

Kryteria wyboru bezzałogowych statków powietrznych do zadań inspekcji i transportu

Mateusz Kubat, Paweł Smyczyński, Grzegorz Granosik

Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki, ul. Bohdana Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź

Streszczenie: W artykule porównano różne typy bezzałogowych pojazdów latających przeznaczonych do zadań transportu oraz inspekcji. Rozpatrzono wielowirnikowce, samoloty, helikoptery oraz rozwiązania hybrydowe łączące cechy pozostałych typów. Każdy z typów pojazdów został scharakteryzowany przez maksymalny udźwig, zasięg, wyjątkowe cechy wyróżniające go na tle innych, złożoność konstrukcji oraz sposób sterowania. Porównanie to zostało wykonane na podstawie analizy literaturowej oraz własnego doświadczenia zdobytego podczas licznych zawodów związanych z zadaniami inspekcyjnymi, ratunkowymi i transportowymi. Zadania przygotowane na zawody wymagały pojazdów o pełnej lub częściowej autonomii. Pojazdy uwzględnione w analizie mieszczą się w skali od mikro- do taktycznych pojazdów bezzałogowych krótkiego zasięgu. Wyniki zebrano w tabeli, która podsumowuje zestaw cech każdego pojazdu, co umożliwia ocenę przydatności każdego z rozwiązań. Efektem jest koncepcja własna bezzałogowego pojazdu latającego, która łączy zalety innych konstrukcji starając się jednocześnie wyeliminować największe wady i dając szansę na zastosowanie w aplikacjach inspekcyjnych i transportowych.

Słowa kluczowe: BSP, Bezzałogowe Pojazdy Latające, transport, inspekcja, hybrydowe BSP

1. Wprowadzenie

Zastępowanie człowieka w pracach niebezpiecznych i monotonicznych to podstawowe zadania robotyki. W obszarze robotów przemysłowych działania te obserwujemy od ponad pół wieku, początkowo w postaci systemów teleoperowanych, przemysłowych robotów manipulacyjnych, aż po autonomiczne systemy transportowe wewnątrz fabryk i magazynów. Wypracowywane technologie pojawiają się także w środowiskach pojazdów latających i pływających oraz urządzeń manipulacyjnych działających w tychże obszarach. Również bezzałogowe statki powietrzne (lub BSP) są beneficjentem metod sterowania, interfejsów i systemów sensorycznych wypracowywanych w obszarze robotyki. Oczywiście przenikanie technologii jest dwukierunkowe, wiele technologii materiałowych czy systemów bezpieczeństwa rozwijało się najpierw na potrzeby lotnictwa.

Transport lotniczy oraz inspekcja (inwigilacja) z powietrza są powszechnie stosowane ze względu na szybkość działania, brak ograniczeń właściwych dla pojazdów naziemnych, możliwość dotarcia w odległe i trudno dostępne miejsca (odcięte przez warunki naturalne, np. góry, lasy, jak również gęsto zabudowane

aglomeracje miejskie) – z góry widać więcej i lepiej. Transport lotniczy ma jednak istotne ograniczenia – przede wszystkim związane z uzależnieniem od warunków pogodowych, oferuje mniejszą ładowność a przy tym wiąże się ze znacznie wyższymi kosztami lotu niż w przypadku transportu lądowego. Należy zwrócić uwagę, że koszty są wysokie w przypadku lotnictwa załogowego, ale wykorzystując bezzałogowe pojazdy latające można znacznie ograniczyć ten czynnik. Również w przypadku BSP możliwe jest wykonywanie lotu przez teoretycznie nieograniczony czas spowodowany brakiem załogi na pokładzie (i jej zmęczeniem), a limity maksymalnego czasu lotu wynikają jedynie z parametrów konstrukcyjnych maszyny i ograniczeń technologicznych.

Pod koniec lat 70. ubiegłego stulecia Izrael jako pierwszy skutecznie zastosował bezzałogowe pojazdy latające Scout do zwiadu lotniczego. Od tego czasu zastosowania militarne są ciągle rozwijane i rządzą się zdecydowanie innymi prawami niż aplikacje cywilne. Współcześnie, zdalnie sterowane pojazdy latające stosowane są podczas robienia zdjęć z powietrza, gdzie koszt lotu BSP jest nieporównywalnie niższy niż przy użyciu helikoptera z pilotem [1, 2]. Wymienione zalety transportu lotniczego, przy akceptacji ograniczeń, mogą zostać wykorzystywane także w zadaniach inspekcyjnych, np. mostów [11], linii transmisyjnych [12] czy farm słonecznych [13, 14]. Interesującymi są zastosowania w rolnictwie, gdzie wykorzystuje się fotointerpretację, analizę danych przestrzennych o polu i glebie, określanie pozycji sprzętu rolniczego, a użycie BSP pozwala na inspekcję nawet do 500 ha terenu dziennie [23]. Warto zwrócić uwagę na możliwość zastosowania dronów w działaniach ratowniczych zarówno do dystrybucji różnych przedmiotów w strefie niebezpiecznej [3], jak i oceny sytuacji. Można wskazać transport środków pierwszej

Autor korespondujący:

Mateusz Kubat, mateuszkbt@gmail.com

Artykuł recenzowany

nadesłany 18.07.2018 r., przyjęty 02.10.2018 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

pomocy, takich jak AED, do których dostęp jeszcze przed przybyciem pomocy medycznej może mieć kluczowe znaczenie dla życia poszkodowanego [8, 9]. Szczególne zastosowanie BSP mogą znaleźć w medycynie [4, 5] gdzie mogą mieć pozytywny wpływ na zmniejszenie kosztów transportu i zwiększenie dostępności produktów [6] – wykazana została np. możliwość wykorzystania pojazdów wielowirnikowych do transportu krwi [7]. Interesujący jest również wpływ na środowisko, zastosowanie BSP w zadaniach transportowych może pozytywnie wpływać na redukcję emisji CO₂ [10], co jest niezwykle istotne przy obowiązujących normach prawnych.

Upowszechnienie BSP jako środka inspekcji i transportu jest oczywiście w największym stopniu ograniczone przepisami regulującymi ruch lotniczy, ale te są coraz bardziej łagodzone [22] i dostosowywane do potrzeb różnych dziedzin gospodarki, o czym piszemy w dalszej części pracy. Drugim istotnym czynnikiem może być niedostateczna wiedza na temat różnorodności bezzałogowych statków powietrznych, ich zasadniczych cech oraz predyspozycji do określonych zadań. Ten ostatni element jest zasadniczym przedmiotem przedstawionej tutaj analizy, prowadzącej do propozycji rozwiązania hybrydowego właściwego dla określonych zadań inspekcji i transportu, realizowanych przede wszystkim w obszarze średnich i dużych aglomeracji oraz np. monitorowania linii przesyłowych.

