

Paweł SZCZEPANIAKInstytut Techniczny Wojsk Lotniczych
e-mail: pawel.szczepaniak@itwl.pl; ORCID: 0000-0001-6544-0005**Agnieszka GUGAŁA-SZCZEBICKA**Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
e-mail: agnieszka.gugala-szczerbicka@itwl.pl; ORCID: 0009-0000-4678-2368**Dariusz RODZIK**Wojskowa Akademia Techniczna
e-mail: dariusz.rodzik@wat.edu.pl; ORCID: 0000-0003-1697-8874**Tomasz KULIK**Lotnicza Akademia Wojskowa
e-mail: t.kulik@law.mil.pl; ORCID: 0000-0003-4062-2552**Anna MICHALSKA**Lotnicza Akademia Wojskowa
e-mail: a.michalska@law.mil.pl; ORCID: 0000-0002-9292-589X

DOI: 10.55676/asi.v4i2.44

ZAŁOŻENIA FUNKCJONALNO-KONSTRUKCYJNE DLA BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH PRZEZNACZONYCH DO DZIAŁAŃ ROZPOZNAWCZO- -MEDYCZNYCH NA POLU WALKI

FUNCTIONAL AND DESIGN ASSUMPTIONS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES INTENDED FOR RECONNAISSANCE AND MEDICAL OPERATIONS ON THE BATTLEFIELD

Streszczenie

Celem niniejszego artykułu było przedstawienie prototypowych rozwiązań konstrukcyjnych wypracowanych w ramach projektu realizowanego na potrzeby Sił Zbrojnych RP dotyczącego koncepcji użycia systemów bezzałogowych statków powietrznych (SBSP) jako dwupoziomowego bezzałogowego systemu rozpoznawczo-medycznego przeznaczonego do zdobywania i dostarczania informacji o stanie zdrowia żołnierzy poszkodowanych na polu walki, a także niesienia wstępnej pomocy medycznej. Artykuł obejmuje prezentację założeń funkcjonalno-konstrukcyjnych projektu, przegląd dostępnych na rynku produktów wraz z ich charakterystyką i analizą użyteczności, a także opis autorskiej propozycji platform bezzałogowych spełniających kryteria sformułowane w założeniach. Projektowane rozwiązania stanowiące komponent systemu logistycznego wsparcia pola walki na różnych poziomach zabezpieczenia medycznego, będą posiadały wyposażenie operacyjne adekwatne do realizacji poszczególnych zadań

Abstract

The purpose of this article is to present prototype design solutions as part of a project implemented for the Polish Armed Forces' needs regarding the concept of unmanned aerial systems (UAS) as a two-level unmanned reconnaissance and medical system intended to acquire and provide information about the health condition of soldiers injured on the battlefield, as well as to provide initial medical aid. The article contains a summary of the functional and design aspects of the project, an overview of the products available on the market along with their characteristics and usability analysis, as well as a description of the original unmanned platform that meets the functional criteria formulated in the assumptions. The designed solutions, constitute a component of the battlefield logistic support system at various levels of medical support, will contain operational equipment adequate to perform individual tasks indicated in the project, including: human detection,

wskazanych w projekcie, m.in. identyfikacji osób, odbioru i przesyłania danych pomiędzy stacją naziemną a platformami znajdującymi się w obszarze działań bojowych, dostarczania ładunku medycznego do poszkodowanych, pomiaru stężenia CO₂ za pomocą kapnometru, wykonywania pomiarów tzw. radarem szumowym.

Słowa kluczowe: systemy bazzałogowe, bezzałogowe statki powietrzne, teledetekcja, zabezpieczenie medyczne, triaż, ewakuacja poszkodowanych

downloading and sending data from the ground station to the platforms used in combat operations, delivering medical loads to the injured, measuring CO₂ using a capnometer, performing measurements using the so-called noise radar.

Keywords: unmanned systems, unmanned aerial vehicles, remote sensing, medical support, triage

1. WPROWADZENIE

Potrzeba zapewnienia właściwego funkcjonowania systemu zabezpieczenia medycznego pola walki implikuje konieczność sięgania po najnowsze zdobycze współczesnej techniki¹. Wśród nowoczesnych rozwiązań logistycznych dla transportu drogą powietrzną czołowe miejsce zajmują systemy bezzałogowych statków powietrznych (SBSP)², których zalety zostały potwierdzone licznymi testami oraz operacyjnym zastosowaniem zarówno do celów wojskowych^{3, 4}, jak i cywilnych^{5, 6}. Obecnie NATO i państwa partnerskie aktywnie eksperymentują w zakresie użycia platform bezzałogowych do dostarczania ładunków i zaopatrzenia. Niektóre z powstających konstrukcji w niedalekiej przyszłości mogą być wykorzystywane do zadań CASEVAC (ang. *casualty evacuation*)^{7, 8}.

Każdorazowa implementacja nowych technologii do Sił Zbrojnych RP musi zostać poprzedzona szczegółowymi badaniami oraz sprecyzowaniem potrzeb i warunków jakie nowo wprowadzany sprzęt wojskowy powinien spełniać. Zatem sformułowanie właściwych założeń funkcjonalno-technicznych stanowi kluczowe zagadnienie planowania zadań w powyższym obszarze, a także podstawę skutecznego funkcjonowania systemu logistycznego.

Zaproponowana przez autorów koncepcja implementacji systemu BSP pn. MilGeoMed, przeznaczonego do działań rozpoznawczo-medycznych na polu walki, stanowi innowacyjne rozwiązanie jako dedykowany produkt na potrzeby SZ RP.

