

bryg. dr inż. Mariusz Feltynowski^{a)*}, mgr inż. Maciej Zawistowski^{a)}

^{a)}Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwożarowej – Państwowy Instytut Badawczy / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute

*Autor korespondencyjny / Corresponding author: mfeltynowski@cnbop.pl

Zagrożenia związane z wykorzystaniem bezzałogowych platform w służbach ratunkowo-porządkowych

Threats Related to the Use of Unmanned Systems in Emergency Services

Угрозы, связанные с использованием беспилотных платформ в службах экстренной помощи

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest identyfikacja i przedstawienie najważniejszych zagrożeń związanych z coraz powszechniejszym stosowaniem platform bezzałogowych oraz metod i sposobów ich ograniczenia. Autorzy zaprezentowali zagrożenia mogące wystąpić w środowisku powietrznym, lądowym i wodnym. Dodatkowo przedstawiono stosowane rozwiązania i systemy mające na celu ograniczenie ryzyka związanego z wykorzystaniem platform bezzałogowych. Autorzy opisali również coraz częściej występujący problem obecności amatorskich platform bezzałogowych w obrębie trwającej akcji ratowniczo-poszukiwawczej oraz metody radzenia sobie z tym niepożądanym zjawiskiem.

Wprowadzenie: Ze względu na coraz powszechniejsze stosowanie pojazdów bezzałogowych – zarówno do celów hobbyistycznych, jak i zawodowych – ryzyko związane z ich użyciem ciągle rośnie. Aby w pełni wykorzystać możliwości, jakie oferują platformy bezzałogowe w trakcie akcji ratowniczo-poszukiwawczych, muszą być one wyposażone w systemy i metody zapobiegające ich awarii lub – w przypadku jej wystąpienia – w systemy bezpieczeństwa ograniczające skutki usterki. Podobne zabiegi pozwoliłyby ograniczyć do minimum liczbę ewentualnych incydentów, które mogłyby negatywnie wpłynąć na nastawienie decyzyjnych grup do wykorzystywania nowych technologii w ratownictwie. Coraz szersze zastosowanie bezzałogowców promować można również poprzez organizację cyklicznych szkoleń specjalistycznych oraz eventów kierowanych do ratowników-operatorów. Poza wskazywaniem korzyści, jakie oferują bezzałogowe platformy, kładłyby one nacisk na identyfikację możliwych zagrożeń i metody im przeciwdziałania. Cykliczność tego typu przedsięwzięć pozwoliłaby na wymianę doświadczeń pomiędzy operatorami pojazdów bezzałogowych. Poza specjalistycznymi kursami dla obsługi, należy również wypracować specjalną ścieżkę certyfikacji takich pojazdów. Pozwoliłaby ona na zwiększenie niezawodności platform oraz systemów bezpieczeństwa na nich zamontowanych, potwierdzając możliwość ich wykorzystania nawet w najtrudniejszych warunkach.

Wnioski: Brak odpowiednich reguł współużytkowania przestrzeni powietrznej oraz odpowiedniego procesu certyfikacji nie pozwala na wprowadzenie pojazdów bezzałogowych do służb ratowniczo-poszukiwawczych. Dodatkowo brakuje szkoleń ukierunkowanych na maksymalne wykorzystanie możliwości oferowanych przez pojazdy bezzałogowe.

Słowa kluczowe: pojazd bezzałogowy, dron, ryzyko, środki zapobiegawcze, zagrożenie

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 22.07.2018; Zrecenzowany: 24.09.2018; Zatwierdzony: 05.11.2018;

Identyfikator ORCID autorów: M. Feltynowski – 0000-0001-5614-8387; M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu;

Proszę cytować: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 138–149, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.10;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRACT

Aim: The aim of this paper is to identify and present the most important threats related to the increasingly widespread application of unmanned systems, as well as the methods and ways to reduce those threats. The authors present a number of potential threats related to the use of unmanned systems in various environments – air, land and water. In addition, this paper discusses the solutions and approaches used to limit the risks associated with use of such systems. The authors also describe the increasingly common problem of the presence of amateur unmanned systems during search and rescue operations, and methods for their detection and counteracting their undesirable presence.