2. Przegląd klas bezzałogowych pojazdów latających

Pojazdy latające, także w wykonaniu bezzałogowym, nie są jednolitą grupą, na co warto, naszym zdaniem, zwrócić uwagę, szczególnie w kontekście zastosowań inspekcyjnych i transportowych. W artykule porównywane są różne typy statków powietrznych, zaś źródłem wiedzy jest przegląd literatury przedmiotu oraz doświadczenie, jakie zdobyliśmy podczas projektowania, wykonywania lotów na własnych pojazdach bezzałogowych oraz podczas uczestnictwa w licznych zawodach związanych z zadaniami inspekcyjnymi, ratunkowymi i transportowymi (np. Droniada, ERL Emergency Robots). Doświadczenie, które zdobyliśmy poskutkowało stworzeniem wytycznych dla autorskiego pojazdu bezzałogowego V/STOL (ang. *vertical and short take-off and landing*), który chcemy wykorzystać w misjach transportu oraz inspekcji lotniczej.

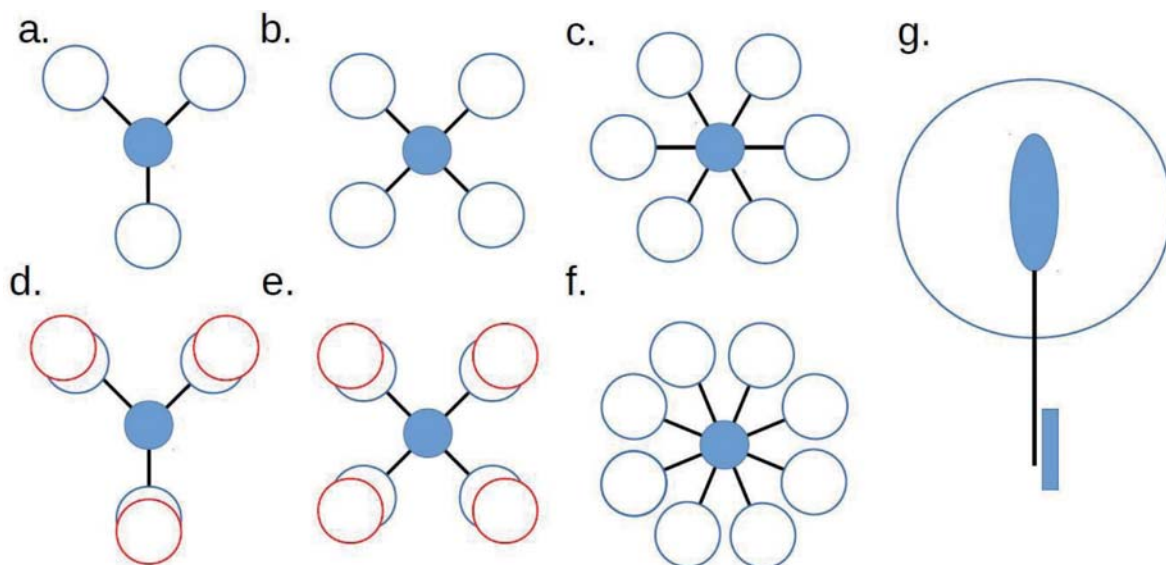
Według klasyfikacji BSP zamieszczonej w “Handbook of Unmanned Aerial Vehicles” [15] klasy dronów, jakie rozważamy i jakimi się zajmujemy mieszczą się w przedziale: od mikrodronów do taktycznych pojazdów bezzałogowych krótkiego zasięgu (ang. *Tactical Close Range*). Z kolei według klasyfikacji autonomii (zamieszczonej w tej samej publikacji [15]), pojazdy nasze reprezentują piąty poziom autonomii (ang. *Real Time Multi-Vehicle Coordination*).

2.1. Wielowirnikowce

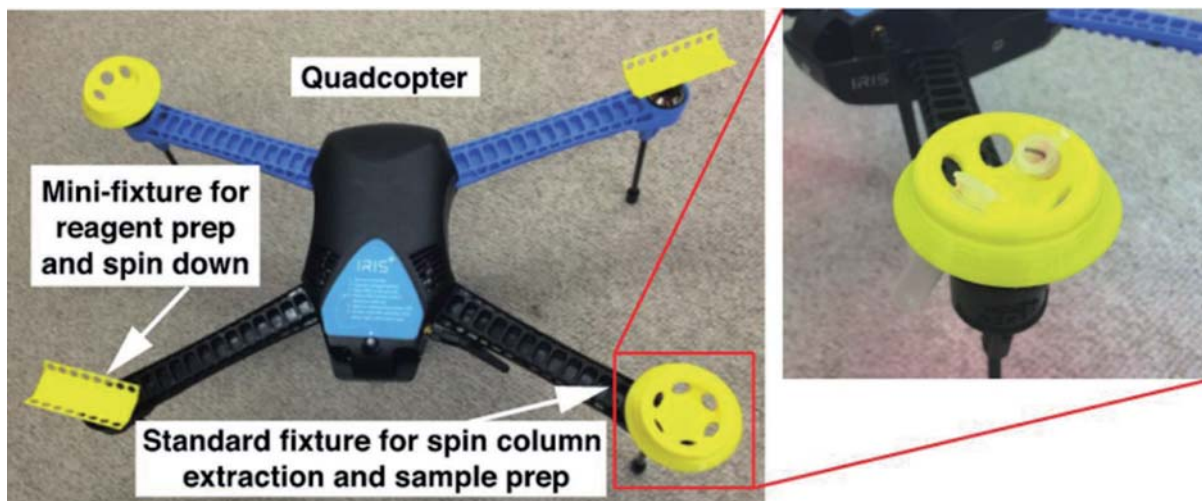
To chyba najbardziej znane ostatnio bezzałogowe pojazdy latające (quadcoptery, hexacoptery itp.) o dość prostej konstrukcji w postaci kadłuba wyposażonego w układ wirników napędzanych silnikami, charakteryzujące się brakiem powierzchni nośnych. Pojazdy te są łatwe w pilotażu, ale mają istotne niedogodności związane z ograniczonym udźwigniem, prędkością i czasem bezobsługowej pracy. Bardzo istotną cechą jest możliwość pionowego startu i lądowania, przez co znajdują zastosowanie w zadaniach transportowych oraz zdolność zawisu przydatną podczas inspekcji [2].

Główną niedogodnością tych pojazdów jest duże zapotrzebowanie na moc związane z brakiem powierzchni nośnych, a jedynym źródłem siły nośnej są śmigła napędzane przez silniki. Nie dość, że za cały udźwign odpowiada zespół napędowy, to aby ustabilizować lot napędy ciągle zmieniają swoją prędkość obrotową, co w konsekwencji prowadzi do strat energetycznych. Częściowo można zniwelować straty stosując śmigła o większej średnicy, jednak takim rozwiązaniem jednocześnie zwiększamy bezwładność zespołu napędowego. Ta niedogodność ma również wpływ na maksymalny udźwign oraz na realny brak możliwości bezpiecznego lądowania w przypadku awarii układu napędowego lub uszkodzenia akumulatorów czy braku paliwa.

