wykonanie wstępnego i bezpośredniego przygotowania nawigacyjnego przez operatorów BSL, uprawnionych do wykonywania lotów operacyjnych bez widzialności (BVLOS). Na tej podstawie autorzy postanowili

przygotować algorytm takiego przygotowania umożliwiającego bezpieczne, precyzyjne i optymalne wykonanie założonych zadań, przedsięwzięć, zarówno podczas akcji poszukiwawczo-ratowniczych, jak i komercyjnych działań operacyjnych.



Rys. 1. Schemat prowadzenia akcji poszukiwawczo-ratowniczej w oparciu o metodę drabinkową

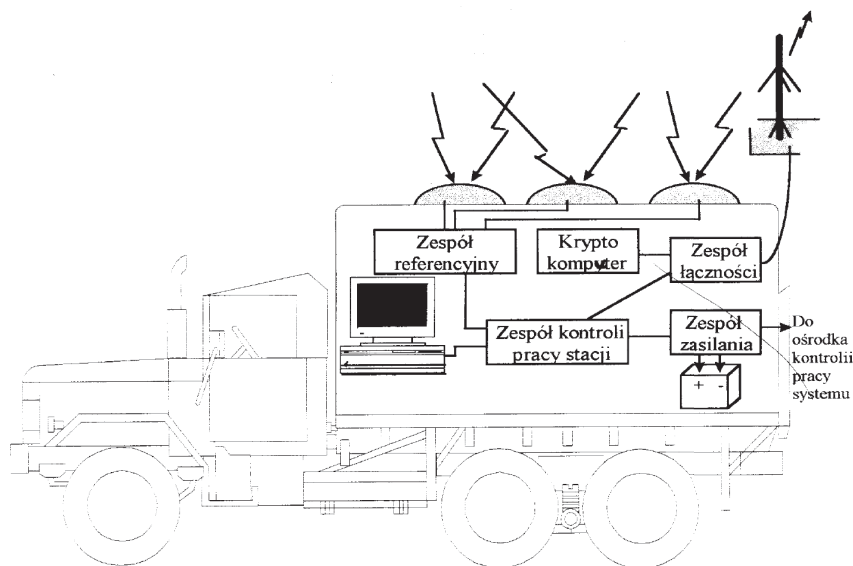
Źródło: opracowanie własne



- 1- Odbiornik systemu nawigacji satelitarnej i sygnałów naziemnej stacji referencyjnej.
- 2- Układ odbiorników informacji.
- 3- Układ wizualizacji.
- 4- Układ zasilania
- 5- Pokładowe układy automatyki i wskaźniki.

Rys. 2. Śmigłowiec uczestniczący w lotach testowych

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Schemat stacji DGPS używanej podczas akcji poszukiwawczo-ratowniczych
 Źródło: opracowanie własne

Nawigacyjne przygotowanie personelu obsługującego bezałogowy system powietrzny (obserwatorzy, operatorzy, piloci) do lotu obejmuje czynności wykonywane w okresie od otrzymania zadania do startu i dzieli się na wstępne i bezpośrednie.

Przygotowanie wstępne i bezpośrednie do lotu to przestrzeganie ustalonych przepisami zasad opracowania mapy oraz sporządzania planu lotu dotyczącego określonej trasy, gdyż ma to decydujący wpływ na pomyślne i bezpieczne wykonanie lotu operacyjnego systemu bezałogowego. Graficzne opracowanie mapy polega na uwzględnieniu:

- przebiegu trasy i jej opisu;
- czasu lotu wpisanego dla każdego odcinka;
- wszystkich stref: niebezpieczne – „D” (danger), ograniczone – „R” (restricted), zakazane – „P” (prohibited); jak wskazano w rozdziale 2, nad terenem działań obowiązywała strefa EPR23;
- oznaczenia przeszkód naturalnych i sztucznych (zaznaczenie wysokości nad terenem oraz nad poziomem morza);
- oznaczenia najwyższego wzniesienia w pasie trasy w postaci prostokątów;