Introduction: Due to the increasingly common use of unmanned vehicles, both for recreational and professional purposes, and the decreasing cost of purchasing unmanned systems, the risk associated with their use continues to grow. In order to take full advantage of the possibilities offered by unmanned systems during search and rescue operations, they must be equipped with systems and methods to prevent their failure or safety systems

that reduce the effects of such incidents. Such procedures will minimise the number of possible incidents that could negatively affect the public opinion on the use of new technologies in emergency services, effectively limiting their development in this area. Safety improvements can also be achieved through the regular organisation of specialised training programmes and events for rescuers-operators, which, apart from presenting the possibilities offered by unmanned systems, would place emphasis on identifying possible threats and methods of counteracting them. The cyclical schedule of such projects would result in continuous expansion of opportunities and exchange of experiences between operators in the fast-growing field of unmanned vehicles. In addition to specialised courses for operators, a special certification path for such vehicles should also be developed. This would contribute to increased reliability of vehicles and their security systems, confirming their suitability for use even in the most difficult conditions during search and rescue operations.

Conclusions: Failure to introduce appropriate rules for the sharing of airspace and the lack of an appropriate certification process do not allow the introduction of unmanned vehicles in search and rescue services. In addition, there is no training aimed at maximising the opportunities offered by unmanned vehicles.

Keywords: unmanned vehicle, drone, risk, Unmanned System elimination methods, preventive measures, threat

Type of article: review article

Received: 22.07.2018; Reviewed: 24.09.2018; Accepted: 05.11.2018;

Authors' ORCID IDs: M. Feltynowski – 0000-0001-5614-8387; M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 138–149, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.10;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель статьи – выявить и представить наиболее важные угрозы, связанные с широким использованием беспилотных платформ, а также определить методы и способы их сокращения. Авторы представили угрозы, которые могут возникнуть в воздушной, наземной и водной среде. Кроме того, представлены прикладные решения и системы для снижения риска, связанного с использованием беспилотных платформ. Авторы также описали достаточно распространенную проблему использования любительских беспилотных платформ во время проведения настоящих спасательных и поисковых операций и методы борьбы с этим нежелательным явлением.

Введение: Из-за все более распространенного использования беспилотных летательных аппаратов – как для хобби, так и для профессиональных целей – риск, связанный с их использованием, постоянно растет. Чтобы в полной мере использовать возможности беспилотных платформ во время спасательных и поисковых работ, они должны быть оснащены системами и методами для предотвращения их отказа или, в случае отказа, систем безопасности, ограничивающих последствия неисправности. Подобные меры помогут свести к минимуму число возможных инцидентов, которые могут негативно повлиять на отношение групп, принимающих решения, к использованию новых технологий в службах экстренной помощи. Более широкое использование беспилотных летательных аппаратов может также стимулироваться посредством организации периодических специализированных тренингов и мероприятий, адресованных операторам-спасателям. В дополнение к определению преимуществ беспилотных платформ они будут уделять особое внимание выявлению возможных угроз и методам противодействия таким угрозам. Цикличность мероприятий этого типа содействовала бы обмену опытом между операторами беспилотных летательных аппаратов. Кроме специализированных курсов для обслуживания, также должна быть разработана специальная система сертификации таких транспортных средств. Это позволило бы повысить надежность платформ и систем безопасности, установленных на них, подтверждая возможность их использования даже в самых сложных условиях.

Выводы: Отсутствие надлежащих правил совместного использования воздушного пространства и соответствующего процесса сертификации не позволяет внедрять беспилотные машины в службы спасения и поиска. Кроме того, нет никакой подготовки, направленной на максимизацию возможностей, которые имеют беспилотные транспортные средства.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, дрон, методы устранения БП, предупреждение, риск

Вид статьи: обзорная статья

Принята: 22.07.2018; Рецензирована: 24.09.2018; Одобрена: 05.11.2018;

Идентификаторы ORCID авторов: M. Feltynowski – 0000-0001-5614-8387; M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376;

Авторы внесли одинаковый вклад в создание этой статьи;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 138–149, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.10;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Wstęp

Bezzałogowe statki stają się coraz bardziej widoczne w przestrzeni publicznej [1, 2, 3]. Poprzez zastosowanie w nich czujników i kamer pojazdy te mogą być wykorzystywane przez różne służby – zarówno mundurowe [2, 4, 5], jak i cywilne [6, 7, 8]. Wprowadzenie do użytku obiektów bez zaplecza operatorów

Introduction

Unmanned vehicles are becoming more and more noticeable in the public space [1, 2, 3]. The use of sensors and cameras makes these vehicles useful for various services – both uniformed [2, 4, 5] and civilian [6, 7, 8]. However, the introduction of these systems without having operators with appropriate

posiadających odpowiednie umiejętności oraz wiedzę z zakresu restrykcji wynikających z prawa lotniczego może jednak spowodować bardzo duże zagrożenie, zarówno dla ratowników, jak i osób postronnych. W szczególnych przypadkach obecność pojazdów bezzałogowych może uniemożliwić prowadzenie działań ratowniczych. W artykule zostały przeanalizowane zagrożenia związane z zastosowaniem pojazdów bezzałogowych oraz propozycje rozwiązań ograniczających to ryzyko.