Aby możliwy był lot wielowirnikowca, musi być wyposażony w kontroler lotu, który może ustabilizować pojazd w powietrzu (przez koordynację pracy wszystkich napędów, niewykonalną przez człowieka). Należy pamiętać, że dzięki współczesnej elektronice i czujnikom MEMS (ang. *Micro Electro Mechanical Systems*) loty tego typu statków powietrznych są możliwe. W przypadku samolotów czy helikopterów wystarczająco statecznych, kontroler nie jest wymagany w zadaniu zdalnego sterowania (oczywiście będzie niezbędny, jeśli mówimy o lotach autonomicznych).



Rys. 1. Struktury pojazdów latających wielowirnikowych: a. układ Y; b. quadcopter; c. hexacopter; d. Y6; e. X8; f. octocopter; g. helikopter
Fig. 1. Multirotor air vehicle structures: a. Y structure; b. quadcopter; c. hexacopter; d. Y6; e. X8; f. octocopter; g. helicopter



Rys. 2. Mobilne laboratorium [16]
Fig. 2. Mobile laboratory

Redundancja, jaką może zapewnić wielowirnikowiec, zależy od liczby silników i ich układu (rys. 1). W przypadku układu o trzech lub czterech wirnikach, strata jednego napędu powoduje, że pojazd taki nie będzie mógł się utrzymać w powietrzu. Jeśli jednak ta sama sytuacja wydarzy się w układzie sześciowirnikowym, to jak pokazuje nasze doświadczenie lot oraz bezpieczne lądowanie będzie dalej możliwe do wykonania. Należy zwrócić uwagę na duże bezpieczeństwo wielowirnikowców w układzie X8. Jest to układ drona o czterech ramionach, na końcach których znajdują się po dwa silniki pracujące przeciwnie. Układ ten zapewnia bardzo dobrą stabilność oraz jest bardzo odporny na utratę napędu. Jeśli jeden z silników zostanie uszkodzony, pojazd nie traci punktu podparcia. Zaletą tego rozwiązania jest również uproszczona konstrukcja (ma tylko cztery ramiona) oraz stosunkowo niewielkie gabaryty porównując do wielowirnikowca wyposażonego w osiem napędów na ośmiu niezależnych ramionach (rys. 1f). Podobną redundancję zaobserwujemy dla układu Y6 w porównaniu do układu hexacoptera.

Jeśli weźmiemy pod uwagę konstrukcję mechaniczną wielowirnikowca, to jest ona niezwykle prosta. Zazwyczaj budowa takiego pojazdu polega na stworzeniu centralnego mocowania lub płyty (ang. *centerplate*), do którego mocowane są wszystkie ramiona (zazwyczaj od 3 do 6), podwozie oraz reszta wymaganej elektroniki i systemów. Ta prostota sprawia, że pojazdy można łatwo modyfikować do różnego typu zadań. Doskonałym przykładem jest projekt mobilnego laboratorium (rys. 2), w którym pojazd nie tylko transportuje urządzenie, ale po prostej modyfikacji stanowi jego część [16].

Sterowanie wielowirnikowców polega na zsynchronizowanej regulacji ciągu każdego z napędów, za co odpowiedzialny jest kontroler lotu. Dopracowane układy sterowania sprawiają, że tego typu konstrukcje są niezwykle stabilne i proste w pilotażu, a dodatkowo wykorzystując system GPS potrafią niezwykle precyzyjnie autonomicznie utrzymywać swoją pozycję nawet przy silnym wietrze.

2.2. Helikoptery

Niewątpliwą zaletą helikopterów jest możliwość pionowego startu oraz lądowania. Pozwala to na operowanie z nieprzygotowanych lądowisk oraz brak potrzeby budowania pasów startowych. Dzięki możliwości zawisu pozwalają na działania nawet w gęsto zabudowanym terenie oraz doskonale sprawdzają się w misjach ratunkowych. Możliwość ta jednak powoduje znacznie większe zapotrzebowanie na energię w porównaniu do płatowców (omówionych w kolejnej sekcji),

a co za tym idzie osiągają znacznie mniejsze zasięgi działania. Ponieważ cała siła nośna generowana jest jedynie z wykorzystaniem zespołu napędowego wirnika nośnego, maksymalny udźwig wynika z jego mocy. Ograniczenia wirnika nośnego wpływają również na maksymalny pułap, jaki może osiągnąć helikopter oraz na maksymalną prędkość przelotową. Należy zwrócić uwagę na to, że mimo strat energetycznych, są one niższe niż w przypadku wielowirnikowców.

System sterowania wirnikiem helikoptera jest znacznie bardziej skomplikowanym mechanizmem niż ma to miejsce w wielowirnikowcach. W klasycznym helikopterze wirnik główny obraca się ze stałą prędkością, a jego ciąg jest zmieniany przez zmianę kąta natarcia łopatek, co prowadzi do mniejszych strat energii. Obrót helikoptera jest realizowany na podobnej zasadzie (zmiany kąta natarcia łopatek), za pomocą wirnika ogonowego. Wirnik ogonowy pełni dodatkową funkcję niwelowania momentu obrotowego generowanego przez wirnik główny. Istnieją rozwiązania, w których stosuje się dwa wirniki główne, np. rozwiązanie Kamowa. Jeśli w helikopterze nastąpi awaria układu napędowego, możliwe jest bezpieczne wylądowanie dzięki wykorzystaniu zjawiska autorotacji.

Pilotowanie helikoptera jest zadaniem o podobnym poziomie trudności, jak w przypadku pojazdów wielowirnikowych, przy czym helikopter z natury swojej mechaniki jest konstrukcją stabilną, natomiast w wielowirnikowcach stabilność ta jest osiągana za pomocą zaawansowanych układów sterowania (a nie wynika z konstrukcji mechanicznej). Oczywiście oba typy pojazdów mogą być wyposażone w kontroler nadrzędny (autopilot) dodatkowo stabilizujący lot. Helikopter jest również bardziej zwrotny, ponieważ sterowanie odbywa się za pomocą zmiany skoku wirnika, a nie zmiany prędkości obrotowej wirnika, gdzie pojawiłaby się duża bezwładność układu. Ponieważ wirnik helikoptera jest bardziej wydajny, przekłada się to również na dłuższy czas lotu.

2.3. Samoloty

Dominującą zaletą statków powietrznych wyposażonych w skrzydła (płatowców), w stosunku do wcześniej omówionych BSP, jest znacznie większa prędkość lotu oraz maksymalny zasięg. Kolejną jest możliwość lotu w znacznie gorszych warunkach pogodowych oraz lot na dużej wysokości (choć dla małych dystansów byłby prawdopodobnie nieopłacalny). Warunkiem bezpiecznego lotu jest dobra pogoda panująca nad miejscem startu oraz lądowania, a jeśli lądowisko jest wyposażone w odpowiednie systemy nawigacji możliwe jest również lądowanie bez widoczności.

