

**NAVIGATION PREPARATION OF UAV TO THE OPERATIONAL
ACTIVITIES OF FIRE SERVICES
PRZYGOTOWANIE NAWIGACYJNE BSP DO OPERACYJNYCH
DZIAŁAŃ STRAŻY POŻARNEJ**

Andrzej FELLNER
Mariusz FELTYNOWSKI
Radosław FELLNER

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.

KEY WORDS: unmanned aircraft system, navigational preparation, fire services, firefighting, unmanned aerial vehicles

STRESZCZENIE: Warunkiem bezpiecznego i precyzyjnego wykonania zadania przez bezzałogowy system 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 Przeciwożarowej i 380 strażaków, 2 śmigłowców, 6 samolotów, dodatkowo działania operacyjne wspierały cztery bezzałogowe systemy latające. Zdobyte doświadczenia i wnioski umożliwiły opracowanie koncepcji przygotowania nawigacyjnego dla bezzałogowych systemów latających.

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

1. Wprowadzenie

Tematyka użycia BSP w działaniach gaśniczych podczas wielkoobszarowych pożarów lasów jest opisywana w literaturze naukowej. Przykładowo, w serwisie Web of Science dla okresu 1990-2018 odnotowano 308 publikacji związanych z BSP i pożarami lasów¹. Głównie są to analizy i badania dotyczące zdalnego wykrywania pożarów, monitorowania, tworzenia map, architektury i integracji technologii. Zauważalne jest coraz częstsze zainteresowanie badaczy tematyką wykorzystania uczenia maszynowego do wykrywania i przewidywania rozprzestrzeniania się pożarów przy użyciu bezzałogowych statków powietrznych². Równolegle prowadzone są analizy dotyczące tworzenia ad-hoc za pomocą dronów lokalnych sieci przesyłania

¹ 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), s. 9.

² Alexandrov, D., Pertseva, E., Berman, I., Pantiukhin, I., Kapitonov, Analysis of machine learning methods for wildfire security monitoring with an unmanned aerial vehicles, 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). „IEEE”, 2019, s. 3-9.

danych³, czy dronów jako elementu Internetu Rzeczy (Internet of Things - IoT)⁴. W kontekście operacyjnym dopiero testowane są takie koncepcje i rozwiązania, jak przenoszenie wody i gaszenie z BSP⁵.

Rzadko w literaturze przedmiotu podejmowana jest 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 bezzałogowymi systemami powietrznymi na potrzeby działań straży pożarnej, czy szeroko rozumianych służb pierwszego reagowania (First Responders - FR) są przedmiotem projektów naukowo-badawczych i rozwojowych takich jak: ASSISTANCE⁶, FIRE-IN⁷, ResponDrone⁸, INGENIOUS⁹, DRIVER+¹⁰, FASTER¹¹. Jednakże w wyżej wymienionych projektach brakuje celu, jakim byłoby opracowanie (na podstawie testów, demonstracji, warsztatów) zaleceń, rekomendacji czy standardów dla operacyjnych lotów BSP. Przy czym poprzez sformułowanie „operacyjne” należy rozumieć: wykonywane przez profesjonalne służby państwowe lub zawodowe, możliwe do wykonania 24 godziny na dobę.

Niniejszy artykuł na celu opisanie przygotowania nawigacyjnego i użycia BSP podczas pożaru wielkoobszarowego łąk, terenów leśnych, trzcinowisk i torfowisk w Polsce, w Biebrzańskim Parku Narodowym w kwietniu 2020 r. 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.

Podejmowane w pracy zagadnienie jest mocno osadzone w kontekście teorii zarządzania kryzysowego, ale odnosi się do ściśle określonego obszaru badawczego. Zarządzanie kryzysowe obejmuje 4 fazy 12 : zapobiegania, przygotowania, reagowania i odbudowy. Międzynarodowy standard cyklu reagowania grup poszukiwawczo- ratowniczych USAR (ang. Urban Search and Rescue) wyróżnia natomiast 6 faz¹³: gotowość, mobilizacja, tranzyt, działania

³ 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, s. 1-21.

⁴ Ejaz, W., Azam, M. A., Saadat, S., Iqbal, F., Hanan, A., Unmanned aerial vehicles enabled IoT platform for disaster management. „Energies”, 12(14) 2706, 2019, doi:10.3390/en12142706, s. 2-18.

⁵ 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”, n. 36 (2019), s. 39-62.

⁶ ASSISTANCE project website online: <https://assistance-project.eu>, dostęp: 25.11.2020.

⁷ FIRE-IN project website online: <https://fire-in.eu/pl>, dostęp: 25.11.2020.

⁸ ResponDrone project website online: <https://respondroneproject.com/about-us/overview>, dostęp: 25.11.2020.

⁹ INGENIOUS project website online: <https://ingenious-first-responders.eu>, dostęp: 25.11.2020.

¹⁰ DRIVER+ project website online: <https://www.driver-project.eu>, dostęp: 25.11.2020.