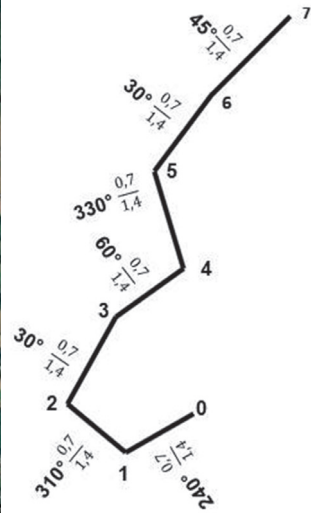
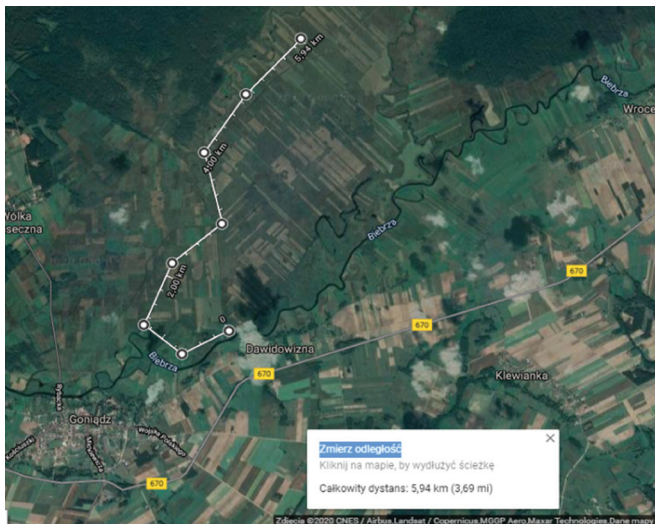
- zaznaczenia wektorem ogólnym kierunku i siły wiatru;
- wartości deklinacji w rejonie lotów.

Wstępne przygotowanie nawigacyjne do lotu obejmuje zapoznanie personelu latającego z misją i wytycznymi nawigacyjnymi związanymi z wykonaniem zadania oraz:

- przygotowanie mapy do lotu, czyli wybór, wykreślenie i opis trasy lotu (przekrój poziomy trasy) – należy uwzględnić: rodzaj zadania i lotu, dogodność prowadzenia orientacji geograficznej, możliwość dogodnego wyjścia nad punkty trasowe, położenie stref zakazanych, niebezpiecznych i ograniczonych, rzeźbę terenu, dogodność lądowania. Należy wyznaczyć nowe POI (ang. Point of Interest) – punkty, do których chcemy się dostać lub skorzystać z bazy danych GPS, oraz podstawowe i pomocnicze punkty trasy:
 - WPT – wyjściowy, charakterystyczny obiekt orientacyjny, w czasie lotów nocnych pomoc świetlna lub pirotechniczna. Punkt ten powinien być osiągalny z dowolnego kierunku startu po najkrótszej drodze i wybierany dla każdego kierunku startu oddzielnie,
 - PZK – zmiany kierunku lotu, charakterystyczny obiekt orientacyjny, a w lotach nad morzem lub nad terenem bez obiektów orientacyjnych jako PZK należy wybierać taki obiekt, który umożliwiałby dolot do tego punktu z kierunku najdogodniejszego do wykonania zadania,
 - KPT – końcowy,
 - KO – kontrolne obiekty, pomocnicze punkty trasy lub zmiany nawigacyjnych parametrów lotu, korekcji wskazań przyrządów);
- wybór profilu (przekrój pionowy trasy) i innych nawigacyjnych parametrów lotu – istotna jest wysokość lotu bezzałogowego systemu na poszczególnych odcinkach. Zależy ona od rodzaju zadania, możliwości i wyposażenia bezzałogowego systemu latającego, długości trasy lotu i wymagań dotyczących ekonomicznego wykonania lotu, a także rzeźby terenu, względów ekologicznych i ekonomicznych, dogodności prowadzenia orientacji geograficznej, dogodnego wyjścia nad wyznaczone punkty, położenia stref zakazanych, niebezpiecznych, ograniczonych;
- wykonanie niezbędnych wstępnych obliczeń – przeprowadza się po wykreśleniu trasy lotu i nie uwzględnia się wpływu wiatru. W ramach

tych obliczeń określa się: długość odcinków trasy lotu i czasy ich przeletu, nakazane magnetyczne kąty drogi dla poszczególnych odcinków trasy (rys. 4, 5), ogólną długość trasy, czas dolotu do WPT i lotu od KPT, lądowania, ogólny czas trwania lotu, czas startu zapewniający wyjście na określony punkt trasy lub lądowanie/wymianę baterii w nakazanym czasie, rzeczywistą minimalną (bezpieczną) wysokość lotu, zużycie baterii/paliwa w jednostkach czasu. Dane wstępnego obliczenia lotu zapisuje się po lewej stronie, w odpowiednich rubrykach nawigacyjnego dziennika pokładowego (rys. 6). Z powodu deficytu czasu stosuje się pamięciowe nawigacyjne przeliczenia jednostek, np.:

- km/godz na węzły: $\text{km/godz} / 2 + 10\%$, np. $20 \text{ km/godz} = 11 \text{ węzłów}$ (knotów);
- węzły na km/godz: $\text{węzły (knoty)} \times 2 - 10\%$, np. $20 \text{ węzłów} = 36 \text{ km/godz}$;
- węzły na m/sek: $\text{węzły} / 2$, np. $15 \text{ węzłów} = 7,5 \text{ m/sek}$;
- metry/sek na węzły: $\text{m/sek} \times 2$, np. $5 \text{ m/sek.} = 10 \text{ węzłów}$;
- metry/sek na km/godz: $\text{m/sek} \times 4 - 10\%$, np. $5 \text{ m/sek} = 18 \text{ km/godz.}$;
- km/godz. na m/sek: $\text{km/godz} / 4 + 10\%$, np. $18 \text{ km/godz} \approx 5 \text{ m/sek.}$



Zdjęcie. 8. Front pożaru z wyznaczoną trasą na mapie (po lewej) oraz przygotowana podczas wstępnego przygotowania nawigacyjnego trasa z naniesionymi kątami drogi, odległościami do punktów i czasami lotu (po prawej)

Źródło: opracowanie własne

cd. Tabeli 3.