Niezwykle istotną cechą płatowców jest zdecydowanie większy maksymalny udźwieg. Cecha ta wynika z faktu, że siła nośna jest generowana przez skrzydła, a napęd jest wykorzystywany jedynie do nadania odpowiedniej prędkości. Siła nośna jest zależna od powierzchni skrzydeł, ich profilu, kąta natarcia, osrodka, w jakim się poruszamy oraz od prędkości przemieszczania się.

Lot samolotem jest znacznie bardziej efektywny energetycznie ze względu na to, że siła nośna nie pochodzi wprost od siły generowanej przez zespół napędowy, ale jest wytwarzana przez skrzydła. Dzięki znacznie większej efektywności, koszt lotu jest również znacznie niższy.

Wadą tego typu pojazdów jest brak możliwości lądowania w każdym terenie, zarówno jeśli chodzi o podłoże, jak i powierzchnię dostępnego miejsca. Trzeba pamiętać, że im cięższy samolot, tym większej prędkości potrzebuje, aby oderwać się od ziemi oraz jego dobieg również się wydłuża. Częściowym rozwiązaniem jest stosowanie odpowiedniej mechaniki skrzydła, oraz elementów typu sloty i klapy, które znacznie zwiększają siłę nośną skrzydeł. Pozwala to na lot z mniejszą prędkością, a co za tym idzie skrócenie startu i lądowania.

Sterowanie i pilotaż samolotów bezzałogowych z założenia jest niezwykle proste, za możliwość kontrolowania samolotu odpowiadają tzw. powierzchnie sterowe. Powierzchniami sterowymi nazywamy lotki, statecznik pionowy, statecznik poziomy (zapewniają odpowiednio kontrolę przechylenia, kierunku, pochylenia) lub też różnego rodzaju połączenia, np. w samolocie typu delta występują sterolotki, które służą do sterowania przechyleniem i wysokością. W przeciwieństwie do poprzednich konstrukcji nie jest wymagane skomplikowane sterowanie ciągiem (wielowirnikowce) czy też skomplikowany konstrukcyjnie mechanizm zespołu napędowego (helikopter).

2.4. Pojazdy hybrydowe

Podczas wielu lat badań i rozwoju lotnictwa inżynierowie podjęli wiele prób połączenia zalet helikopterów z zaletami, jakie mają płatowce, starając się jednocześnie zniwelować ich największe wady. Wiele z tych rozwiązań było bardzo niepraktycznych, były to zbyt skomplikowane konstrukcje, niewygodne w pilotowaniu, a osiągnięci odbiegały od klasycznych rozwiązań. Jednak po wielu latach badań i prób powstały konstrukcje, które są wykorzystywane wspólnie.

Dopracowane konstrukcje hybrydowe mają szereg unikatowych cech, które łączą możliwości pionowzłotów oraz samolotów. Najbardziej rozpoznawalnymi konstrukcjami, jakie możemy dzisiaj spotkać (konstrukcje załogowe) to brytyjski BAe (wcześniej Hawker Siddeley) Harrier, amerykańskie V-22 Osprey oraz F-35B.

Istnieją również konstrukcje bezzałogowych pojazdów tego typu. Ze względu na dużą różnorodność takich konstrukcji niemożliwe jest szczegółowe omówienie wszystkich z nich. Warto zaznaczyć, że w przypadku BSP najczęściej stosowane są modele z nieruchomym skrzydłem [17, 18] ze względu na znacznie prostszą konstrukcję niż pojazdy ze skrzydłem ruchomym – obracającym [19, 20] lub składanym [21].

Sterowanie takimi pojazdami może być znacznie bardziej skomplikowane ze względu na niestabilną fazę przejścia między lotem poziomym a pionowym. W tej fazie siła nośna jest generowana przez zespół napędowy i wraz ze zwiększaniem prędkości lotu coraz więcej siły nośnej jest generowane przez skrzydła, aż do pełnego lotu poziomego. Dodatkowymi utrudnieniami mogą być: zmienna masa pojazdu, warunki atmosferyczne, nierówne wyważenie pojazdu.

2.5. Obsługa BSP przez człowieka

Jeśli chcemy wykorzystać dowolny z systemów w lotach autonomicznych (pod tym pojęciem rozumiemy sterowanie wspól-

dzielone, np. autopilota) lub autonomicznych, to niezależnie od konstrukcji i sposobu sterowania wymagany jest kontroler lotu. Współczesne kontrolery pozwalają znacznie uprościć planowanie misji, a operator nie musi posiadać zaawansowanej wiedzy technicznej, aby uruchomić drona w podstawowej konfiguracji i dla prostych zadań. Bazując na kontrolerze Pixhawk operator musi dokonać wyboru układu BSP, wykonać kalibrację sensorów (akcelerometr, żyroskop, magnetometr) i konfigurację aparatury RC. Po tych czynnościach BSP jest gotowy do lotu. Również nie trzeba zbyt mocno wnikać w układ sterowania, ponieważ regulatory dla każdej osi można konfigurować za pomocą suwaka lub wykorzystać wbudowaną opcję autotuning, gdzie kontroler sam dobierze parametry regulatora PID. W przypadku planowania misji wystarczy zadać kolejne punkty na interaktywnej mapie, a następnie wystartować misję.

Jeśli BSP ma wykonywać bardziej zaawansowane zadania związane z transportem i inspekcją, wymagane jest zastosowanie komputera pokładowego, który jest jednostką nadrzędną nad kontrolerem lotu. Taki komputer zbiera informacje o wszystkich istotnych parametrach lotu oraz dane z systemu wizyjnego, a następnie przetwarza je w celu wydania odpowiednie polecenie dla kontrolera lotu. Dzięki takiej konfiguracji i wykorzystaniu odpowiednich sensorów można ograniczyć rolę operatora jako koordynatora zadań, jednak w razie wystąpienia nietypowej lub niebezpiecznej sytuacji, operator pełni rolę tzw. pilota bezpieczeństwa. W takiej sytuacji niezwykle istotne są umiejętności operatora, bo w sytuacji awaryjnej dalszy lot zależy od umiejętności sterowania konkretnego typu BSP.