¹ Zob. N. Fisher, G.R. Gilbert, Medical Robotic and Autonomous System Technology Enablers for the Multi-Domain Battle 2030-2050, „Small Wars Journal”, July 22, 2017.

² Obszerny przegląd rozwiązań zawarto w: L. Yi, M. Liu, D. Jiang, Application of Unmanned Aerial Vehicles in Logistics: A Literature Review, „Sustainability” 2022, t. 14, nr 21, s. 14473.

³ Zob. D.T. Lammers, J.M. Williams, J.R. Conner, E. Baird, O. Rokayak, J.M. McClellan i in., Airborne! UAV delivery of blood products and medical logistics for combat zones, „Transfusion” 2023, nr 63(S3), s. 96–104.

⁴ T. Szulc, Possibilities of using unmanned combat assets in tactical operations in the mountains, „Scientific Journal of the Military University of Land Forces” 2023, nr 55(208), s. 112–127.

⁵ Byung Duk Song, Kyungsu Park, Jonghoe Kim, Persistent UAV delivery logistics: MILP formulation and efficient heuristic, „Computers & Industrial Engineering” 2018, vol. 120, s. 418–428.

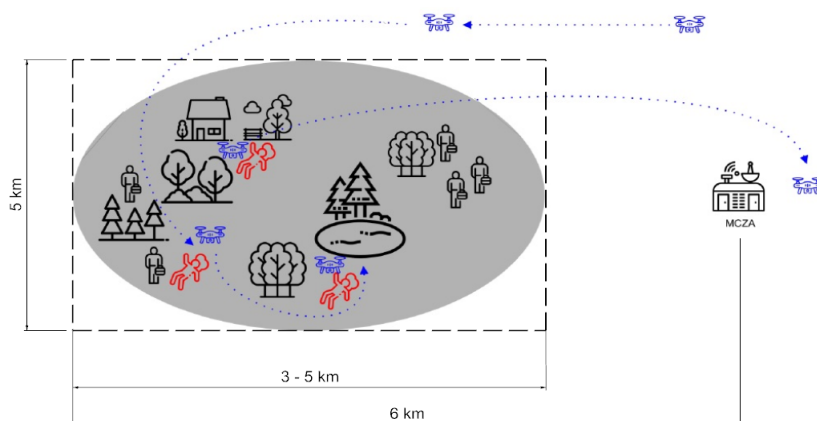
⁶ K. Rana, S. Praharaj, T. Nanda, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): An Emerging Technology for Logistics, „Int. J. Bus. Manag. Invent.” 2016, nr 5, s. 86–92.

⁷ G. McKnight, M. Palmer, M. Khan, The use of Unmanned Aerial Vehicles for CASEVAC in the future urban and littoral environments, „Journal of The Royal Naval Medical Service” 2019, nr 105, s. 29–33.

⁸ G.E. Jeler, The use of autonomous systems for evacuation and medical support, [w:] International Scientific Conference Strategies XXI. The Complex and Dynamic Nature of the Security Environment, vol. 1, 2019, s. 371–378.

Punktem wyjścia do zaprezentowania założeń projektu w niniejszym artykule były określone kryteria dotyczące wyposażenia zadaniowego BSP oraz planowanego przebiegu zadań realizowanych przez poszczególne podsystemy. Jednym z głównych założeń, odnoszących się do wszystkich planowanych zadań, było określenie przyjętego w ramach projektu obszaru przeprowadzanej operacji logistycznej. Należy zauważyć, że wykorzystane BSP w operacji logistycznej nabierały szczególnego znaczenia po wybuchu pełnoskalowej wojny w Ukrainie⁹.

W projekcie przyjęto, że system MilGeoMed będzie używany na polu walki zanim jeszcze będą mogły rozpocząć działania zespoły ratownicze. Misje SBSP podzielone zostały na dwa poziomy komponenty powietrznego, które tworzyć będzie pięć BSP (oznaczonych jako: 1A, 1B, 2A, 2B, 2C) o różnym przeznaczeniu oraz komponent naziemny, w którego skład wchodzi mobilne centrum zarządzania i analiz (MCZA) oraz bezzałogowa platforma do podejmowania i ewakuacji rannych. Uproszczony schemat obszaru działania zakładanego dla misji SBSP przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat obszaru działania systemu BSP

Źródło: Dokumentacja inicjująca projekt systemu MilGeoMed, ITWL, Warszawa 2020.

2. WYMAGANIA FUNKCJONALNE DLA SYSTEMU BSP

W oparciu o wytyczne zawarte w dokumentacji inicjującej projekt¹⁰ dla BSP 1A przypisano zadanie identyfikacji poszkodowanych żołnierzy za pomocą kamer w paśmie podczerwieni (IR) i światła widzialnego (VIS) w wyznaczonym obszarze działania w odległości maksymalnie do 6 km od punktu startu, a także odbiór i przesyłanie danych pomiędzy stacją naziemną w MCZA a wszystkimi BSP znajdującymi się w obszarze działania.

⁹ I. Jacyna-Gołda, N. Shmygol, N. Gavkalova, M. Salwin, Sustainable Development of Intermodal Freight Transportation – Through the Integration of Logistics Flows in Ukraine and Poland, „Sustainability” 2024, nr 16(1), <https://doi.org/10.3390/su16010267>.

¹⁰ Dotyczy: dokumentacji inicjującej projekt systemu MilGeoMed, ITWL, Warszawa 2020.