NOTATKI POMOCNICZE	
Długość lotu – 11,8 min	
Ilość paliwa/liczba baterii –	
Bezpieczna wysokość lotu – 80 m	
Deklinacja +7° 4'	
Świt –	Zmrok –
Zapasowe miejsca lądowania bezałogowego systemu latającego:	

Źródło: opracowanie własne

Bezpośrednie przygotowanie nawigacyjne wykonywane jest przed rozpoczęciem lotu bezałogowego systemu i głównie polega na uzupełnieniu prawej strony dziennika pokładowego (rys. 6), a szczególnie pól dotyczących prędkości i kierunku wiatru oraz określenie jego wpływ na wykonanie misji. To przygotowanie obejmuje:

- analizę sytuacji meteorologicznej;
- zapoznanie się z informacjami organu służby ruchu lotniczego dotyczącymi sytuacji nawigacyjnej;
- bezpośrednie obliczenia do lotu wykonywane są na podstawie uaktualnionych warunków lotu w oparciu o certyfikowane dane meteorologiczne (wiatr, temperatura, ciśnienie). Polegają one na wyznaczeniu: kątów znoszenia poprawionych o parametry wiatru kursów magnetycznych i prędkości podróżnych oraz czasów lotu dla poszczególnych odcinków trasy lotu, ogólnej długości lotu, przyrządowej minimalnej (bezpiecznej) wysokości lotu. Wyniki bezpośredniego obliczenia lotu zapisuje się w dzienniku pokładowym, a w przypadku braku danych o parametrach wiatru (brak) zakłada się dane wstępnego obliczenia lotu;
- sprawdzenie wyposażenia nawigacyjnego statku powietrznego.

Podczas operacyjnego stosowania bezałogowych systemów latających istotne są certyfikowane dane meteorologiczne zawarte na stronie IMGW [19], a szczególnie:

GAMET – prognoza składająca się z dwóch zasadniczych części:

SECN I – zawiera grupy niebezpiecznych zjawisk pogody mające istotny wpływ na przelot, szczególnie dla małego lotnictwa i dronów. Jeśli grupy nie

ma, to oznacza, że zjawisko nie jest prognozowane, jednak zawsze należy sprawdzić, czy nie zostały wydane informacje AIRMET i/lub SIGMET,

SECN II – w tej części znajdują się dodatkowe informacje o prognozowanej pogodzie w danym rejonie;

AIRMET – informacja podaje zwięzły opis tekstowy z użyciem obowiązujących skrótów, zaobserwowane lub przewidywane wystąpienia istotnych zjawisk meteorologicznych na trasie lotu, które nie były włączone w Sekcję I prognozy obszarowej GAMET dla lotów na małych wysokościach;

SIGMET – to informacje wydawane przez Meteorologiczne Biuro Nadzoru, podawane tekstem z użyciem obowiązujących skrótów zwięzłe opisy występujących lub prognozowanych istotnych zjawisk meteorologicznych na trasie lotu. Mogą one wpływać na bezpieczeństwo też bezzałogowych systemów latających, podając przewidywany obraz rozwoju tych zjawisk w czasie i w przestrzeni;

Prognoza obszarowa istotnych zjawisk pogody w formie graficznej – obejmująca swym zasięgiem przestrzeń powietrzną w Polsce (FIR EPWW – FIR Warszawa). W przekroju pionowym prognoza zawiera się od powierzchni ziemi do FL100, w obszarach górskich do FL150 (SFC-700 hPa). Prognoza opracowywana jest przez synoptyków w Centralnym Biurze Prognoz Lotniczych – Meteorologicznym Biurze Nadzoru w Warszawie;

Turbulencja – mapa prezentuje prognozę intensywności turbulencji (potencjału turbulencyjnego – PT) w dwóch warstwach: od gruntu do 3 km, powyżej 3 km do wysokości 15 km. W obliczeniach modelu został ujęty stosunek prognozowanej energii wiatrowej do energii, z jaką oddziaływałby wiatr o prędkości 30 m/s (w warstwie od powierzchni do 3 km) lub 40 m/s (w warstwie powyżej 3 km) na poziomie morza na średniej wielkości statek powietrzny. W obliczeniach uwzględnia się trzy wielkości fizyczne: siłę wiatru, gradient (pionowy i poziomy) wiatru oraz stabilność atmosfery. U dołu mapy wartości intensywności turbulencji są przedstawione za pomocą skali barw oraz umownych określeń (np. słaba, umiarkowana itp.) Intensywność turbulencji wyrażona jest w skali od 0 – brak do 1 – groźna. Wielkość tę można jednocześnie interpretować jako prawdopodobieństwo wystąpienia turbulencji;