Obecnie rolę człowieka w lotach BSP definiują przepisy ruchu lotniczego. Szczegółowe informacje o polskich przepisach ruchu lotniczego dotyczących również BSP można znaleźć w Rozporządzeniu Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 marca 2013 r. Jedną z najbardziej istotnych kwestii jest możliwość przejęcia kontroli nad BSP w sytuacjach awaryjnych, np. ominięcie innego statku powietrznego. Należy również zwrócić uwagę, że jeśli nie wykonujemy lotów rekreacyjnych lub sportowych konieczne jest świadectwo kwalifikacji personelu lotniczego uprawniającego do wykonywania lotów w zasięgu wzroku VLOS (ang. *Visual Line of Sight*) lub poza zasięgiem wzroku BVLOS (ang. *Beyond Visual Line of Sight*) na określone kategorie statków powietrznych. Istnieją również uprawnienia instruktorskie oraz wiele innych ograniczeń, które nie są tu istotne. Przez określone kategorie statków powietrznych rozumiemy zarówno dopuszczalną masę startową oraz typ BSP (wielowirnikowiec, helikopter, samolot, aerostat). Czas szkolenia na określone typy BSP jest zbliżony, wiele zależy od zdolności manualnych operatora oraz jak szybko jest w stanie przyswoić wiedzę z zakresu m.in. przepisów ruchu lotniczego, obsługi i działania BSP czy meteorologii. Czas szkolenia jest różny dla kursów VLOS oraz BVLOS. Po przebyciu szkolenia należy zdać państwowy egzamin by uzyskać świadectwo kwalifikacji.

3. Wybór BSP do zadań inspekcji i transportu

Kryteria, jakie zastosowaliśmy do porównania BSP (tabela 1) najlepiej odzwierciedlają wymagania, jakie stawia się bezzałogowym pojazdom latającym w zadaniach transportu oraz inspekcji. Niezwykle istotną cechą jest niezawodność pojazdu, ze względu na transport cennych ładunków (np. medycznych) oraz z uwagi, że bardzo często pojazdy tego typu operują nad gęsto zaludnionymi obszarami, więc zapewnienie bezpiecznego transportu i inspekcji również wymaga możliwie najlepszego zabezpieczenia ludzi znajdujących się na ziemi.

Kolejną istotną cechą, zwłaszcza biorąc pod uwagę gęsto zaludnione obszary, jest możliwość pionowego startu/lądowa-

nia – na takich obszarach może brakować wystarczającej ilości miejsca do lądowania rozbiegiem. Z kolei duża prędkość przelotowa pozwala szybciej dostać się w wyznaczone miejsce. Najlepiej byłoby, aby te wszystkie cechy łączyły się z możliwie jak najmniejszym skomplikowaniem konstrukcji oraz obsługi.

4. Proponowana Hybryda BSP

Opis proponowanego pojazdu zostanie przedstawiony w sposób bardzo ogólny ze względu na trwające postępowanie związane ze zgłoszeniem wniosku patentowego na zastosowane w nim rozwiązania. Aktualnie wniosek został utajniony oraz poddany weryfikacji przydatności projektu dla obronności i bezpieczeństwa kraju.

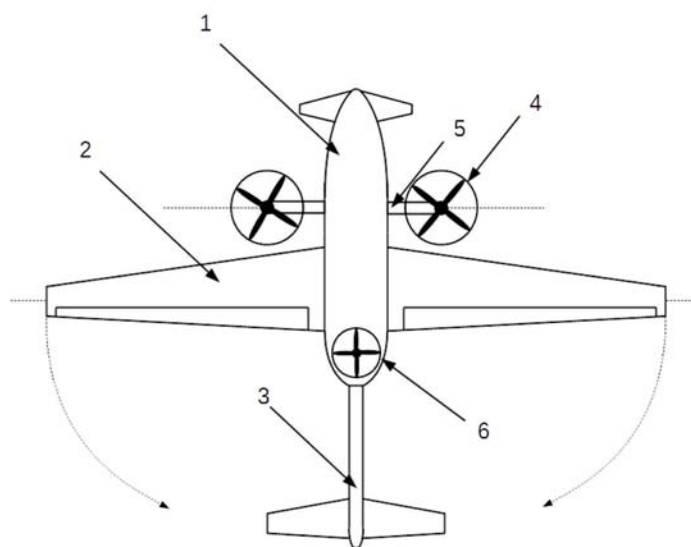
Na podstawie przedstawionego przeglądu, analiz i zbioru cech zamieszczonych w tabeli 1 chcielibyśmy przedstawić własną koncepcję BSP, pokazaną schematycznie na rys. 3. Według nas najbardziej istotnymi cechami, jakie powinien mieć BSP do zadań transportowych oraz inspekcji są: bezpieczeństwo lotu, maksymalny udźwig, zasięg, maksymalna prędkość oraz możliwość działania w możliwie najtrudniejszych warunkach. Istotne jest, aby dostarczyć ładunek w jak najkrótszym czasie i możliwie na jak największy dystans, a w przypadku awarii bezpiecznie wylądować. Reszta cech była dla nas drugorzędna.

Przede wszystkim wykazaliśmy, że połączenie możliwości pionowego startu/lądowania wraz z wydajnym i szybkim lotem poziomym daje unikatowe możliwości, których nie ma żadne z klasycznych rozwiązań. Jednocześnie pojazd taki powinien charakteryzować się dużym bezpieczeństwem lotu oraz niezawodnością. Aby ograniczyć skomplikowanie takiej konstrukcji, a jednocześnie zapewnić możliwość konwencjonalnego startu (taki start może pozwolić na lot z ładunkiem o większej masie) zastosujemy układ napędowy w układzie Y. W takim rozwiązaniu wirnik ogonowy (6) służy wyłącznie do startu, natomiast pozostałe dwa (4) mają możliwość obrotu wokół osi poziomej, aby zapewnić przejście między fazami startu pionowego/lotu poziomego/lądowania pionowego. Napędy takie powinny być umieszczone na tyle wysoko, aby możliwy był start konwencjonalny lub skrócony.

Redundancję zespołu napędowego można zrealizować przez montaż par przeciwbieżnych napędów. W przypadku uszkodzenia jednego z napędów pojazd taki nie straci punktu podparcia, rozumianego jak punkt przyłożenia wypadkowej siły generowanej przez parę przeciwbieżną, w fazie startu/lądowania oraz zawisu. Również w przypadku utraty jednego z napędów nie straci całkowitej sterowności, gdzie w przypadku tri- i quadcopterów najczęściej doprowadza do niekontrolowanego lotu i w konsekwencji rozbitcia pojazdu. Natomiast w locie poziomym pozwoli to na bezpieczne kontynuowanie lotu do wyznaczonego celu.

Napędy obrotowe powinny być umieszczone na osobnych wysięgnikach (5) odsuniętych od skrzydeł (2), aby nie zaburzały przepływu powietrza podczas startu/lądowania/zawisu. Jednocześnie takie rozwiązanie pozwoli na składanie skrzydeł, jak ma to miejsce w konstrukcji [21]. Takie rozwiązanie pozwoli na utrzymanie większej stabilności podczas startu, ponieważ konstrukcja będzie mniej narażona na podmuchy wiatru, a jednocześnie pozwoli na zmniejszenie rozpiętości przy lądowaniu w niedogodnych warunkach. Kadłub pojazdu (1) powinien być dostosowany do lotu poziomego, gdyż to głównie w takim trybie będzie się poruszał pojazd. Na końcu ogona (3) znajdują się dwa stateczniki – poziomy i pionowy, jak ma to miejsce w większości samolotów.