Zadanie BSP 1B polegać ma na wstępnym rozpoznaniu obrazowym obszaru działań oraz mapowaniu i dostarczaniu danych terenowych o skażeniu obszaru, liczebności i rozmieszczeniu sił przeciwnika oraz poszkodowanych żołnierzy, co pozwoli na zaplanowanie misji ratowniczych. Powyższe zadanie realizować będzie BSP o konstrukcji stałopłatu pionowego startu i lądowania.

Zadanie prowadzone przy pomocy BSP 2A ma polegać na wykonywaniu pomiaru stężenia CO₂ w powietrzu w pobliżu głowy poszkodowanego, za pomocą kapnometru. Pomiar ten ma na celu stwierdzenie, czy ranny oddycha. Koncepcja użycia kapnometru zakłada osłonięcie kurtyną głowy żołnierza wraz z hełmem i wyposażeniem do niego podczepionym. Kurtyna powinna zapewnić odpowiednią szczelność i umożliwić pod nią pomiar stężenia CO₂ na skutek oddychania poszkodowanego. Alternatywnie BSP 2A ma posiadać możliwość podczepienia (zamiast kapnometru) niewielkiego ładunku medycznego i dostarczenia go do rannego.

Zadanie prowadzone przy pomocy BSP 2B ma polegać na wykonywaniu pomiarów radarem szumowym, w celu wykrycia czynności życiowych rannego, kiedy nie ma do niego bezpośredniego dostępu, np. jest przysypany. Natomiast zadanie wykonywane przy pomocy BSP 2C ma polegać na prowadzeniu obserwacji za pomocą kamer spektralnych w celu wykrycia obecności i oszacowania ilości krwi w pobliżu rannego. Istotną funkcjonalnością wszystkich BSP poziomu 2 (2A, 2B, 2C) jest umożliwienie kontaktu werbalnego operatora (ratownika medycznego) z poszkodowanym za pomocą zamontowanego na platformie mikrofonu kierunkowego oraz głośnika.

Tabela 1. Przebieg typowego zadania poszczególnych BSP

| Nr | Zadanie | BSP 1A | BSP 1B | BSP 2A | BSP 2B | BSP 2C |
|----|-----------------------------------|--|---|---|--|--|
| 1 | Start z MCZA | | | | | |
| 2 | Dolot do miejsca działań (< 6 km) | | | | | |
| 3 | Zadania indywidualne | Identyfikacja stanu rannego za pomocą kamer VIS i IR. Umożliwienie komunikacji pomiędzy BSP a stanowiskiem kierowania w MCZA | Rozpoznanie obrazowe i detekcja skażeń obszaru działania Mapowanie danych terenowych | Lądowanie nad głową rannego | Lądowanie w pobliżu rannego | Przyjęcie odpowiedniej pozycji |
| 4 | | | | Opuszczenie kurtyny kapnometru i pomiar CO ₂ | Rozłożenie anteny radaru i wykonanie pomiaru | Skanowanie obszaru wokół rannego |
| 5 | | | | Złożenie kurtyny | Złożenie anteny | Wykrycie krwi i oszacowanie jej ilości |
| 6 | Start z miejsca działania | | | | | |
| 7 | Dolot do MCZA (< 6 km) | | | | | |
| 8 | Lądowanie przy MCZA | | | | | |

Źródło: opracowanie własne.

Można zauważyć, że planowane do użycia w projekcie BSP będą występować w różnych konfiguracjach wyposażenia, w zależności od rodzaju zadań, jakie mają przypisane. Założono, że wyposażenie BSP będą stanowić dostępne na rynku odpowiednie zestawy sensorów. W celu oszacowania przybliżonej masy wyposażenia zadaniowego w tabeli 2 zamieszczono wykaz niezbędnych urządzeń do wykonania zadania przypisanego każdemu z BSP.

Tabela 2. Wyposażenie zadaniowe BSP

| Lp. | Element wyposażenia | Dodatkowe informacje | Masa [g] |
|--|--|--|-----------|
| Wielowirnikowiec BSP 1A | | | |
| 1 | Kamera VIS | Sony Alpha RX1R II | 507 |
| 2 | Kamera IR | Flir Tau 2, Tau 640, 35mm f/1.2, 18 deg | 480 |
| 3 | Dalmierz | Lidar Lite v3HP I2C/PWM - 40 m | 34 |
| 4 | Układ SLAM z głowicą optoelektroniczną | Sony IMX392 Lucid Vision Labs Triton™ TRI023S-CC z obiektywem TECHSPEC 4mm UC Series Fixed Focal Length Lens | ≤ 700 |
| 5 | Jednostka obliczeniowa | Nvidia Jetson Nano | 136 |
| 6 | Układy transmisji danych | Moduły nadawczo-odbiorcze | 200 - 400 |
| BSP 1B – stałopłat pionowego startu i lądowania | | | |
| 1 | Kamera VIS | Sony Alpha RX1R II | 507 |
| 2 | Czujniki skażeń | Moduły detekcji substancji niebezpiecznych | > 300 |
| Wielowirnikowiec BSP 2A | | | |
| 1 | Kapnometr | Układ do pomiaru stężenia wydychanego CO ₂ | 1500 |
| 2 | Zestaw mikrofon/głośnik | Zestaw audio: mikrofon i głośnik wraz z oprzyrządowaniem | 90 |
| 3 | Układ SLAM z głowicą optoelektroniczną | Sony IMX392 Lucid Vision Labs Triton™ TRI023S-CC z obiektywem TECHSPEC 4mm UC Series Fixed Focal Length Lens | ≤ 700 |
| Wielowirnikowiec BSP 2B | | | |
| 1 | Radar szumowy | Radar szumowy do wykrywania czynności życiowych (bicia serca, oddychania, ruchu części ciała pacjenta) | 1350 |
| 2 | Antena radaru szumowego | Dedykowana antena rozkładana w postaci dwóch płytek laminatowych zabezpieczonych przed działaniem wody | 150 |
| 3 | Zestaw mikrofon/głośnik | Zestaw audio: mikrofon i głośnik wraz z oprzyrządowaniem | ≤ 90 |
| 4 | Układ SLAM z głowicą optoelektroniczną | Sony IMX392 Lucid Vision Labs Triton™ TRI023S-CC z obiektywem TECHSPEC 4mm UC Series Fixed Focal Length Lens | ≤ 700 |
| wielowirnikowiec BSP 2C | | | |
| 1 | Kamery spektralne z głowicą | Głowica z trzema kamerami spektralnymi, optoelektroniczna z systemem stabilizacji elektromechanicznej w trzech osiach; kamery Phoenix 3.2 MP; przeznaczone do wykrywania i szacowania ilości rozlanej krwi | ≤ 1500 |
| 2 | Dalmierz laserowy | Precyzyjny laserowy czujnik odległości | ≤ 100 |
| 3 | Zestaw mikrofon/głośnik | Zestaw audio: mikrofon i głośnik wraz z oprzyrządowaniem | ≤ 90 |
| 4 | Układ SLAM z głowicą optoelektroniczną | Sony IMX392 Lucid Vision Labs Triton™ TRI023S-CC z obiektywem TECHSPEC 4 mm UC Series Fixed Focal Length Lens | ≤ 700 |