Zagrożenia związane z zastosowaniem bezzałogowych statków

Obecnie odnotować można bardzo wiele wariantów zastosowań pojazdów bezzałogowych do akcji poszukiwawczych, ratunkowych lub rozpoznawczych/patrolowych. W pierwszej kolejności należy jednak pamiętać o zapewnieniu bezpieczeństwa i niezawodności ich stosowania. Niezbędne jest zastosowanie zbioru reguł gwarantujących skuteczną współpracę urządzeń z ratownikami. W tym celu w 2017 r. w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowym Instytucie Badawczym podjęto zadanie projektowe dotyczące wypracowania kompetencji w ramach tzw. Centrum Dronów – Centrum Systemów Bezzałogowych i Autonomicznych, którego celem jest zapewnienie bezpiecznego stosowania systemów bezzałogowych, przy akceptowalnym dla użytkownika poziomie ryzyka. W celu zachowania niezbędnego bezpieczeństwa dla osób zarówno obsługujących pojazdy bezzałogowe, jak i osób postronnych, elementy i systemy w nich stosowane powinny spełniać określone wymagania techniczne i niezawodnościowe. Pomimo wprowadzania różnorodnych systemów i układów automatyki, nadal dochodzi do wypadków z udziałem platform bezzałogowych. Awarie mogą być spowodowane czynnikami wewnętrznymi (takimi jak błąd oprogramowania lub czujników) lub zewnętrznymi (np. dzikie zwierzęta lub inne platformy bezzałogowe).

Jednym z najczęstszych powodów awarii jest błąd ludzki spowodowany nieznanymi zasadami i przepisami lub brakiem odpowiednich uprawnień do posługiwania się pojazdem bezzałogowym. Każde środowisko wykorzystujące bezzałogowce generuje nowe zagrożenia zarówno dla operatorów, jak i osób postronnych.

Istotne niebezpieczeństwo mogące pojawić się w trakcie akcji ratowniczej związane jest z odciążeniem uwagi ratownika od otaczających go zagrożeń. Szczególnie bezzałogowe statki powietrzne, których manualna obsługa w trakcie rozpoznania pochłania w znacznym stopniu uwagę operatora, może doprowadzić do niebezpiecznej sytuacji, np. w przypadku pożaru. Wobec powyższego docelowym kierunkiem rozwoju pojazdów wykorzystywanych w służbach wydaje się pełna autonomia lotu.

Niezwykle duże zagrożenie w poruszaniu się pojazdami bezzałogowymi niesie ze sobą także współdzielenie przestrzeni lotu z innymi obiektami. Największe niebezpieczeństwo dla człowieka występuje tutaj w przypadku pojazdów lądowych i powietrznych. Znajomość prawa o ruchu drogowym jest znacznie powszechniejsza niż wiedza o zasadach korzystania ze wspólnej przestrzeni powietrznej według prawa lotniczego. Zderzenie pojazdu bezzałogowego z pojazdem przewożącym ludzi może

skills and knowledge regarding the restrictions arising from the aviation law might pose a significant threat to both the rescuers and third parties. In some special situations, the presence of unmanned vehicles may render rescue actions impossible. This paper analyses the risks connected with the application of unmanned vehicles and provides suggested solutions to reduce these risks.

Risks related to the use of unmanned vehicles

Today, unmanned vehicles are used in a variety of search, rescue, and reconnaissance/patrol operations. However, their safety and reliability should be regarded as the most important consideration. It is essential to follow a set of rules to guarantee effective cooperation between the vehicles and rescuers. To this end, in 2017 the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute launched a project regarding skills development as part of its Drone Centre – Centre for Unmanned and Autonomous Systems, whose objective is to ensure the safe operation of unmanned systems with a level of risk acceptable to the user. In order to ensure the safety of both the operators and third parties, the elements and systems used should comply with specific technical and reliability requirements. Even though a variety of systems and automatic solutions have been developed, accidents involving unmanned vehicles are still an issue. Their failure may be caused by internal (such as software or sensor issues) or external factors (wild animals or other unmanned systems).