Konstrukcja taka będzie się cechowała nieco bardziej skomplikowaną budową niż w przypadku samolotu, jednak jest to nieznaczna wada biorąc pod uwagę szereg zalet, jakie ma pojazd tego typu.



Rys. 3. Koncepcja Hybrydy BSP: kadłub pojazdu (1), składane skrzydła (2), ogon (3), wirniki podwójne (4) z możliwością obrotu na wysięgnikach (5), wirnik ogonowy (6)

Fig. 3. Conception of hybrid UAV: vehicle body (1), folding wings (2), tail (3), double rotors (4) with ability to tilt mounted on jibs (5), tail rotor (6)

Prezentowane rozwiązanie nie jest jedyną istniejącą hybrydą. Istnieje wiele rozwiązań komercyjnych lub są prowadzone badania nad różnymi konstrukcjami. Jednym z ciekawszych rozwiązań jest projekt HADA Helicopter ADaptive Aircraft – hybrydowy pojazd BSP łączący cechy helikoptera i samolotu. Tryb helikoptera wykorzystywany jest głównie do startu oraz lądowania. Konstrukcja ma rozkładane skrzydła, a więc podobnie jak ma to miejsce w autorskiej konstrukcji, które wykorzystywane są w czasie lotu poziomego. W czasie lotu poziomego napęd zostaje przeniesiony na śmigło pchające znajdujące się na końcu ogona pojazdu.

Warto wspomnieć o konstrukcji w układzie samolotu z dodatkowymi czterema napędami, które wykorzystywane są do pionowego startu/lądowania, jak ma to miejsce w wielowirnikowcach. Do wymuszenia ruchu postępowego zazwyczaj wymagany jest dodatkowy napęd na ogonie lub dziobie pojazdu. Konstrukcja jest stosunkowo prosta, co niewątpliwie jest zaletą, jednak do jej wad można zaliczyć konieczność stosowania dużej liczby napędów, które zwiększają masę pojazdu a przez większość czasu lotu napędy służące do pionowego startu/lądowania nie są wykorzystywane. Jako przykład takiej konstrukcji można podać Arctutus JUMP 15, SLT czy Aerotech Innovation CW-10. Hybrydowych BSP znajdziemy znacznie więcej (np. Bell Eagle Eye, Navig8), również konstrukcje podobne do proponowanego rozwiązania (np. Birds Eye View FireFLY6 i IAI Phanter), jednak ich szczegółowa analiza nie jest przedmiotem tego artykułu.

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiliśmy różne typy BSP opisując ich najbardziej charakterystyczne cechy w kontekście aplikacji inspekcyjnych i transportowych. Tego typu zadania są najczęściej wybierane na zawodach robotów latających oraz zespołów robotów mobilnych, w jakich braliśmy udział. Tego typu zadania stanowią także reprezentację szerszego spektrum zastosowań bezzałogowych statków powietrznych, które mogą w niedługim czasie pojawić się w średnich i dużych aglomeracjach miejskich, podczas akcji ratunkowych wspomaganych przez roboty lub autonomicznej inspekcji linii przesyłowych.

Tabela 1. Porównanie różnych typów BSP
 Table 1. Comparison of different types of UAVs

Kryterium	Sposób oceny	Wielowirnikowiec
Zasięg	Względny: 1 – najmniejszy, 3 – największy	1
	Komentarz	Najmniejszy zasięg wśród rozważanych konstrukcji.
Udźwig	Względny: 1 – najmniejszy, 4 – największy	1
	Komentarz	Maksymalny udźwig zależy od mocy układu napędowego oraz od liczby zastosowanych silników. Należy jednak zwrócić uwagę, że dodanie kolejnego silnika wpływa również na większy pobór mocy, co wiąże się z większą baterią. Zatem nie jest to proporcjonalny współczynnik.
Bezpieczeństwo lotu	Możliwość utraty zespołu napędowego.	Quadcopter nie ma redundancji, utrata jakiegokolwiek napędu kończy się rozbiciem pojazdu. Jednak zastosowanie większej liczby napędów stanowi redundancję i pozwala na wykonanie bezpiecznego lądowania.
Prędkość przelotowa	Skala 0–10: 0 – zawis, 10 – maksymalna prędkość.	0–5
	Komentarz	Możliwość zawisu, prędkość przelotowa zależy od zespołu napędowego, jednak mniejsza niż w przypadku płatowców oraz helikopterów.
Start/ lądowanie	Technika startu	VTOL (Vertical Take Off and Landing)
Efektywność lotu	Komentarz	Najmniejsza efektywność lotu spowodowana stosunkowo małymi śmigłami, które ciągle zmieniają prędkość obrotową, aby stabilizować konstrukcję.
Złożoność konstrukcji	Komentarz	Bardzo prosta konstrukcja. Złożoność konstrukcji jest zależna od liczby napędów. Wersje redundantne i nieredundantne to w zasadzie bliźniacze rozwiązania.
Złożoność sterowania	Komentarz	Wymagany kontroler lotu, duże skomplikowanie algorytmów sterowania do samej stabilizacji pojazdu w przestrzeni.
Złożoność zespołu napędowego	Komentarz	Skomplikowanie zależy od liczby zastosowanych wirników 4–8, jednak jest to stosunkowo proste rozwiązanie, ponieważ wszystkie napędy są nieruchome oraz nie mają zmiennego skoku śmigieł.