Źródło: opracowanie własne.

W dalszej części artykułu analizowane będą zagadnienia tylko dla BSP wielowirnikowych, które zgodnie z wstępnymi założeniami projektu można podzielić na dwie grupy:

- poziomu 1. (tj. BSP 1A) o udźwigu 4 – 4,5 kg i czasie lotu do 2 godzin;
- poziomu 2. (tj. BSP 2A, 2B, 2C) o udźwigu 2 – 2,6 kg i czasie lotu powyżej 40 minut.

Szczegółowe zestawienie parametrów BSP wielowirnikowych przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Parametry zadaniowe wielowirnikowych BSP

| Parametry | BSP 1A | BSP 2A | BSP 2B | BSP 2C |
|--|------------------|--------|--------|--------|
| Maksymalna masa startowa [kg] | 25 | – | – | – |
| Przybliżona masa wyposażenia zadaniowego [g] | 4000 | 2600 | 2500 | 2400 |
| Minimalny czas lotu [min] | 120 | 40 | | |
| Prędkość przelotowa | 40 km/h (11 m/s) | | | |
| Pułap operacyjny [m] | 500 | | | |

Źródło: opracowanie własne.

Przyjęto, że zaprojektowane zostaną dwa typy wielowirnikowych platform latających: pierwsza – większa, o napędzie hybrydowym, i druga – mniejsza, o napędzie w pełni elektrycznym. Szczegółowe parametry platform określono na podstawie wyżej opisanych wymagań, analizy podobnych konstrukcji dostępnych na rynku oraz doboru układów napędowych.







Założono, że efektywnym rozwiązaniem będzie zaprojektowanie uniwersalnej części nośnej platformy, przewidzianej do zastosowania napędu hybrydowego i jednocześnie spełniającej wymagania stawiane BSP 1A. Natomiast do części nośnej będzie montowana jedna z czterech zaprojektowanych sekcji dolnych, dedykowanych dla realizacji zadań pozostałych BSP. W razie potrzeby platformę taką będzie można wyposażyć w zasilanie elektryczne, co może okazać się pomocne w przypadku testowania działania systemu BSP oraz wyposażenia zadaniowego.

3. ANALIZA ROZWIĄZAŃ KONSTRUKCYJNYCH DOSTĘPNYCH NA RYNKU

Poniżej przedstawiono zestawienie dostępnych na rynku platform bezzałogowych. Konstrukcje te zostały podzielone na trzy kategorie pod względem rodzaju zastosowanego układu napędowego:



- z napędem elektrycznym (tabela 4);
- z napędem hybrydowym (elektryczny/wodór) (tabela 5);
- z napędem hybrydowym (elektryczny/benzyna) (tabela 6).

Tabela 4. Platformy z napędem elektrycznym

| Parametry | Yangda YD6 1600S ¹¹ | M600 WP ¹² | Cóndor ¹³ | M8FA ¹⁴ | Thor X4 ¹⁵ | DJI Matrice 600 ¹⁶ |
|----------------------------|---|---|---|---|--|---|
| Sylwetka |  |  |  |  |  |  |
| Wymiary [mm] | ø1600 (bez śmigieł) | ø1287 (bez śmigieł) | – | ø1280 (bez śmigieł) | ø1480 (ze śmigłami) | ø1133 (bez śmigieł) |
| Średnica śmigła | ø29' x 8,7' | ø22' x 6,6' | – | ø18' | – | ø21' |
| Maks. masa startowa | 25 kg | 15 kg | 14,9 kg | 20 kg | 20 kg | 15,5 kg |
| Masa pustej platformy | – | 11 kg | 9,9 kg | 15 kg | 15,5 kg | 10 kg |
| Maks. masa ładunku | 5 kg | 4 kg | 5 kg | 5 kg | 4,5 kg | 5,5 kg |
| Maks. prędkość przelotowa | 72 km/h (20 m/s) | 70 km/h (19,5 m/s) | 58 km/h (16 m/s) | 36 km/h (10 m/s) | 30 km/h (8 m/s) | 64 km/h (17,8 m/s) |
| Czas zawisu / masa ładunku | 61 min / 2 kg 47 min / 5 kg | 44 min / 1,5 kg | 26 min / 5 kg | 50 min bez ładunku | 15 min / 4,5 kg | 18 min / 5,5 kg |
| Napęd | 6 silników BLDC | 6 silników BLDC | 6 silników BLDC | 8 silników BLDC | 4 x 2 silniki BLDC | 6 silników BLDC |
| Akumulatory | 2 x LIPO 6S 25000 mAh | 2 x LIPO 6S 25000 mAh | – | 3 x 22000 mAh | 2 x 22000 mAh | 6 x 6S 5700 mA |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kart katalogowych producentów.