Mapa oblodzenia – prezentuje prognozę intensywności oblodzenia (PO) w wybranych warstwach atmosfery. W obliczeniach modelu uwzględnione zostały następujące parametry: temperatura, wilgotność, wielkość zachmu-

rzenia, opady, temperatura wierzchołków chmur, a także możliwość wystąpienia głębokiej konwekcji. Na mapie zbiorczej prezentowane są maksymalne wartości intensywności oblodzenia w warstwie od 0 do 10 km (rzut z góry) oraz przekrój dolnej warstwy (rzut WW→E). Pojedyncze punkty oznaczone kolorem czerwonym prezentują wysokości (w setkach metrów), w których intensywność oblodzenia jest największa. Prognozowana intensywność oblodzenia podawana w % oznacza prawdopodobieństwo jego wystąpienia;

Mapy burzowe – co godzinę zobrazowane są następujące elementy: prawdopodobieństwo wystąpienia burz (czyli potencjał burzowy Pb) w skali <0–1>, siła konwekcji w skali <0–7>, możliwe strefy zagrożenia, zaobserwowane burze. Również są zawarte animacje prognozujące możliwość i przemieszczanie się burz.

Jak wynika z powyższego, operacyjne zastosowanie bezzałogowych systemów powietrznych wymaga również implementowania norm i przepisów oraz dostosowania ich do dronów. W związku z tym należy:

- stosować zmodyfikowane wstępne i bezpośrednie nawigacyjne przygotowanie do lotów;
- zapoznawać się z certyfikowanymi danymi meteorologicznymi podawanymi przez IMGW – certyfikowanego dostawcy meteorologicznych danych lotniczych;
- kreśląc trasę lotu, należy uwzględnić prędkość i kierunek wiatru, możliwe jest wniesienie poprawki do wyznaczonych wcześniej kursów i precyzyjne osiągnięcie założonych celów (uwzględnienie kąta znoszenia);
- uwzględnić deklinację magnetyczną (dodać), wiedząc, że z mapy uzyskuje się wartości kursów geograficznych (siatka kartograficzna mapy). Dla przykładu podkreślić należy, że w przypadku wykonywania lotów monitorujących w ramach działań gaśniczych w Biebrzańskim Parku Narodowym konieczne było odejmowanie od wyznaczonych z mapy kursów dla poszczególnych odcinków po $7^{\circ}4'$ ($KM = KG - \Delta M$ (VAR));
- koniecznie obliczyć podczas działań operacyjnych dronów bezpieczną wysokość lotu wg uproszczonego wzoru :

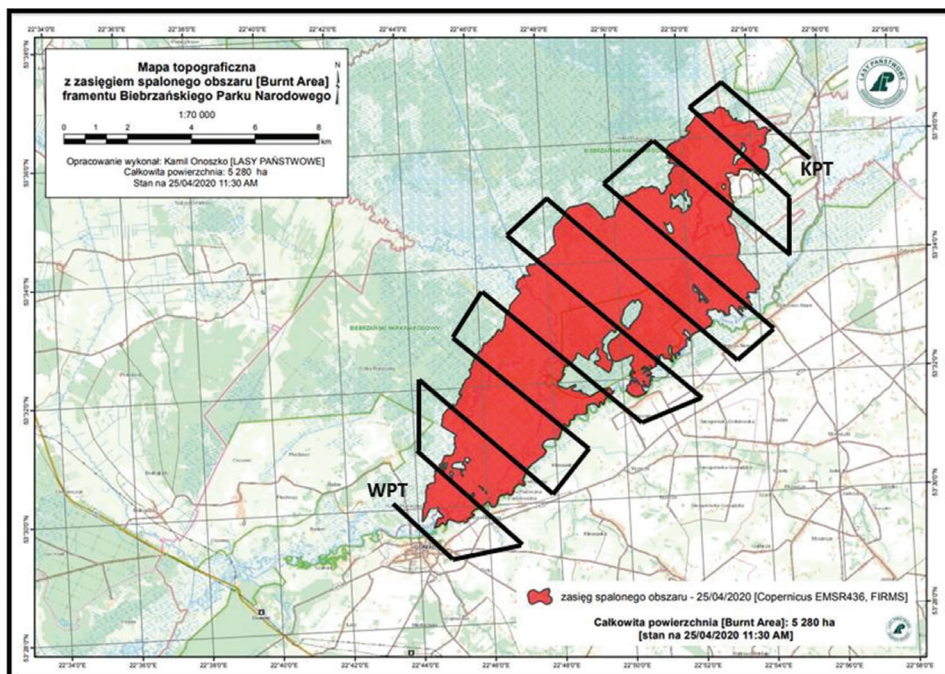
$$H_{\text{abezp.}} = \Delta H_{\text{ter}} + \Delta H_{\text{prz}} + \Delta H_{\text{bar}}$$