¹¹ FASTER project website online: <https://www.faster-project.eu>, dostęp: 25.11.2020.

¹² Asghar, S., Alahakoon, D., Churilov, L., A comprehensive conceptual model for disaster management. „Journal of Humanitarian Assistance”, 1360(0222), 2006, s. 1-15. Przewodnik po Krajowym Planie Zarządzania Kryzysowego, Rządowego Centrum Bezpieczeństwa, Warszawa 2018, s. 6.

¹³ INSARAG Guidelines, Volume II: Preparedness and Response, Manual B: Operations, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA), 2020, s. 6.

(operacyjne), demobilizacja, odtworzenie gotowości po-misji¹⁴. W niniejszym artykule ograniczono się do fazy reagowania czyli realizacji działań operacyjnych.

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 podczas pożaru w Biebrzańskim Parku Narodowym

Wg informacji przekazywanych przez rzecznika KG PSP, w dniu 19.04.2020 r. od godz. 16:01 do 20.57 odnotowano 5 kaskadowych zgłoszeń pożarów na terenie Biebrzańskiego Parku Narodowego (zdjęcie 1). Działania gaśnicze w nomenklaturze strażackiej realizowane siłami i środkami powiatu zakończono 20.04. o godz. 7:21. W tych działaniach uczestniczyły 24 zastępy Jednostek Ochrony Przeciwpożarowej (tzw. JOP) oraz 129 strażaków Państwowej Straży Pożarnej/Ochotniczej Straży Pożarnej łącznie. Niestety okazało się, że 20.04 już o godz. 7:42 do stanowiska kierowania straży 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 pogorzeliska o godz. 8.55 w dniu 21.04 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 bezzałogowe systemy latające PSP i jeden WOT. Po zakończeniu głównych działań gaśniczych od godzin nocnych zabezpieczano pogorzeliska, a powierzchnię pożaru określono na 3 000 ha.

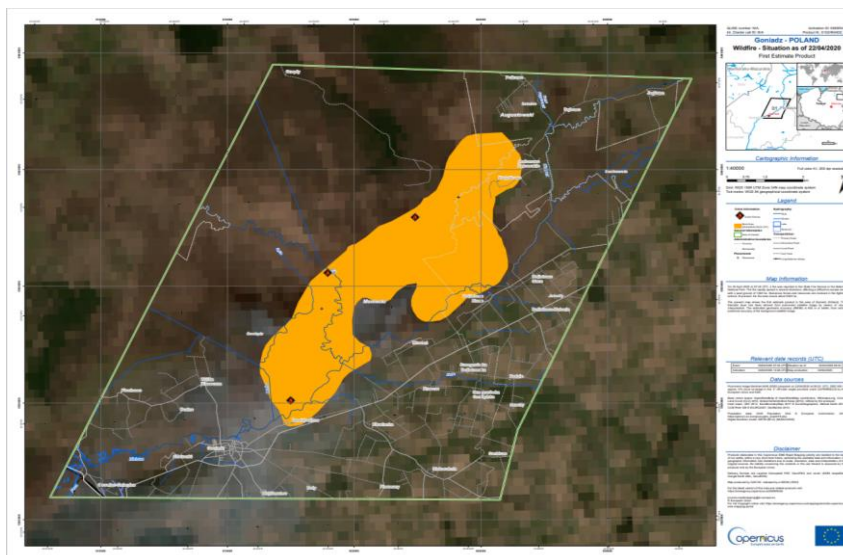


Zdjęcie 1. Czło pożaru oznaczone na zdjęciu terenu i na zdjęciu satelitarnym

W godzinach porannych dnia 22.04. w Goniądzu zawiązał się Sztab Podlaskiego Komendanta Wojewódzkiego PSP, a kierowanie działaniami ratowniczymi na poziomie strategicznym (najwyższym po interwencyjnym i taktycznym) objął Podlaski Komendant Wojewódzki PSP. W tym samym czasie Komendant Główny PSP polecił zadysponować siły i środki podległego mu

¹⁴ Chomonicz, 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 / Safety & Fire Technique”, Vol. 51 Issue 3,, s. 107.

Centralnego Odwołu Operacyjnego, w tym 170 strażaków, 75 ratowników, w tym zespół operatorów bezzałogowych statków powietrznych (BSP). Stanowisko Kierownictwa Komendanta Głównego PSP (SK KG PSP) koordynowało dysponowanie siłami i środkami ponad wojewódzkimi na miejsce zdarzenia. Poprzez SK KG PSP, które realizuje zadania międzynarodowego punktu kontaktowego uruchomiono europejski mechanizm reagowania w przypadku klęsk i katastrof a w nim poprzez system COPERNICUS pozyskano zobrazowania satelitarne obszaru (zdjęcie 2).