Tabela 5. Platformy z napędem hybrydowym (elektryczny/wodór)

| Parametry | Doosan DS30 ¹⁷ | Carrier H6 Hydrone ¹⁸ |
|-----------------------------|---|---|
| Sylwetka |  |  |
| Wymiary [mm]: | 1990 x 1990 x 750 (bez śmigieł) | ø 2365 x 692 (ze śmigłami) |
| Średnica śmigła | – | ø 29' |
| Maks. masa startowa | 24,9 kg | 23 kg |
| Masa pustej platformy | – | 14,5 kg |
| Maks. masa ładunku | – | 5 kg |
| Maks. prędkość przelotowa | – | 54 km/h (15 m/s) |
| Czas zawisu / masa ładunku | 2 h bez ładunku | 1,5 h / 5 kg |
| Napęd | 8 silników BLDC | 6 silników BLDC |
| Moc generatora | 5 kW (DP30) | max. 8 kW; 2,4 kW przy pracy ciągłej |
| Akumulatory | 2 x 6S (2600 mAh) | 12S |
| Paliwo (zbiornik) | H2 (-) | H2 (10,8 L) |
| Temperatury operacyjne [°C] | 0 / 35 | – |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kart katalogowych producentów.

¹¹ <https://www.yangdaonline.com/yangda-yd6-1600l-heavy-lift-hexacopter/> [dostęp: 2.08.2023].

¹² <https://www.embention.com/product/m600-multirotor/> [dostęp: 2.08.2023].

¹³ <https://www.dronetools.es/index.php#> [dostęp: 2.08.2023].

¹⁴ <https://hse-uav.com/product/commercial-drone-m6fa/> [dostęp: 2.08.2023].






¹⁵ <https://www.aerialtechnology.com/> [dostęp: 2.08.2023].

¹⁶ <https://www.dji.com/pl/matrice600-pro> [dostęp: 2.08.2023].

¹⁷ <https://www.doosanmobility.com/en/> [dostęp: 2.08.2023].

¹⁸ <https://www.harrisaerial.com/harris-carrier-h6-hydrone/> [dostęp: 2.08.2023].

Tabela 6. Platformy z napędem hybrydowym (elektryczny/benzyna)

| Parametry | Hybrix 2.1 ¹⁹ | Yangda YD6 1600L ²⁰ | Hybrid AeroHyb ²¹ | Carrier H6 Hybrid HE+ ²² | GAIA 160HY Hybrid ²³ |
|-----------------------------|---|---|---|---|--|
| Sylwetka |  |  |  |  |  |
| Wymiary [mm] | 914 x 845 x 510 (bez śmigieł) | ∅1600 (bez śmigieł) | 2250 x 2250 x 335 (ze śmigłami) | 2326 x 2351 x 541 (ze śmigłami) | ∅1600 (bez śmigieł) |
| Średnica śmigła | ∅ 30' | ∅ 29' | – | ∅ 29' | 30' x 10' |
| Maks. masa startowa | 25 kg | 24 kg | 19 kg | 23 kg | 21 kg |
| Masa pustej platformy | 13 kg | 11,9 kg | 10,5 kg | 14,5 kg | 15,5 kg |
| Maks. masa ładunku | 10 kg | 7,8 kg | 5 kg | 6 kg | 2,5 kg |
| Maks. prędkość przelotowa | – | 40 km/h (11 m/s) | 54 km/h (15 m/s) | 54 km/h (15 m/s) | 54 km/h (15 m/s) |
| Czas zawisu / masa ładunku | 2 h / 10 kg 4 h / 5 kg | 100 min / 7,8 kg | 2 h / 5 kg | 1 h / 6 kg 2,5 h / 4 kg | 3 h / 2,5 kg |
| Napęd | 4 silniki BLDC | 6 silników BLDC | 6 silników BLDC | 6 silników BLDC | 6 silników BLDC |
| Moc generatora | – | 3,6 kW | – | 2,4 kW | 2 kW |
| Akumulatory | LIPO 6S (25V) | LIPO 12S (50V) | 12S (50V) | 12S (50V) | 2 x 6S 3300 mAh |
| Paliwo (zbiornik) | Pb 95 + 4% ON (-) | Pb 95 + 4% ON (5.7 L) | Pb 95 + 4% ON (5 L) | Pb 95 + 4% ON (4.3 L) | Pb 95 + 4% ON (4 L) |
| Temperatury operacyjne [°C] | -10 / 45 | – | -20 / 40 | -20 / 40 | – |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z kart katalogowych producentów.

Po przeanalizowaniu parametrów poszczególnych platform stwierdzono, iż większość dużych BSP posiada 6 wirników nośnych. Rozwiązanie takie zapewnia większą niezawodność BSP, gdyż w przypadku awarii jednego z silników napędowych umożliwia kontrolowane lądowanie platformy.