ΔH_{ter} – różnica poziomów: startu i lądowania a najwyższym punktem terenu w odpowiednio szerokim pasie trasy,

ΔH_{prz} – przewyższenie wierzchołka przeszkody terenowej nad najwyższym punktem terenu (w pasie trasy),

ΔH_{bar} – poprawka na zmianę ciśnienia na trasie;

- podczas prowadzenia akcji monitorujących, poszukiwawczo-ratowniczych, ratowniczo-gaśniczych, kontrolno-pomiarowych stosować metodę drabinkową. Jej przydatność została zweryfikowana podczas monitorowania pogorzeliska (rys. 6).



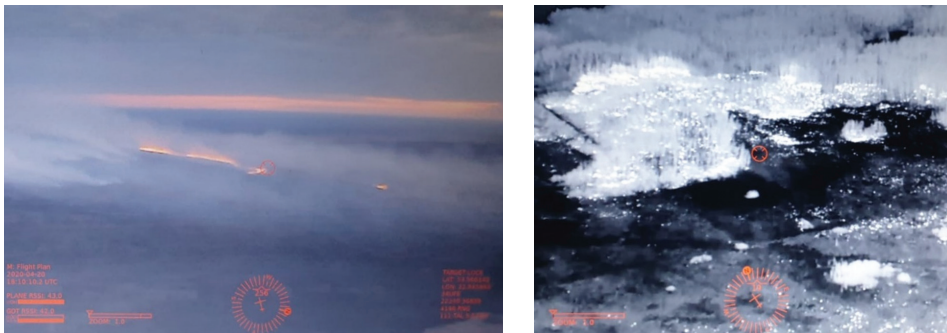
Zdjęcie 10. Metoda drabinkowa podczas monitorowania pogorzeliska w Biebrzańskim Parku Narodowym

Źródło: opracowanie własne

Ze względu na ograniczony czas lotu (wskazany w tabelach w rozdziale 3) BSP nie dokonały pojedynczego lotu na całej trasie. Odcinek został podzielony na kilka mniejszych. Po wykonaniu oblotu operator udawał się w kolejne miejsce, aby wykonać następny oblot.

Zasadne okazało się użycie samolotów bezzałogowych cechujących się wydłużonym czasem lotu. Zadysponowany samolot FlyEye firmy Flytronic

należący do Wojsk Obrony Terytorialnej przekazywał dane bezpośrednio do oficera PSP kierującego działaniami ratowniczymi.



Zdjęcie 11. Obrazy z bezzałogowca FlyEye 1 Podlaskiej Brygady Obrony Terytorialnej
Źródło: <https://media.terytorialsi.wp.mil.pl/informacje/500815/zolnierze-wot-pomagaja-gasic-pozary-w-biebrzanskim-parku-narodowym-film-z-drona>, dostęp: 26.11.2020 r.

5. WNIOSKI

Potwierdzono użyteczność użycia BSP w działaniach operacyjnych straży pożarnej podczas pożaru wielkoobszarowego łąk, trzcinowisk i terenów leśnych. Warto podkreślić, że użytkowanie zróżnicowanej floty, tj. składającej się z modeli różnych producentów, wiąże się z koniecznością stosowania różnych systemów do integracji i przesyłania w czasie rzeczywistym obrazu z BSP bezpośrednio do centrum dowodzenia, sztabu. W praktyce może to spowolnić podejmowanie decyzji, opóźnić działania, a nawet przyczynić się do przeoczenia istotnych operacyjnie informacji o sytuacji. Nie do przecenienia jest rola koordynacji lotów załogowych i bezzałogowych w celu zachowania najwyższego poziomu bezpieczeństwa. Nie można pominąć aspektu zabezpieczenia obszaru działań operacyjnych, np. przez Policję, przed nieuprawnionymi lotami osób postronnych. Jak pokazuje historia z USA, istnieje bowiem ryzyko, że amatorzy – chcąc wykonać atrakcyjne zdjęcia – naruszają obowiązujące zakazy lotów i strefy, a także stworzą zagrożenie dla znajdujących się w powietrzu BSP straży pożarnej [8].