One of the most common causes of failure is human error resulting from insufficient knowledge of the principles and regulations or the lack of appropriate qualifications to operate an unmanned vehicle. Every environment where unmanned systems are used generates new hazards to both operators and third parties.

A significant risk potentially faced during a rescue operation is connected with diverting the rescuers' attention from immediate threats. It is especially the operation of unmanned aerial vehicles, which requires a lot of attention from the operator, that might lead to dangerous situations, e.g. during a fire. Considering the above, fully autonomous flight seems to be the target for developing vehicles used by emergency services.

Sharing the airspace with other flying objects is also extremely dangerous when using unmanned aerial vehicles. Ground and aerial vehicles pose the highest risk to humans. Knowledge of traffic rules is much more common than knowledge of the flight rules applicable in the airspace according to aviation law. A collision of an unmanned vehicle with a passenger-carrying vehicle may result in damage and an emergency landing. Such situation have been observed by the fire service in California, among others [9]. Unmanned aerial vehicles used by amateurs to observe the fire forced the fire helicopter pilots to fly at higher altitudes, which significantly affected the accuracy of dropping water. Unmanned vehicles pose a very

spowodować uszkodzenie i awaryjne lądowanie. Takie sytuacje są sygnalizowane między innymi przez kalifornijską straż pożarną [9]. Bezzałogowe statki powietrzne wykorzystywane amatorsko do obserwacji pożaru wymusiły na helikopterach gaśniczych wyższy pułap lotu, uniemożliwiając dokładny zrzut wody. Pojazdy bezzałogowe stanowią bardzo poważne zagrożenie szczególnie dla silników statków powietrznych i – pośrednio – dla ich obsługi. Już samo współużytkowanie przestrzeni powietrznej przy zachowaniu separacji wysokości jest wyzwaniem. W trybie pilnym muszą sobie z nim poradzić legislatorzy (Urząd Lotnictwa Cywilnego i Polska Agencja Żeglugi Powietrznej), tak by możliwe było wdrożenie w najbliższych latach koncepcji U-Space (przestrzeni w miastach dla lotów pojazdów bezzałogowych i autonomicznych).

Bardzo duże niebezpieczeństwo, zarówno dla operatorów wielowirnikowych pojazdów bezzałogowych, jak i osób postronnych, stanowią elementy wirujące. Zagrożenie to występuje głównie w pojazdach latających o większej masie i w części pojazdów wodnych. Stanowią je szybko obracające się śmigła, które potrafią przeciąć skórę i mogą uszkodzić ważne arterie znajdujące się w ludzkim ciele. W celu ograniczenia tego ryzyka można wykorzystać różnego rodzaju klatki osłaniające cały pojazd bezzałogowy lub same śmigła (ryc. 1). Zastosowanie tego typu rozwiązania, chociaż bardzo skuteczne, powoduje zwiększenie masy samego pojazdu oraz negatywnie wpływa na pracę silników napędowych (szybsze zużycie z powodu zawirowań aerodynamicznych) [10]. Dodatkowo stosowanie zabezpieczenia całego pojazdu może zmniejszyć zakres widzenia zamontowanej kamery i przez to utrudnić wykonywanie zadań.



Rycina 1. Wielowirnikowiec wyposażony w klatkę osłaniającą cały pojazd przed bezpośrednim dostępem do elementów wirujących (po lewej stronie) [11] oraz indywidualne zabezpieczenie każdego z wirników (po prawej stronie) [12]

Figure 1. A multirotor with a cage covering the whole vehicle against direct access to rotating elements (left side [11]), and individual protection of each of the rotors on the example of DJI (right side [12])

Bezzałogowe statki powietrzne są często wykorzystywane również komercyjnie do monitorowania imprez masowych, takich jak zgromadzenia lub koncerty (ryc. 2). Jako urządzenia techniczne mogą ulec awarii, co skutkuje bardzo poważnymi konsekwencjami.

serious risk for aircraft, particularly their engines and, indirectly, for their pilots. Even in normal conditions, sharing airspace with unmanned vehicles, while maintaining vertical separation, represents a challenge. It is an urgent problem to be tackled by legislators (the Civil Aviation Authority and the Polish Air Navigation Services Agency), so as to enable cities to implement the concept of U-Space (airspace in a city where unmanned and autonomous vehicles are allowed).