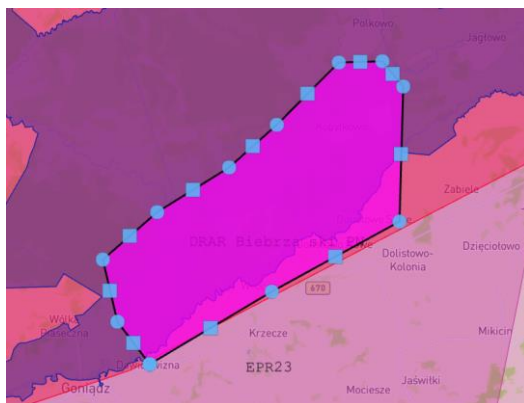
Zdjęcie 2. Obraz rozpoznania satelitarne Copernicus z zaznaczonym obszarem objętym pożarem w Biebrzańskim Parku Narodowym. Źródło: https://emergency.copernicus.eu/mapping/system/files/components/EM_SR436_AOI01_FEP_PRODUCT_r1_RTP01_v1.jpg, dostęp: 26.11.2020 r.

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

- strefa ograniczona EPR23 BIEBRZAŃSKI PARK NARODOWY- aktywna H24, wysokość od GND do 4000 ft AMSL¹⁵,
- DRAR - Drone Airspace Restriction – strefa ograniczona U-space¹⁶.

¹⁵ AIP Polska, rozdz. ENR 5.1.2-3, PAŻP, 2020, s. 216.

¹⁶ Podręcznik użytkownika aplikacji dFPL, SUM-SUTM-dFPL-1.1.-25022020, PAŻP, 2020, s. 3.



Zdjęcie 3. Mapa poglądowa struktur przestrzeni powietrznej (EPR23, DRAR) w przybliżonym obszarze objętym pożarem. Źródło: PANS-UTM

W celu kontynuowania działań gaśniczych na miejsce zdarzenia zadysponowano Grupę Operacyjną KG PSP. Teren akcji podzielono na 5 odcinków bojowych: Kuligi, Grzędy, Wroceń, Kopytkowo, Kanał. Prowadzone działania na wszystkich odcinkach polegały na dogaszaniu pogorzeliisk i pojawiających się zarzewi ogni. W związku ze skrajnie trudnymi warunkami terenowymi związanymi z występowaniem terenów bagiennych oraz cieków wodnych do przemieszczania się sił i środków używane były amfibie ARGO 8x8 oraz wszędolazy. Równocześnie na poszczególnych odcinkach wodnych rozpoznawano możliwość budowania magistrali wodnych, utworzenia tzw. „lotniska polowego” w celu przyśpieszenia 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 dnia 24.04. w dalszym ciągu prowadzone były działania gaśnicze i dozorujące, a nocą sprawdzano za pomocą BSP z kamerami termowizyjnymi pogorzeliisko w celu wychwycenia kolejnych zarzewi ognia (zdjęcie 4).



Zdjęcia 4. Dozorowanie pożaru w dzień (z prawej) i w nocy (termowizja) za pomocą BSP.

Okazało się, że całkowita powierzchnia pożaru wynosiła 5280 ha, a podjęte w ciągu dnia działania przynosiły rezultaty, bo już prowadzone były działania na trzech odcinkach bojowych, przy czym na jednym o powierzchni 1500 ha prowadzono przelewanie tłących się zarzewi ognia, a na dwóch pozostałych

prowadzono dozоровanie. Jednak z powodu obniżeniem się stanu wody w Biebrzy, na miejsce zadysponowano przedstawiciela wojsk inżynieryjnych, w celu opracowania rozwiązań związanych z przeprawą wodną ratowników i sprzętu. W kolejnym dniu kontynuowane były działania gaśnicze i dozoruujące na trzech odcinkach. Użycie kamer termowizyjnych umożliwiło lokalizację punktów o wysokiej temperaturze, a tym samym nie dopuszczanie do powstania nowych ognisk pożaru oraz pożaru podpowierzchniowego (torfu) na dużym obszarze. Dnia 26.04. dokonano sprawdzenia pogorzeliska 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 Biebrzańkiego Parku Narodowego. W tych działaniach ratowniczo gaśniczych uczestniczyły: 2 śmigłowce i 6 samolotów patrolowo-gaśniczych typu „Dromader” Lasów Państwowych, 2 śmigłowce Policji, 1 śmigłowiec Straży Granicznej. Dodatkowo zastosowano 4 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 zleżała od wstępnego i bezpośredniego lotniczego przygotowania nawigacyjnego oraz wskazała na zasadność i sensowność opracowania odpowiedniej metodyki dla BSP. Ponowną kontrolę wykonano po zakończeniu akcji w dniu 30.04.2020 przy wsparciu opracowań wojskowych z Ośrodka Rozpoznania Obrazowego.