Przedmiotem automatyzacji i wsparcia ze strony aplikacji i systemów informatycznych powinny być wszelkie czynności związane zarówno ze wstępnym, jak i bezpośrednim przygotowaniem nawigacyjnym, a także analizą

ryzyka. Pożądaną jest sytuacja, w której jeszcze przed dotarciem na miejsce działań, aparatura sterująca pobiera potrzebne dane operacyjne (powinny być stosowane międzynarodowe mapy UTM stosowane podczas SAR, profil lotu, wysokość terenu, mapy przeszkód, dane meteorologiczne, dane dot. deklinacji magnetycznej). Zważywszy na fakt, że każda minuta jest cenna, nawiązywanie połączenia BSP–aparatura–kamera powinno następować błyskawicznie, a kalibracja dokonywać się automatycznie.

Wśród kolejnych konkluzji warto wymienić następujące:

- bezzałogowe systemy powietrzne użytkowane w działaniach operacyjnych powinny posiadać odpowiednie własności i właściwości, np. odpowiednio długi czas pracy, niezawodność, powtarzalność, solidność budowy, odporność na wilgoć i wiatr, ujemne i wysokie temperatury i inne,
- czas lotu BSP typu wielowirnikowiec jest niewystarczający wobec konieczności nieprzerwanych oblotów obszarów o dużej powierzchni podczas prowadzenia działań przez straż pożarną, a także prowadzenia ciągłego monitoringu wyznaczonych obszarów, odcinków,
- wskaźniki naładowania/rozładowania baterii powinny uwzględniać: warunki atmosferyczne (siła i kierunek wiatru), prędkość lotu, czas potrzebny na powrót do miejsca startu, tak aby operator po skierowaniu wzorku na taki wskaźnik od razu otrzymał wiarygodną informację, czy w danych warunkach BSP jest w stanie dokończyć misję i powrócić do miejsca startu,
- uwzględniając powyższe, zasadne jest testowanie i zweryfikowanie technologii wielowirnikowych BSP, aby umieszczać je na uwięzi, umożliwiając ciągły, punktowy monitoring,
- istnieje zapotrzebowanie na narzędzia wspomagające podejmowanie decyzji na miejscu zdarzenia, oparte na transmisji, agregacji i integracji obrazów przesyłanych z BSP w czasie rzeczywistym,
- zasadne jest wykorzystanie przez BSP precyzyjnego pozycjonowania w oparciu o systemy typu EGNOS, Galileo lub GBAS, Systemów Informacji Geograficznej, map numerycznych, systemów antykolizyjnych, telemetrii i innych.

REFERENCES/BIBLIOGRAFIA:

1. AIP Polska, rozdz. ENR 5.1.2–3, Polska Agencja Żeglugi Powietrznej, Warszawa 2020, s. 216.

2. Alexandrov D., Pertseva E., Berman I., Pantiukhin I., Kapitonov A., *Analysis of machine learning methods for wildfire security monitoring with an unmanned aerial vehicles*, 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT), „IEEE” 2019.
3. Asghar S., Alahakoon D., Churilov L., *A comprehensive conceptual model for disaster management*, „Journal of Humanitarian Assistance” 2006, 1360(0222), s. 1–15.
4. ASSISTANCE project website online: <https://assistance-project.eu> (dostęp: 25.11.2020)
5. Bailon-Ruiz R., Lacroix S., *Wildfire remote sensing with UAVs: A review from the autonomy point of view*, International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS 2020).
6. Balcerzak T., Kostur K., Żmigrodzka M., *Unmanned Aerial Vehicles in Fire Protection* [Bezzałogowe statki powietrzne w ochronie przeciwpożarowej] „Revista europea de derecho de la navegación marítima y aeronáutica” 2019, nr 36, s. 39–62.
7. Chomonic M., Feltynowski M., Smolarczyk L., *Działania ratownicze komponentu medycznego Polskiej Ciężkiej Grupy Poszukiwawczo-Ratowniczej (HUSAR Poland) podczas akcji po trzęsieniu ziemi w Nepalu w roku 2015*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” 2015, Vol. 51, Issue 3, s. 107.
8. Djudjic D., *Drone operator arrested in Arizona for interfering with firefighters*, „Diyphotography” 2017, online: <https://www.diyphotography.net/man-gets-arrested-flying-drone-wildfire-hampering-firefighters> (dostęp: 25.11.2020).
9. DRIVER+ project website online: <https://www.driver-project.eu> (dostęp: 25.11.2020).
10. Ejaz W., Azam M.A., Saadat S., Iqbal F., Hanan A., *Unmanned aerial vehicles enabled IoT platform for disaster management*, „Energies” 2019, 12(14) 2706, doi:10.3390/en12142706.
11. FASTER project website online: <https://www.faster-project.eu> (dostęp: 25.11.2020).
12. Fellner A., *Analiza systemów nawigacyjnych i koncepcja stacji permanentnych RTK DGPS dla potrzeb lotnictwa*, WSOSP, Dęblin 1999.
13. FIRE-IN project website online: <https://fire-in.eu/pl> (dostęp: 25.11.2020).
14. <http://awiacja.imgw.pl/index.php?product=airmet-opis> (dostęp: 27.11.2020).