Samolot	Helikopter	Hybryda BSP
3	2	1-3
Największy zasięg wśród rozważanych konstrukcji.	Zasięg mniejszy niż w przypadku samolotów, jednak większy niż wielowirnikowców. Maksymalna prędkość i wydajność wirnika jest ograniczona jego konstrukcją.	Maksymalny zasięg lotu zależy od trybu lotu. W przypadku lotu konwencjonalnego, zasięg jest porównywalny z samolotem. Jeśli w czasie lotu następuje start/ładowanie pionowe lub wykonywany jest zawis, to maksymalny zasięg będzie mniejszy.
4	2	3
Maksymalny udźwig zależy od siły nośnej, jaką może wygenerować płatek.	Maksymalny udźwig zależy od mocy układu napędowego, który jest bardziej wydajny niż w przypadku wielowirnikowców.	Maksymalny udźwig zależy od trybu lotu. Jeśli wykonywany jest start jak w konwencjonalnym samolocie to udźwig zależy od siły nośnej płatowca. Jeśli wykonywany jest pionowy start, to maksymalny udźwig zależy od mocy układu napędowego.
Po utracie wszystkich napędów możliwy jest lot ślizgowy do najbliższego miejsca lądowania. Jeśli ma więcej niż jeden napęd, możliwy jest dalszy lot do najbliższego lądowiska.	Utrata napędu wiąże się z próbą lądowania z wykorzystaniem techniki autorotacji.	Po utracie jednego lub dwóch napędów możliwy jest dalszy lot. Jeśli w czasie lotu poziomego zostaną uszkodzone wszystkie napędy, możliwy jest lot ślizgowy do najbliższego miejsca lądowania.
3-10	0-6	0-10
Brak możliwości zawisu, maksymalna prędkość przelotowa również zależy od aerodynamiki pojazdu.	Możliwość zawisu, maksymalna prędkość przelotowa wyższa niż w przypadku wielowirnikowców, a mniejsza niż w płatowcach. Prędkość jest ograniczona przez fizykę wirnika głównego.	Możliwość zawisu, prędkość przelotowa zbliżona do prędkości płatowca. Prędkość może być nieco niższa ze względu na dobór zespołu napędowego, który również musi poradzić sobie w czasie pionowego startu oraz lądowania.
CTOL+STOL (Conventional Take-off and Landing + Short Take-Off and Landing)	VTOL	V/STOL+CTOL (Vertical/Short Take Off and Landing)
Największa efektywność lotu ze względu na siłę nośną wytwarzaną przez skrzydła (niezwykłą doskonałością lotu charakteryzują się szybowce).	Znacznie bardziej wydajne od wielowirnikowców ze względu na duży wirnik główny oraz sterowanie oparte na zmianie skoku łopaty.	Efektywność lotu w locie poziomym praktycznie taka sama jak w płatowcu. Największe straty energii pojawiają się podczas pionowego startu oraz lądowania.
Prosta konstrukcja, bardziej skomplikowana od wielowirnikowców, ponieważ niezwykle istotna jest aerodynamika płatowca. Konstrukcja skorupowa lub półskorupowa.	Stosunkowo prosta konstrukcja, najbardziej złożony mechanizm wirnika głównego.	Konstrukcja zbliżona do płatowca, największą komplikację stanowi mechanizm obrotu zestawu napędowego. Jednak mechanizm ten jest znacznie bardziej uproszczony w stosunku do helikoptera. Dodatkowy stabilizujący wirnik ogonowy.
Niewymagany kontroler lotu (jeśli konstrukcja jest poprawnie wyważona), sterowanie niezwykle proste, nie są wymagane żadne algorytmy.	Niewymagany kontroler lotu, złożone jest sterowanie pod względem mechaniki wirnika głównego.	Wymagany kontroler lotu, potrzeba stabilizacji w zawisie, jak w przypadku wielowirnikowców. Skomplikowane algorytmy przejścia między różnymi fazami lotu.
Zazwyczaj nieruchomy zespół napędowy, choć może być wyposażony w wektorowanie ciągu. Dodatkowo zespół napędowy może mieć regulację skoku śmigła.	Bardzo skomplikowany ze względu na mechanikę zmiany kąta natarcia łopaty wirnika.	Średnio skomplikowany ze względu na mechanizm obrotu zespołu napędowego. Jednak mechanizm ten jest znacznie mniej złożony niż wirnik helikoptera.



Rys. 4. Platforma testowa (hexacopter) z transportowaną masą (po lewej) i w wersji inspekcyjnej z systemem wizyjnym (po prawej)
 Fig. 4. Test platform (hexacopter) transported object (on left side) and adjusted for inspection task with vision system (on right)

Takie obszary zastosowań UAV są niezwykle istotne, jak wskazuje np. analiza Fundacji Instytut Mikromakro [24] oraz trwające prace nad stworzeniem strategii zagospodarowania przestrzeni powietrznej w aglomeracjach miejskich (unijna inicjatywa U-SPACE zaprezentowana w Warszawie w listopadzie 2016 r. [25]). Żaden z podstawowych typów BSP nie zapewnia spełnienia jednocześnie oczekiwań na pionowy start/lądowanie i długi, efektywny energetycznie lot. Dlatego przedstawiliśmy również propozycję naszego rozwiązania hybrydowego próbując połączyć najlepsze cechy podstawowych typów BSP. Jednocześnie doskonale zdajemy sobie sprawę, że taka konstrukcja nie jest rozwiązaniem dla idealnym dla wszelkich zastosowań UAV.

Zalety płatowca, jakie wykorzystaliśmy w naszej konstrukcji, to znacznie większa prędkość przelotowa niż w przypadku wielowirnikowców oraz możliwość transportu ładunków o większej masie niż ciąg generowany przez zespół napędowy. Większa prędkość przelotowa bezpośrednio przekłada się na zwiększony zasięg pojazdu. Hybryda BSP ma również możliwość konwencjonalnego oraz skróconego startu/lądowania. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu siły nośnej generowanej jednocześnie przez skrzydła oraz zespół napędowy. Wykorzystanie układu śmigieł przeciwbieżnych pozwala dodatkowo zwiększyć bezpieczeństwo lotu.

Dotychczasowe doświadczenie zdobyliśmy na licznych zawodach, podczas lotów testowych własnych konstrukcji wielowirnikowych (np. hexacopter – rys. 4) oraz z przeglądu literatury lotniczej i związanej z tematem BSP. Kolejne etapy badań, jakie prowadzimy aktualnie, mają na celu bezpośrednie porównanie Hybrydy BSP z aktualną platformą testową w środowisku symulacyjnym. Pozwoli to zweryfikować zachowanie hybrydy w poszczególnych etapach lotu oraz zoptymalizować projekt. Chcemy również wyeliminować ewentualne problemy, zanim stworzymy wersję fizyczną gotową do oblatania.

Bibliografia

1. Fornace K.M., Drakeley C.J., William T., Espino F., Cox J., *Mapping infectious disease landscapes: unmanned aerial vehicles and epidemiology*, "Trends in Parasitology", Vol. 30, Iss. 11, 2014, 514–519, DOI: 10.1016/j.pt.2014.09.001.
2. Ganesh Y., Raju R., Hegde R., *Surveillance Drone for Landmine Detection* [in:] Proceedings of 2015 International Conference on Advanced Computing and Communications (ADCOM), DOI: 10.1109/ADCOM.2015.13.
3. Rabta B., Wankmüller C., Reiner G., *A drone fleet model for last-mile distribution in disaster relief operations*, "International Journal of Disaster Risk Reduction", Vol. 28, 2018, 107–112, DOI: 10.1016/j.ijdrr.2018.02.020.
4. Balasingam M., *Drones in medicine – The rise of the machines*, "International Journal of Clinical Practice", 2017, DOI: 10.1111/ijcp.12989.
5. Thiels C.A., Aho J.M., Zietlow S.P., Jenkins D.H., *Use of unmanned aerial vehicles for medical product transport*, "Air Medical Journal", Vol. 34, Iss. 2, 2015, 104–108, DOI: 10.1016/j.amj.2014.10.011.
6. Haidari L.A. et al., *The economic and operational value of using drones to transport vaccines*, "Vaccine", Vol. 34, No. 34, 2016, 4062–4067, DOI: 10.1016/j.vaccine.2016.06.022.
7. Amukele T., Ness P.M., Tobian A.A.R., Boyd J., Street J., *Drone transportation of blood products*, "Transfusion", 2017, DOI: 10.1111/trf.13900.
8. Bravo G.C., Parra D.M., Mendes L., A.M. de Jesus Pereira, *First aid drone for outdoor sports activities* [in:] Proceedings of 2016 1st International Conference on Technology and Innovation in Sports, Health and Wellbeing (TISHW), DOI: 10.1109/TISHW.2016.7847781.
9. Claesson A. et al., *Unmanned aerial vehicles (drones) in out-of-hospital-cardiac-arrest*, "Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine", 2016, DOI: 10.1186/s13049-016-0313-5.
10. Goodchild A., Toy J., *Delivery by drone: An evaluation of unmanned aerial vehicle technology in reducing CO₂ emissions in the delivery service industry*, "Transportation Research Part D: Transport and Environment", Vol. 61, Part A, 2018, 58–67, DOI: 10.1016/j.trd.2017.02.017.
11. Yu H., Yang W., Zhang H., He W., *A UAV-based crack inspection system for concrete bridge monitoring*, [in:] Proceedings of 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 3305–3308, DOI: 10.1109/IGARSS.2017.8127704.
12. Zhao X., Tan M., Hui X., Bian J., *Deep-learning-based autonomous navigation approach for UAV transmission line inspection*, [in:] Proceedings of 2018 Tenth International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI), 455–460, DOI: 10.1109/ICACI.2018.8377502.
13. Luo X. et al., *Optimal path planning for UAV based inspection system of large-scale photovoltaic farm*, [in:] Proceedings of 2017 Chinese Automation Congress (CAC), 4495–4500, DOI: 10.1109/CAC.2017.8243572.