3. Charakterystyka operacyjnie używanych bezzałogowych systemów powietrznych

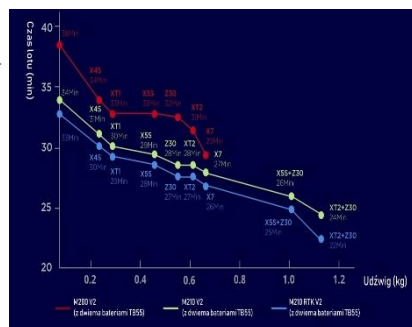
Podczas działań gaśniczych prowadzonych w dniach 19.04. - 26.04. na terenie Biebrzańkiego Parku Narodowego, operacyjnie stosowano od rana do późnych godzin wieczornych bezzałogowe statki powietrzne typu:

- czterowirnikowce DJI Matrice 210 wyposażone w różne wersje kamer (na światło widzialne RGB oraz termowizyjne),
- sześciowirnikowce Yuneec H520 (na światło widzialne RGB).
- WOT stosował po zmroku płatowiec BSP Flyeye

Wymienione wirnikowe BSP dokonywały rozpoznania terenu działań, precyzyjnie określały pojedyncze ogniska oraz pożaru w oparciu o pokładowe kamery monitorowały wyniki działań gaśniczych i dozorowały podejmowane przedsięwzięcia. Również umożliwiały kontrole pogorzelisk po zakończeniu akcji gaśniczych (zdjęcie 5).

Podczas działań użyto trzy bezzałogowe statki powietrzne typu DJI Matrice 210 (zdjęcie 5), a wybrane parametry główne zawiera tabela 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 5.1o pamięci: 128GB, dolny system pozycjonowania, przedni system pozycjonowania, górne czujniki podczerwieni, akumulator (TB55-7660mAh-22.8V), ładowarka (IN2C180), hub do ładowania (IN2CH). Niewątpliwie do kluczowych cech Matrice 210 V2 zalicza się:

- ✓ 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;
- ✓ technologia DJI AirSense - dzięki wbudowanemu odbiornikowi ADS-B ta technologia automatycznie zapewnia operatorowi w czasie rzeczywistym informacje o pobliskim ruchu powietrznym;
- ✓ 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 poprawienie bezpieczeństwa wykonywanych lotów;
- ✓ kamerę FPV;
- ✓ możliwość zdalnego wyłączenia oświetlenia (tzw. tryb dyskretny);
- ✓ 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, technologia 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);



Zdjęcie. 5. DJI Matrice 210 oraz czasy lotu w jego poszczególnych konfiguracjach

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)
Maks. masa startowa	6.14 kg
Maks. Udźwig	1.34 kg
Dokładność zawisu (P-mode,	pionowo: ± 0.5 m lub ± 0.1 m (włączony

GPS)	dolny system pozycjonowania) poziomo: ± 1.5 m lub ± 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)
Maks. prędkość obrotu	Pitch: $300^\circ/s$, Yaw: $120^\circ/s$
Maks. prędkość wznoszenia	5 m/s
Maks. kąt nachylenia	S-mode: 35° (górny gimbal, dolny podwójny gimbal: 30°); P-mode: 30° (włączony przedni system czujników: 25°); A-mode: 30°
Maks. prędkość opadania	3 m/s
Maks. prędkość	S-mode/A-mode: 81 km/h (górny gimbal, dolny podwójny gimbal: 73 km/h) P-mode: 61.2 km/h
Maks. pułap n.p.m	3000 m (ze śmigłami 1760S)
Maks. zasięg transmisji (obszar wolny od zakłóceń, teren otwarty)	CE/MIC: 5 km
Maks. odporność na wiatr	12 m/s
Maks. czas lotu (dwie baterie TB55)	34 min (bez obciążenia), 24 min (masa startowa: 6.14 kg)
Obsługiwane gimbale DJI	Zenmuse X4S/X5S/X7/XT/XT2/Z30
GNSS	GPS+GLONASS
Indeks odporności (woda / ciała stałe	IP43
Temperatura pracy	-20° do 50° C)

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" wyświetlacz Low-Glare umożliwia kompleksowe zaplanowanie misji a czujnik 1*CMOS z rozdzielczością 20 megapikseli stanowi kompaktowe urządzenie. Dzięki niemu możliwe jest 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 5.8GHz. Sprawdzony trójosiowy gimbal Yuneec z rotacją 360° zapewnia maksymalną stabilizację. 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, lądowaniu możliwy jest powrót do miejsca startu, powtórzenie misji oraz odbycie misji wielokątnej, czyli określenie obszaru w którym dron ma latać (zdjęcie 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 bezzałogowego statku powietrznego Yuneec H520 i aparatury sterującej ST 16S Ground Station