15. <https://media.terytorialsi.wp.mil.pl/informacje/500815/zolnierze-wo-t-pomagaja-gasic-pozary-w-biebrzanskim-parku-narodowym-film-z-drona>, (dostęp: 26.11.2020).
16. INGENIOUS project website online: <https://ingenious-first-responders.eu> (dostęp: 25.11.2020).
17. INSARAG Guidelines, Volume II: Preparedness and Response, Manual B: Operations, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA), 2020, s. 6.
18. Nawaz H., Ali H.M., Laghari A., *UAV Communication Networks Issues: A Review*, „Archives of Computational Methods in Engineering” 2020, doi.org/10.1007/s11831-020-09418-0.
19. <http://awiacja.imgw.pl/index.php?product=airmet-opis> (dostęp: 27.11.2020).
20. Podręcznik użytkownika aplikacji dFPL, SUM-SUTM-dFPL-1.1.-25022020, PAŻP, 2020, s. 3.
21. ResponDrone project website online: <https://respondroneproject.com/about-us/overview> (dostęp: 25.11.2020).

ANDRZEJ FELLNER – konsultant ds. technologii satelitarnych, nawigator klasy mistrzowskiej, na chrzcie morskim otrzymał imię „AEROMARINUS”. W latach 2002–2005 szef oddziału Zarządzania Przestrzenią Powietrzną SZ RP oraz reprezentant Polski w komisjach C3 Board Navigation Sub Committee i CNS/ATM NATMC (Główna Kwatera NATO, Bruksela). Po przejściu na emeryturę lotniczą pracował na etacie profesora w wyższych uczelniach: PWSZ w Chełmie, PWSZ w Krośnie, a od 2008 r. na etacie profesora na Politechnice Śląskiej (Wydział Transportu). Równocześnie w latach 2008–2014 lider międzynarodowych projektów w Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej: HEDGE (Helicopters Deploy GNSS in Europe), EGNOS Introduction to the European Eastern Region, SHERPA (Support ad-Hoc to Eastern Region Pre-operational in GNSS), które umożliwiły wprowadzenie 23 procedur satelitarnego podejścia do lądowania na polskich lotniskach. Autor pierwszej w Polsce habilitacji z nawigacji powietrznej, proponującej podejścia RTK DGPS dla potrzeb lotnictwa (Politechnika Warszawska, 2002). Autor i współautor ponad 370 prac naukowych opublikowanych w kraju i za granicą. Wykładowca przedmiotów lotniczych w ośrodkach szkolenia lotniczego. Prowadzi prace i badania naukowe nad kluczowymi problemami lotnictwa w zakresie: eksploatacji i obsługi statków powietrznych, infrastruktury lotnisk, systemów wspierających procesy zarządzania, zastosowania technik i technologii satelitarnych w systemach bezzałogowych oraz ich eksploatacji.

ANDRZEJ FELLNER – consultant on satellite technologies, masterclass navigator, named “AEROMARINUS” during naval baptism. In the years 2002–2005, the head of the Airspace Management Department of the Polish Armed Forces, representing Poland in the C3 Board Navigation Sub Committee and CNS/ATM NATMC (NATO Headquarter, Brussels). After retirement, he worked as a full-time professor at the State Higher Vocational Schools in Chełm and Krosno. Since 2008, a full-time professor at the Silesian University of Technology. In the years 2008–2014, leader of international research projects in Polish Air Navigation Services Agency: HEDGE (Helicopters Deploy GNSS in Europe), EGNOS Introduction to the European Eastern Region, SHERPA (Support ad-Hoc to Eastern Region Pre-operational in GNSS), which facilitated the introduction of 23 landing procedures with satellite navigation at Polish airports. Author of the first in Poland habilitation on air navigation promoting RTK DGPS approaches for the needs of aviation (Warsaw University of Technology, 2002). Author and co-author of over 370 scientific papers published in Poland and abroad. Lecturer of aviation subjects in aviation training centers. He conducts work and scientific research on key problems of aviation in the fields of operation and maintenance of aircrafts, airport infrastructure, systems supporting management processes, implementation and exploitation of satellite techniques and technologies in unmanned systems.

MARIUSZ FELTYNOWSKI – nadbrygadier dr inż., absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej (inż. 1999), Wyższej Szkoły Ubezpieczeń i Bankowości (mgr 2001), doktorat na Akademii Obrony Narodowej w specjalizacji zarządzanie instytucjami publicznymi (2016). Nauczyciel akademicki i profesor SGSP, członek komitetu redakcyjnego „Safety & Fire Technology”, przewodniczący Rady Naukowej CNBOP-PIB. Na Uniwersytecie Warszawskim realizował zajęcia pt. „Ryzyko katastrof i klęsk żywiołowych”. Kierownik, główny wykonawca lub uczestnik kilku krajowych oraz zagranicznych projektów naukowo-badawczych (EASER, Assistance, Fire IN, ENOTICE, Driver plus, OZAB).