Ponadto, platformy z napędem elektrycznym w porównaniu z tymi z napędem hybrydowym, pomimo podobnego udźwigu, mają krótszy czas lotu. W przypadku BSP Yangda YD6-1600S i Yangda YD6-1600L z generatorem 3,6 kW istnieje wyraźna różnica, mimo że są to konstrukcje na bazie tego samego kadłuba. Wersja elektryczna przy masie płatnej 5 kg może latać 47 minut, w przypadku wersji hybrydowej z ładunkiem

¹⁹ <https://www.quaternium.com/uav/hybrix-drone/> [dostęp: 2.08.2023].

²⁰ <https://www.yangdaonline.com/yangda-yd6-1600l-gas-electric-hybrid-hexacopter/> [dostęp: 2.08.2023].

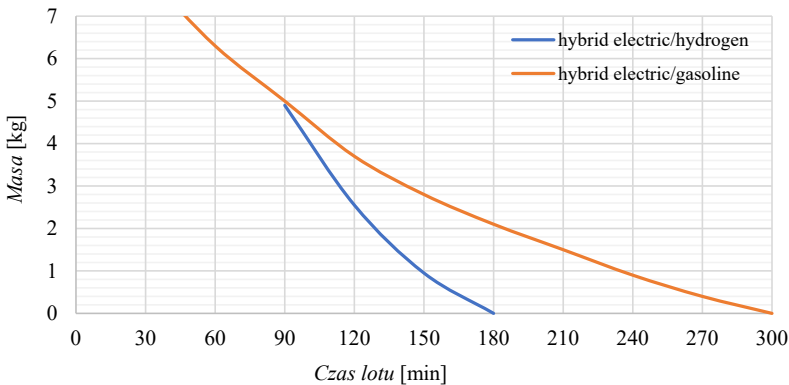
²¹ <https://dronehibrido.com/en/> [dostęp: 2.08.2023].

²² <https://www.harrisaerial.com/harris-carrier-h6-hydrone/> [dostęp: 2.08.2023].

²³ <https://www.foxtechfpv.com/gaia-160-hybrid-hexacopter-arf-combo.html> [dostęp: 2.08.2023].

7,8 kg czas lotu wynosi 100 minut. W wyniku analizy oszacowano, że średni czas lotu BSP z napędem elektrycznym wynosi około 30 minut.

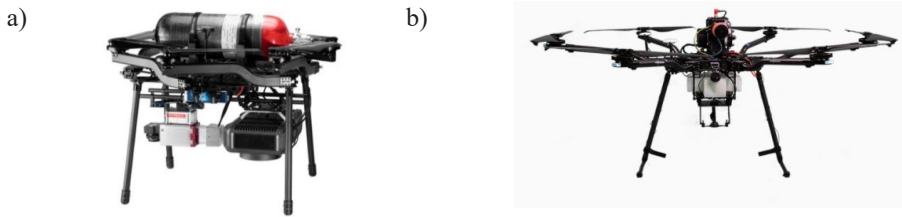
Dodatkowo warto zauważyć, że większość platform z napędem hybrydowym posiada napięcie zasilania 50 V. W oparciu o dane z wykresów dostarczonych przez Harris Aerial dla platform Carrier H6 Hybrid HE+ i Carrier H6 Hydrone można oszacować przybliżony czas lotu w zależności od wielkości masy płatnej dla platform z napędem hybrydowym (elektryczny/benzyna i elektryczny/wodór) przy porównywalnej mocy generatora zarówno na wodór, jak i benzynę. Na podstawie zamieszczonego wykresu (rys. 2) oszacowano, że wyżej wymienione platformy serii Carrier H6 z ładunkiem 4,2 kg będą przebywać w powietrzu odpowiednio: 110 minut – z generatorem na benzynę oraz 100 minut – z generatorem na wodór. Do spełnienia wymagania 120 minut lotu ładunek musiałby ważyć odpowiednio: 3,7 i 2,5 [kg]. Co więcej, w przypadku platform z generatorem na wodór konieczne jest zaopatrzenie się w dodatkowe zbiorniki z wodorem do transportu oraz system do przepompowania paliwa na BSP.



Rys. 2. Zależności czasu lotu od masy płatnej BSP Carrier H6 Hybrid HE+ i Carrier H6 Hydrone

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Harris Aerial, <https://www.harrisairal.com/harris-carrier-h6-hydrone/> [dostęp: 2.08.2023].

Analizując rozwiązania konstrukcyjne w zakresie umieszczenia dodatkowego generatora do napędu hybrydowego warto zauważyć, że w platformach Doosan DS3, Hybrix 2.1 i Hybrid AeroHyb generator został umieszczony nad kadłubem BSP, a w pozostałych analizowanych konstrukcjach zamontowano go pod kadłubem – jednocześnie odsuwając go od osi platformy w celu wyważenia BSP wraz z podczepioną masą płatną. Natomiast zbiornik paliwa może być zamontowany w centralnej sekcji kadłuba, niezależnie od umiejscowienia generatora albo pod kadłubem, gdy generator jest zamontowany nad lub w odwrotnej konfiguracji. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne BSP umieszczenia generatora w napędzie hybrydowym przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Zamocowanie generatorów w napędzie hybrydowym BSP: a) Carrier H6 Hydrone – od dołu odsunięty od osi ze skanerem 3D jako przeciwwagę i zbiornikiem paliwa na górze; b) Hybrid AeroHyb – na górze kadłuba ze zbiornikiem paliwa pod kadłubem
Źródło: a) <https://www.harrisaerial.com/harris-carrier-h6-hydrone/> [dostęp: 2.08.2023]; b) <https://drone-hibrido.com/en/> [dostęp: 2.08.2023].