14. Li X., Yang Q., Chen Z., Luo X., Yan W., *Visible defects detection based on UAV-based inspection in large-scale photovoltaic systems*, "IET Renewable Power Generation", Vol. 11, Iss. 10, 2017, 1234–1244, DOI: 10.1049/iet-rpg.2017.0001.
15. Goebel K., Saha B., *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*, 2015.
16. Priye A. et al., *Lab-on-a-Drone: Toward Pinpoint Deployment of Smartphone-Enabled Nucleic Acid-Based Diagnostics for Mobile Health Care*, "Analytical Chemistry", 2016, 4651–4660, DOI: 10.1021/acs.analchem.5b04153.
17. Ozdemir U. et al., *Design of a commercial hybrid VTOL UAV system*, [in:] Proceedings of 2013 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 214–220, DOI: 10.1109/ICUAS.2013.6564693.
18. Tielin M., Chuanguang Y., Wenbiao G., Zihan X., Qinling Z., Xiaou Z., *Analysis of technical characteristics of fixed-wing VTOL UAV*, [in:] 2017 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS), 293–297, DOI: 10.1109/ICUS.2017.8278357.
19. Gregory I.M., Ackerman K., Snyder S., Rothhaar P., *Adaptive control for tilt-wing VTOL UAV*, [in:] Proceedings of 2015 American Control Conference (ACC), DOI: 10.1109/ACC.2015.7171114.
20. Takeuchi R., Watanabe K., Nagai I., *Development and control of tilt-wings for a tilt-type Quadrotor*, [in:] Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), 501–506, DOI: 10.1109/ICMA.2017.8015868.
21. Heredia G., Duran A., Ollero A., *Modeling and simulation of the HADA reconfigurable UAV*, "Journal of Intelligent & Robotic Systems", Vol. 65, No. 1–4, 2012, 115–122, DOI: 10.1007/s10846-011-9561-9.
22. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 26 marca 2013 r., informacja zamieszczona na stronie Urzędu Lotnictwa Cywilnego.
23. Juszczak K., *Rolnictwo precyzyjne*, Rynek dronów w Polsce Jutrzenka, edycja 2018, 2018, 35–39.
24. Rutkowski P., *Miasto w trzech wymiarach*, Rynek dronów w Polsce Jutrzenka, edycja 2018, 22–25.
25. Urząd Lotnictwa Cywilnego – "Deklaracja Warszawska" data publikacji 25.11.2016 <http://www.ulc.gov.pl/pl/publikacje/wiadomosci/4097-deklaracja-warszawska-dotyczaca-bezalogowych-statkow-powietrznych-przyjeta-na-zakonczenie-konferencji-drony-jako-zrodlo-nowych-miejsc-pracy-i-wzrostu-gospodarczego>, data dostępu 18.07.2018.

Unmanned Air Vehicle selection criteria for inspection and transport tasks

Abstract: The article shows the comparison of various types of unmanned aerial vehicles intended for transport and inspection tasks. We have considered multi-rotors, planes, helicopters and hybrid solutions combining features of other types. Each of the vehicles has been analyzed in terms of maximum load, range, exceptional features that distinguish them from others, the complexity of construction and control. The comparison was created based on literature analysis and our own experience from participation in multiple competition with inspection, emergency and transportation tasks. It is worth mentioning that competition task required full or partial autonomous mode. Vehicles which we are working on and which are compared in this paper can be classified between micro and tactical short range unmanned vehicles. Comparison was presented in form of table which present set of features for each type of vehicle, it makes it possible to evaluate their utility for considered tasks. Based on the analysis, our own concept of unmanned air vehicle was presented, it combines advantages of different constructions while trying to eliminate the greatest drawbacks; and we believe it is feasible to be applied in transport and inspection tasks.

Keywords: UAV, inspection, Hybrid UAV, VTOL

dr hab. inż. Grzegorz Granosik

granosik@p.lodz.pl

Profesor Politechniki Łódzkiej, specjalista automatyki i robotyki, zastępca dyrektora w Instytucie Automatyki. Naukowiec i konstruktor, twórca Laboratorium „Robotyka dla Człowieka” – przestrzeni dla interdyscyplinarnych projektów technicznych. Autor i współautor ponad 100 publikacji naukowych, w tym 3 patentów.



mgr inż. Mateusz Kubat

mateuszkbt@gmail.com

Doktorant w Instytucie Automatyki Politechniki Łódzkiej, absolwent kierunku mechatronika. Prowadzi prace badawcze związane z autonomią oraz sterowaniem bezzałogowych pojazdów latających ze szczególnym uwzględnieniem pojazdów pionowego startu oraz lądowania. Poza pracą naukową związany zawodowo z tworzeniem pierwszego w Polsce inteligentnego aptekomatu nowej generacji optymalizującego pracę aptek szpitalnych oraz proces logistyki lekowej w szpitalu.



mgr inż. Paweł Smyczyński

pawel.smyczynski@edu.p.lodz.pl

Absolwent Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej. W 2015 r. uzyskał tytuł inżyniera, w 2016 r. tytuł magistra inżyniera. W tym samym roku rozpoczął studia doktoranckie. Główne zainteresowania naukowe obejmują systemy sterowania bezzałogowymi pojazdami latającymi ze szczególnym uwzględnieniem autonomii takich pojazdów oraz zastosowanie informacji wizyjnej w sterowaniu robotów.