Posiada niemal dwudziestoletnie doświadczenie operacyjne w krajowych i międzynarodowych przedsięwzięciach o dużej skali organizowanych w ramach cywilnej części NATO (EADRCC), ONZ (INSARAG, UNDAC), UE (Unijny Mechanizm Ochrony Ludności) lub w PSP. Jest absolwentem programu stypendialnego dla młodych kadr kierowniczych fundacji Roberta Boscha, uznanym krajowym i międzynarodowym menadżerem ds. zarządzania w sytuacji katastrof i koordynacji działań, promotorem prac dyplomowych w SGSP oraz SAN.

Będąc zwolennikiem wykorzystania nowoczesnych technologii w ratownictwie, doprowadził w CNBOP-PIB do stworzenia Centrum Dronów, którego był pierw-

szym kierownikiem. Od stycznia 2021 r. realizuje zadania Rektora-Komendanta SGSP.

MARIUSZ FELTYNOWSKI – Chief Brigadier, PhD Eng., Graduate of the Main School of Fire Service (Engineer's degree, 1999), University of Insurance and Banking (Master's degree in 2001), doctorate at the National Defence Academy in the field of public institution management (2016). Academic teacher and professor at SGSP, member of the "Safety & Fire Technology" editorial committee, President of the CNBOP-PIB Scientific Council. Tutor conducting classes on "Risk of catastrophes and natural disasters" at the University of Warsaw. Manager, main contractor or participant in several domestic and foreign scientific and research projects (EASER, Assistance, Fire IN, ENOTICE, Driver plus, OZAB).

He has almost twenty years of operational experience in domestic and international large-scale projects organized as part of the civilian structures of NATO (EADRCC), the UN (INSARAG, UNDAC), the EU (UCPM) or the PSP. He is a graduate of the scholarship program for young executives of the Robert Bosch Foundation, a recognized national and international disaster management and coordination manager, thesis promoter at SGSP and SAN.

As a supporter of the use of modern technologies in rescue operations, he led to creation of the Drone Center at CNBOP-PIB, holding the position of its first manager. Since January 2021, he has been serving as the Rector-Commandant of SGSP.

RADOSŁAW FELLNER – w latach 2018–2021 starszy specjalista inżynierjno-techniczny w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowym Instytucie Badawczym. Instruktor i operator bezzałogowych statków powietrznych, uczestnik ćwiczeń i projektów badawczych z wykorzystaniem dronów dla: Państwowej Straży Pożarnej, Policji, Straży Granicznej, portów lotniczych. Współorganizator DroneTech World Meeting w Toruniu – największego w Polsce cyklicznego wydarzenia poświęconego technologiom i systemom bezzałogowym. Wykonawca w międzynarodowych projektach naukowo-badawczych: ASSISTANCE (Adapted situation awareneSS tools and tailored training curricula for increaSing capabiliTies and enhANcing the proteCtion of first respondErs), eNotice (European Network of CBRN Training Centres). Zastępca kierownika pracy badawczej pn. „Określenie metodyk badawczych bezzałogowych platform latających mogących mieć zastosowanie w działaniach PSP”, a także wykonawca w krajowym projekcie „Sterowanie autonomicznym dronem za pomocą goggles (Monookularu)”. Zastępca przewodniczącego Zespołu Zadaniowego Komendanta Głównego PSP do wypracowania dokumentacji niezbędnej do uzyskania

Certyfikatu Operatora Lekkich Systemów Bezzałogowych Statków Powietrznych dla Państwowej Straży Pożarnej oraz opracowania zasad użytkowania Bezzałogowych Statków Powietrznych w PSP.

RADOSŁAW FELLNER – In the years 2018–2021, a senior engineering and technical specialist at the Scientific and Research Center for Fire Protection – National Research Institute – named after Józef Tuliszkowski. Instructor and operator of unmanned aerial vehicles, participant in exercises and research projects utilizing drones for: the State Fire Service, Police, Border Guard, airports. Co-organizer of the DroneTech World Meeting in Toruń – the largest Polish cyclical event devoted to unmanned technologies and systems. Contractor in the following international research projects: ASSISTANCE (Adapted situation awareneSS tools and tailored training curricula for increaSing capabiliTies and enhANCing the proteCtion of first respondErs), eNotice (European Network of CBRN Training Centers). Deputy head of the research study “Definition of research methodologies for unmanned aerial vehicles that can be used in PSP activities”; contractor in the national project “Controlling an autonomous drone using goggles (Monocular)”. Deputy Chairman of the Task Force of the Chief Commandant of the State Fire Service for the development of documentation necessary to obtain the Light Unmanned Aerial Systems Operator Certificate for the State Fire Service and the rules for the use of unmanned aerial vehicles in the State Fire Service.