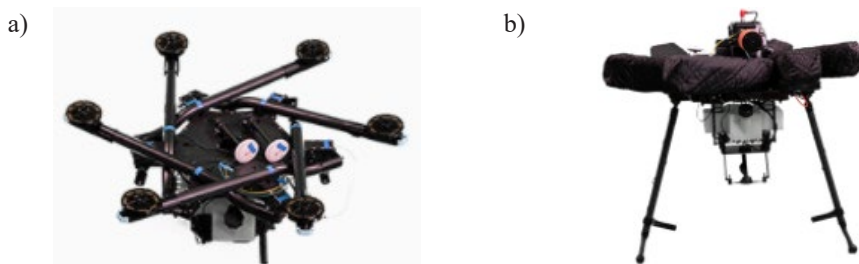
Szczególnie ważną funkcjonalnością dla BSP jest odpowiednie przygotowanie zestawu do transportu. Pośród analizowanych konstrukcji najczęściej występującymi rozwiązaniami są:

- demontowanie ramion od kadłuba – ramiona mają wtedy przekrój kołowy, blokowane są za pomocą nakrętki na ramieniu lub sworzni blokujących, np. w konstrukcjach: Yangda YD6-1600L, Hybrix 2.1 czy M600WP (rys. 4).



Rys. 4. BSP Hybrix 2.1 w skrzyni transportowej ze zdemontowanymi ramionami
Źródło: Guaternium, <https://www.quaternium.com/uav/hybrix-drone/> [dostęp: 2.08.2023].

- składanie ramion poprzez zastosowanie zawiasu – blokowanie odbywa się przez sworznie lub śrubę. Przykładowe konstrukcje: Carrier H6 Hybrid HE+, Dron Hybrid AeroHyb, Doosan DS3 (rys. 5).



Rys. 5. BSP Hybrid AeroHyb: a) ze złożonymi ramionami; b) przygotowana do transportu

Źródło: Harris Aerial, <https://www.harrisaerial.com/harris-carrier-h6-hydrone/> [dostęp: 2.08.2023].

4. PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE

Na podstawie zgromadzonych danych, wytycznych zawartych w dokumentacji inicjującej projekt oraz wyników przeprowadzonych analiz wypracowano rozwiązanie polegające na zaprojektowaniu jednej, uniwersalnej struktury nośnej platformy w układzie sześciowirnikowym z napędem hybrydowym (elektryczny/benzyna) o udźwigu dedykowanym do zadań BSP 1A i wymiennych sekcjach dolnych w zależności od zadań przypisanych także do BSP poziomu 2.

Zastosowanie większej platformy do zadań poziomu 2. pozwoli na wydłużenie czasu lotu ponad zakładane wstępnie 40 minut. Potencjalnie umożliwi to lepsze zagospodarowanie BSP poziomu 2. poprzez możliwość dotarcia do większej liczby poszkodowanych żołnierzy w ramach wykonywania jednego zadania. Ponadto w wyniku przeprowadzonych analiz ustalono, że zakładana wstępnie maksymalna masa wyposażenia zadaniowego dla BSP poziomu 2. w przypadku BSP 2C zostanie przekroczona, co także wymusza zastosowanie platformy o większym udźwigu. Opisane rozwiązanie zostało uznane za najlepsze w odniesieniu do planowanych testów poligonowych, ponieważ umożliwi łatwe wprowadzanie zmian w konfiguracji ostatecznego wyposażenia zadaniowego poszczególnych BSP.

W związku z powyższym, na bazie wypracowanych założeń funkcjonalno-konstrukcyjnych zaprojektowano jedną, uniwersalną część nośną BSP, dedykowaną do zastosowania napędu hybrydowego (elektryczny/benzyna), a także umożliwiającą zastosowanie tylko napędu elektrycznego. Zaprojektowana platforma BSP posiada konstrukcję umożliwiającą podłączenie wyposażenia zadaniowego dla każdego spośród wielowirnikowych BSP poziomu 1. i 2.

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie założeń opisanych w punkcie 3 opracowano uniwersalną wielowirnikową platformę nośną dla systemu MilGeoMed, w dwóch wersjach (rys. 6), o następujących parametrach zamieszczonych w tabeli 7.

Tabela 7. Parametry platformy elektrycznej i hybrydowej (elektryczny/benzyna)

| Parametr | Platforma elektryczna | Platforma z napędem hybrydowym |
|---|---------------------------------------|--------------------------------|
| Rozpiętość całkowita | 2350 mm | 1600 mm |
| Średnica wirników | 762 mm (G30" x 10,5" SCF) | 711 mm (28" x 9,2") |
| Zastosowane silniki | T-Motor U10 II KV100 | T-Motor MN805-S KV150 |
| Zastosowane śmigła | T-Motor Alpha 60A 12S V1.2 | T-Motor 80A HV 12V |
| Zastosowany akumulator | 12S (44 Ah) | 12S (10 Ah) |
| Masa własna | 3,2 kg | 18,9 kg |
| Masa paliwa | – | 7,6 kg (10,37 L) |
| Masa akumulatora | 7,2 kg (2 akumulatory o masie 3,6 kg) | 2,73 kg |
| Masa ładunku użytecznego | 2,6 kg | 3 kg |
| Masa całkowita (bez urządzeń zadaniowych) | 13 kg | 32,23 kg |
| Prędkość nawigacyjna | 29 km/h | 22 km/h |
| Prędkość maksymalna | 40 km/h | 36 km/h |
| Maksymalny czas lotu z udźwigiem | 45 min | 2,5 h |

Źródło: opracowanie własne.