Yuneec H520	
Czas lotu	do 25 minut (z kamerą E90)
Waga	1633 g (z baterią bez kamery E90)
Maksymalna ładowność	Maksymalna ładowność: 500 g
Nadajnik	ST16S 16-kanalowa 2.4Ghz 5.8 GHz transmisja video
Zasięg	1.6 km (1mile)
Max. Wysokość (względna)	500 m
Max. prędkość kątowna obrotu	120 stopni/s
Max. Wychylenie	35 stopni
Max. Prędkość wznoszenia	7 m/s
Max. Prędkość opadania	6 m/s
Max. 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	Zasięg transmisji video: do 1.6 km (1 mila) w optymalnych warunkach
Dane telemetryczne lotu	tak
Rozmiar ekranu LCD	7"
Sygnaly dotykowe, wibracje, dźwiękowe	tak
Bateria	3,6V 8700mAh, 31,32 Wh, Lithium Ion
Komunikaty głosowe	tak



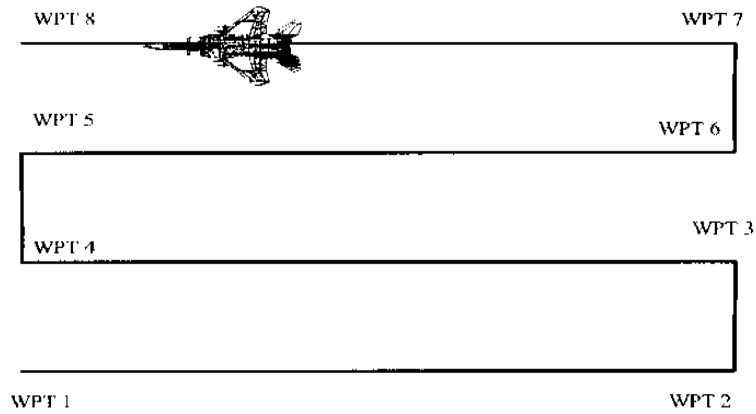
Zdjęcie 6. Bezzałogowy system powietrzny: aparatura sterująca ST16S Ground Station oraz bezzałogowy statek powietrzny Yuneec H520 z kamerą E90.

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

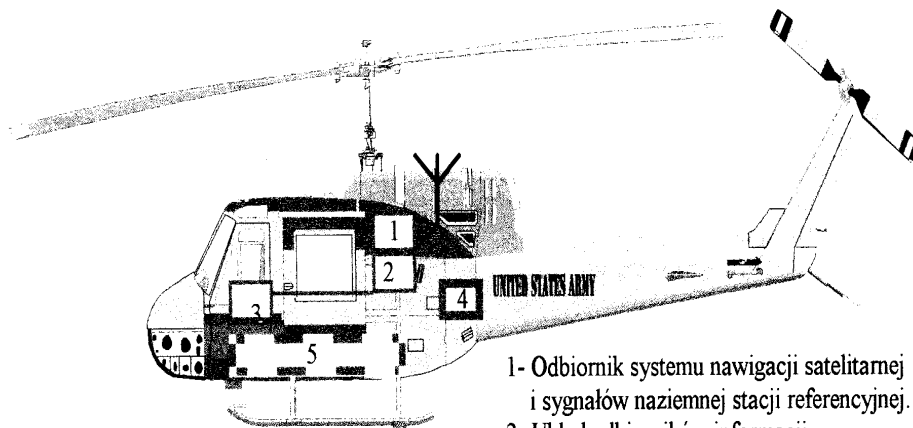
4. Wstępne i bezpośrednie nawigacyjne przygotowanie dronów do lotu

Podczas przeprowadzonych przez straż pożarną w kwietniu 2020 r. działań ratowniczo gaśniczych w Biebrzańskim Parku Narodowym, prawdopodobnie po raz pierwszy lub jeden z pierwszych, wzorem lotnictwa, zastosowano wstępne i bezpośrednie przygotowanie nawigacyjne do lotów bezzałogowych systemów powietrznych. Zdobyte doświadczenia i wstępne 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 dozorowania rezultatów podejmowanych przedsięwzięć, zastosowano opcję dronowej misji wielokątnej – określając obszar, w którym dron ma latać. Na tej podstawie implementowano podczas działań metodę drabinkową. Była ona opracowana i zweryfikowana podczas testów lotniczych w 1998 r.¹⁷ (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 kłeskami 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 sprawdzonych powodzi, 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.

¹⁷ Fellner A., Analiza systemów nawigacyjnych i koncepcja stacji permanentnych RTK DGPS dla potrzeb lotnictwa, WSOSP, Dęblin 1999, s. 87, 89.

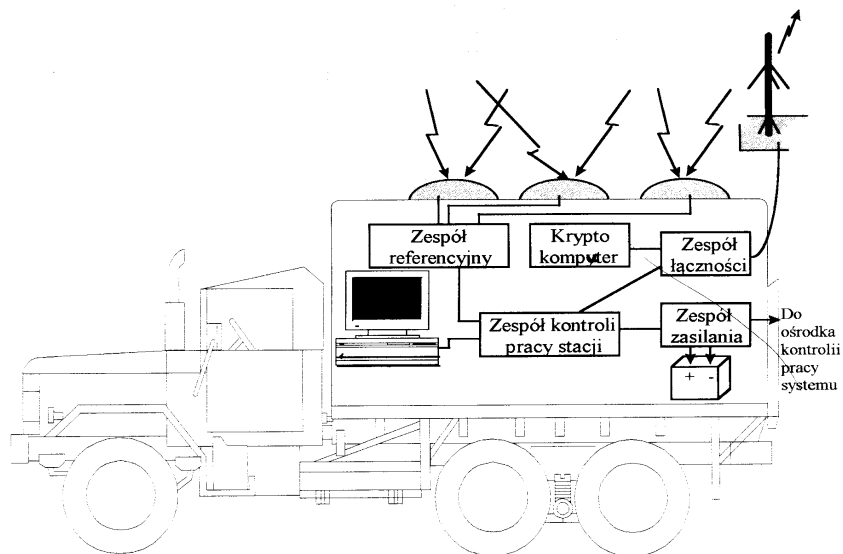


Rys. 1. Schemat prowadzenia akcji poszukiwawczo – ratowniczej w oparciu o metodę drabinkową.



- 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



Rys. 3. Schemat stacji DGPS używanej podczas eksperymentów

Zdobyte doświadczenia, przeprowadzone w latach 1998-2019 badania naukowe i testy lotnicze 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 działań ratowniczo gaśniczych w Biebrzańskim Parku Narodowym okazało się jak istotne jest wykonanie wstępnego i bezpośredniego przygotowania nawigacyjnego operatorów do lotów bezzałogowych systemów. W ramach działań operacyjnych z uprawnieniami bez widzialności BVLOS. Na tej podstawie autorzy postanowili zaproponować algorytm takiego przygotowania, umożliwiającego bezpieczne, precyzyjne i optymalne wykonanie założonych zadań, przedsięwzięć podczas komercyjnych lub operacyjnych działań.

Nawigacyjne przygotowanie personelu obsługującego bezzałogowy 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 na określonej trasie, gdyż ma decydujący wpływ na pomyślne i bezpieczne wykonanie lotu operacyjnego systemu bezzałogowego. Graficzne opracowanie mapy polega na uwzględnieniu:

- przebiegu trasy i jej opis;
- czasu lotu wpisany 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;
- zaznaczenie wektorem ogólnym kierunku i siły wiatru;
- zapisaniu 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 umożliwiłoby dołot do tego punktu z kierunku najdogodniejszego do wykonania zadania,

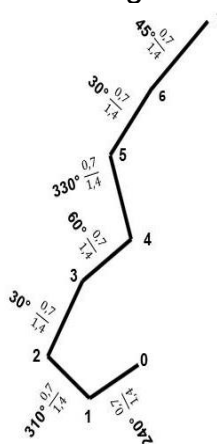
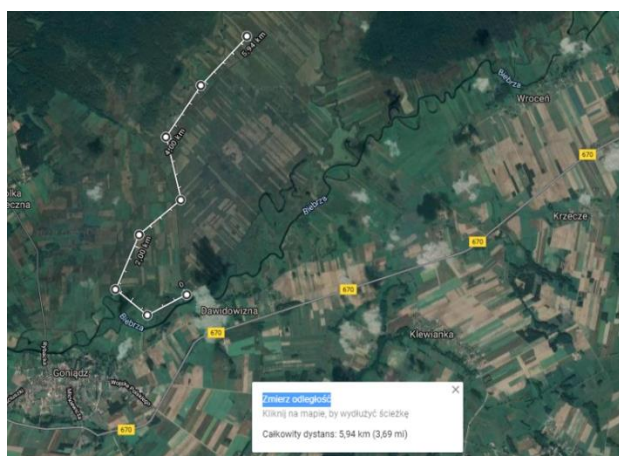
KPT – końcowy

KO - kontrolne obiekty, pomocnicze punkty trasy lub zmiany nawigacyjnych parametrów lotu, korekcji wskazań przyrządów).

✓ wybór profilu (przekrój pionowy trasy) i innych nawigacyjnych parametrów lotu – istotne są wysokość lotu bezzałogowego systemu na poszczególnych odcinkach. Zależy ona od rodzaju zadania, możliwościami i wyposażeniem 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, położenie stref zakazanych, niebezpiecznych, ograniczonych;

✓ wykonanie niezbędnych wstępnych obliczeń – przeprowadza się po wykreśleniu trasy lotu i nie uwzględnia się w nim wpływu wiatru. W ramach tych obliczeń określa się: długość odcinków trasy lotu i czasy ich przelotu, nakazane magnetyczne kąty drogi dla poszczególnych odcinków trasy (zdjęcie 7), ogólną długość trasy, czas dołotu do WPT i lotu od KPT, lądowania, ogólny czas trwania lotu, czas startu zapewniający wyjście na określony punkt trasy lub lądowanie/wymiana 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 (tabela 3). Z powodu deficytu czasu, stosuje się pamięciowe nawigacyjne przeliczanie jednostek np.:

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



Latitude: 53° 29' 0.5" N
Longitude: 22° 45' 54.5" E
GONIADZ
Magnetic Declination: +7° 4'
Declination is POSITIVE (EAST)
Inclination: 69° 12'
Magnetic field strength: 50704.5 nT

Zdjęcie. 9. Trasa monitoringu pogorzelniska (z lewej) oraz dane dotyczące wartości deklinacji magnetycznej dla miejscowości GONIADZ

Tabela 3. Przykładowy dzienniki pokładowy niezbędny podczas operacyjnego stosowania dronów (wypełniony dla trasy lotu wzdłuż czoła pożaru)

System bezzałogowy latający (dron)				Parametry wiatru (kierunek, prędkość)					
Operator/pilot				Prędkość rzeczywista lotu (TAS)					
Data lotu 22.04.2020				Wysokość lotu 80 m					
Obliczenia wstępne			Trasa	Obliczenia bezpośrednie					
KDM	S	TAS (V _r)		t	KB	t	GS (W)	KM	KZ
do WPT				0					
240°	0,7 km	30 km/h	1,4 min	1					
310°	0,7 km	30 km/h	1,4 min	2					
30°	0,7 km	30 km/h	1,4 min	3					
60°	0,8 km	30 km/h	1,6 min	4					
330°	1 km	30 km/h	2 min	5					
30°	1 km	30 km/h	2 min	6					
45°	1km	30 km/h	2 min	7					
od KPT									
NOTATKI POMOCNICZE									
Długość lotu - 11,8 min									
Ilość paliwa/liczba baterii -									
Bezpieczna wysokość lotu – 80 m									
Deklinacja +7° 4'									

Świt -	Zmrok -
Zapasowe miejsca lądowania bezzałogowego systemu latającego:	

Bezpośrednie przygotowanie nawigacyjne, wykonywane jest przed rozpoczęciem lotu bezzałogowego systemu i głównie polega na uzupełnieniu prawej strony dziennika pokładowego (rys. 6) a szczególnie prędkość i kierunek wiatru oraz 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 danych meteorologiczne (wiatru, temperatury, ciśnienia). 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 trasy 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 bezzałogowych systemów latających istotne są certyfikowane dane meteorologiczne zawarte na stronie IMGW¹⁸ a szczególnie:

GAMET - prognoza składająca się z dwóch zasadniczych części: SECN I – zawiera grupy niebezpiecznych zjawisk pogody mających 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 informacje, wydawane przez Meteorologiczne Biuro Nadzoru, podają tekstem z użyciem obowiązujących skrótów, zwięzły opis 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 FIR EPWW. W przekroju pionowym prognoza zawiera się od powierzchni ziemi do FL100, a 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,

¹⁸ Online: <http://awiacja.imgw.pl/index.php?product=airmet-opis>, dostęp: 27.11.2020.

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 zachmurzenia, opady, temperatura wierzchołków chmur a także możliwość wystąpienia głębokiej konwekcji. Na mapie zbiorczej prezentowane są maksymalne wartości intensywności oblodzenia w warstwie od 0 do 10km (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. Prognozowaną intensywność oblodzenia podawane 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 i dostosowania ich do dronów. W związku z tym należy:

- ✓ stosować zmodyfikowane wstępne i bezpośrednie nawigacyjne przygotowania do lotów;

- ✓ zapoznawać się z certyfikowanymi danymi meteorologicznymi podawanymi przez IMGW – certyfikowany dostarciciel 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 :

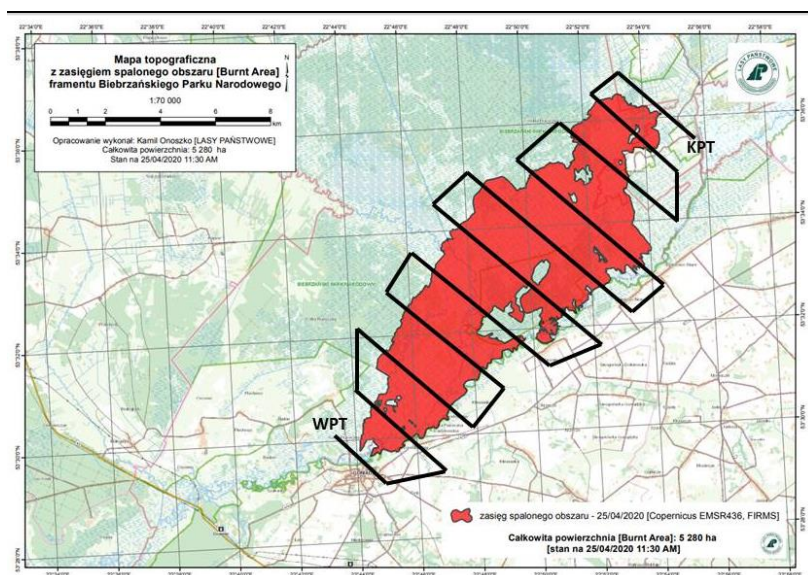
$$H_{\text{abezp.}} = \Delta H_{\text{ter}} + \Delta H_{\text{prz}} + \Delta H_{\text{bar}}$$

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 pozytywnie zweryfikowana podczas monitorowania pogorzelniska (zdjęcie 10).