Parametry zastosowanego w napędzie hybrydowym platformy BSP generatora pokładowego są następujące:

- moc maksymalna: 7 KM;
- pojemność silnika spalinowego: 70 cm³;
- masa generatora: 8,93 kg (z płynem chłodzącym);
- pojemność zbiornika paliwa: 10,4 L.

W artykule opisano proces opracowywania platform wielowirnikowych przeznaczonych do realizacji zadań BSP 1A, 2A, 2B i 2C w systemie MilGeoMed. Zebrano i szczegółowo przedstawiono wymagania stawiane każdej z platform, przeanalizowano zebrane wymagania, dokonano analizy rozwiązań dostępnych na rynku i na tej podstawie określono założenia konstrukcyjne dla BSP. Przedstawiono również proces tworzenia projektu koncepcyjnego, w tym opisano inne niż zastosowane koncepcje, zestawiając wady i zalety poszczególnych rozwiązań. Opracowano także szczegółowy projekt kompletu elementów konstrukcyjnych platform, umożliwiających realizację postawionych zadań.

a)





Rys. 6. Sylwetki opracowanej platformy BSP systemu MilGeoMed w wersji: a) z napędem elektrycznym; b) z napędem hybrydowym (elektryczny/benzyna)

Źródło: archiwum ITWL.

Na podstawie zebranego materiału można stwierdzić, iż system MilGeoMed znajduje swoje miejsce w zastosowaniach wojskowych jako komponent systemu logistycznego wsparcia pola walki, wspomagający zadania wykonywane na różnych poziomach zabezpieczenia medycznego. Po modyfikacjach może również stanowić narzędzie wspierające służby porządku publicznego w działaniach zarządzania kryzysowego w przypadkach katastrof masowych czy klęsk żywiołowych oraz ataków terrorystycznych.

Praca finansowana ze środków NCBR jako projekt B+R nr DOBSZAFIR/09/A/010/01/2020 realizowany w ramach Programu na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa pn. Rozwój nowoczesnych, przełomowych technologii służących bezpieczeństwu i obronności państwa, pk. SZAFIR konkurs nr 1/SZAFIR/2020 w latach 2022–2024.

BIBLIOGRAFIA

Byung Duk Song, Kyungsu Park, Jonghoe Kim, Persistent UAV delivery logistics: MILP formulation and efficient heuristic, „Computers & Industrial Engineering” 2018, vol. 120, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.013>.

Dokumentacja inicjująca projekt systemu MilGeoMed, ITWL, Warszawa 2020.

Fisher N., Gilbert G.R., Medical Robotic and Autonomous System Technology Enablers for the Multi-Domain Battle 2030–2050, „Small Wars Journal”, 22.07.2017, <https://smallwarsjournal.com/jrnl/art/medical-robotic-and-autonomous-system-technology-enablers-for-the-multi-domain-battle-2030-2050>.

<https://dronehibrido.com/en/>.

<https://hse-uav.com/product/commercial-drone-m6fa/>.

<https://www.aerialtechnology.com/>.

<https://www.ceeol.com/search/chapter-detail?id=824914>.

<https://www.dji.com/pl/matrice600-pro>.

<https://www.doosanmobility.com/en/>.

<https://www.dronetools.es/index.php#>.

<https://www.embention.com/product/m600-multirotor/>.

<https://www.foxtechfpv.com/gaia-160-hybrid-hexacopter-arf-combo.html>.

<https://www.harrisaerial.com/harris-carrier-h6-hydrone/>.

<https://www.yangdaonline.com/yangda-yd6-1600l-gas-electric-hybrid-hexacopter/>.

<https://www.yangdaonline.com/yangda-yd6-1600l-heavy-lift-hexacopter/>.

<https://www.quaternium.com/uav/hybrix-drone/>.

Jacyna-Gołda I., Shmygol N., Gavkalova N., Salwin M., Sustainable Development of Intermodal Freight Transportation – Through the Integration of Logistics Flows in Ukraine and Poland, „Sustainability” 2024, nr 16(1), <https://doi.org/10.3390/su16010267>.

Jeler G.E., The use of autonomous systems for evacuation and medical support, [w:] International Scientific Conference Strategies XXI. The Complex and Dynamic Nature of the Security Environment, vol. 1, nov. 2019.

Lammers D.T., Williams J.M., Conner J.R., Baird E., Rokayak O., McClellan J.M. i in., Airborne! UAV delivery of blood products and medical logistics for combat zones, „Transfusion” 2023, nr 63(S3), <https://doi.org/10.1111/trf.17329>.

Li Yi, Min Liu, Dandan Jiang, Application of Unmanned Aerial Vehicles in Logistics: A Literature Review, „Sustainability” 2022, vol. 14, nr 21, <https://doi.org/10.3390/su142114473>.

McKnight G., Palmer M., Khan M., The use of Unmanned Aerial Vehicles for CASEVAC in the future urban and littoral environments, „Journal of The Royal Naval Medical Service” 2019, nr 105, <http://dx.doi.org/10.1136/jrnms-105-29>.

Rana K., Praharaj S., Nanda T., Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): An Emerging Technology for Logistics, „Int. J. Bus. Manag. Invent.” 2016, nr 5.

Szulc T., Possibilities of using unmanned combat assets in tactical operations in the mountains, „Scientific Journal of the Military University of Land Forces” 2023, nr 55(208), DOI: 10.5604/01.3001.0053.7270.