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

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. Zadysonowany samolot FlyEye firmy Flytronic należący do Wojsk Obrony Terytorialnej przekazywał dane do sztabu akcji PSP, celem wykorzystania ich do podejmowania optymalnych decyzji przez 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-pomagajagasic-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 tzw. centrum dowodzenia czyli sztabu akcji. W praktyce może to spowodować podejmowanie decyzji, opóźnić działania, a nawet przyczynić się do przeoczenia istotnych operacyjnie informacji o sytuacji. Nie do przecenienia jest ogromna rola koordynacji lotów załogowych i bezzałogowych, w celu zachowania najwyższego poziomu bezpieczeństwa, w sytuacji konieczności realizacji zadań w tym samym obszarze.

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 - naruszą obowiązujące zakazy lotów i strefy, a także stworzą zagrożenie dla znajdujących się w powietrzu BSP straży pożarnej¹⁹.

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 (mapy obszaru 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 (a zatem m.in. BSP, aparatura sterująca, kamery) używane w działaniach operacyjnych powinny cechować się długim czasem pracy, niezawodnością, solidnością budowy, odpornością na wilgoć, wiatr, ujemne i wysokie temperatury,

- czas lotu BSP typu wielowirnikowiec jest niejednokrotnie niewystarczający wobec nie tylko konieczności nieprzerwanych oblotów obszarów o dużej powierzchni, ale także w porównaniu z potrzebami na ciągły monitoring odcinków bojowych,

- 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,

- w związku z powyższym zasadne jest w przyszłości w działaniach służb ratowniczych także testowanie i zweryfikowanie technologii BSP typu wielowirnikowiec na uwięzi w aspekcie ciągłego, punktowego monitoringu,

- istnieje zapotrzebowanie na narzędzia wspomagające podejmowanie decyzji na miejscu zdarzenia, oparte na transmisji, agregacji i integracji obrazów przesyłanych z BSP w czasie rzeczywistym,

¹⁹ 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.

- zasadne jest wykorzystanie cyfrowych, niezawodnych narzędzi do zarządzania flotą BSP.

Bibliografia

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).

Alexandrov, D., Pertseva, E., Berman, I., Pantiukhin, I., Kapitonov, Analysis of machine learning methods for wildfire security monitoring with an unmanned aerial vehicles, 24th Conference of Open Innovations Association (FRUCT). „IEEE”, 2019.

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.

Ejaz, W., Azam, M. A., Saadat, S., Iqbal, F., Hanan, A., Unmanned aerial vehicles enabled IoT platform for disaster management. „Energies”, 12(14) 2706, 2019, doi:10.3390/en12142706.

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”, n. 36 (2019), s. 39-62.

ASSISTANCE project website online: <https://assistance-project.eu>, dostęp: 25.11.2020.

FIRE-IN project website online: <https://fire-in.eu/pl>, dostęp: 25.11.2020.

ResponDrone project website online: <https://respondroneproject.com/about-us/overview>, dostęp: 25.11.2020.

INGENIOUS project website online: <https://ingenious-first-responders.eu>, dostęp: 25.11.2020.

DRIVER+ project website online: <https://www.driver-project.eu>, dostęp: 25.11.2020.

FASTER project website online: <https://www.faster-project.eu>, dostęp: 25.11.2020.

Asghar, S., Alahakoon, D., Churilov, L., A comprehensive conceptual model for disaster management. „Journal of Humanitarian Assistance”, 1360(0222), 2006, s. 1-15. Przewodnik po Krajowym Planie Zarządzania Kryzysowego, Rządowego Centrum Bezpieczeństwa, Warszawa 2018.

INSARAG Guidelines, Volume II: Preparedness and Response, Manual B: Operations, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA), 2020, s. 6.

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 / Safety & Fire Technique”, Vol. 51 Issue 3.

AIP Polska, rozdz. ENR 5.1.2-3, PAŻP, 2020.

Podręcznik użytkownika aplikacji dFPL, SUM-SUTM-dFPL-1.1.-25022020, PAŻP, 2020, s. 3.

Fellner A., Analiza systemów nawigacyjnych i koncepcja stacji permanentnych RTK DGPS dla potrzeb lotnictwa, WSOSP, Dęblin 1999..

<http://awiacja.imgw.pl/index.php?product=airmet-opis>, dostęp: 27.11.2020.

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.

<https://media.terytoriasi.wp.mil.pl/informacje/500815/zolnierze-wot-pomagaja-gasic-pozary-w-biebrzanskim-parku-narodowym-film-z-drona>, dostęp: 26.11.2020 r.