Rotating elements pose a significant risk to both the operators of unmanned multirotor aerial vehicles and third parties. This threat is present mainly in heavier aerial vehicles and in some surface/underwater vehicles. It is caused by the rotating propellers, which can cut through skin and damage arteries in the human body. To reduce this risk, various cages can be used to cover the whole unmanned vehicle or its propellers (Fig. 1). Such solutions, although highly effective, increase the weight of the vehicle, affecting the operation of engines (faster deterioration due to disrupted aerodynamics) [10]. In addition, using a protective cage can reduce the view range of the installed camera and hinder task performance.

Unmanned aerial vehicles are often used commercially for the coverage of mass events, such as large gatherings and concerts (Fig. 2). As technical devices, they might fail, which might lead to very serious consequences.



Rycina 2. Zdjęcie wykonane dronem w trakcie koncertu [13]

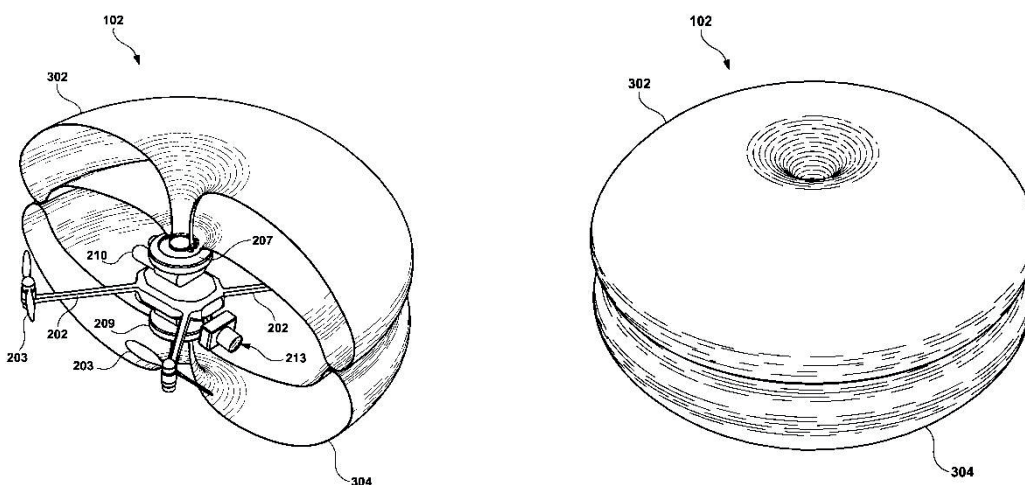
Figure 2. A photo taken with a drone during a concert [13]

Pojazd o masie około 5 kg, będący w zawisie na wysokości 30 m posiada energię potencjalną na poziomie około 1,5 kJ. Taka energia wystarczy do połamania najgrubszej kości człowieka i stwarza śmiertelne zagrożenie dla osób znajdujących się na ziemi bezpośrednio pod pojazdem. Obecnie najczęściej stosowaną metodą uniknięcia tego typu zdarzeń jest zamontowanie dodatkowego spadochronu bezpieczeństwa. Systemy tego typu dają możliwość autonomicznej kontroli lotu i w momencie wykrycia niepokojącej sytuacji uwalniają spadochron (automatycznie lub ręcznie), pozwalając na powolne opadanie maszyny [14–15]. Wadą opisanego zastosowania jest zwiększenie masy pojazdu oraz oporów aerodynamicznych, co ogranicza możliwy czas pracy urządzenia.

Poza opisanym powyżej istnieją również inne rozwiązania, jednak są one z reguły trudno realizowalne lub powodują niezdatność pojazdów bezzałogowych do lotu podczas wiatru. Dobrze obrazuje to przykład systemu poduszek powietrznych, które w momencie awarii aktywują się i pozwalają na bezpieczne opadnięcie pojazdu na ziemię (rycina 3) [16].

A vehicle with the weight of approx. 5 kg, hovering at a height of 30 m has a potential energy of about 1.5 kJ. Such energy would be sufficient to shatter the thickest bone in the human body and poses lethal danger to people directly below the vehicle. Currently, the most widespread method of avoiding such events is installing an additional safety parachute. Such systems facilitate autonomous flight control and open the parachute (automatically or manually) in emergency situations, so that it can fall at a reduced speed [14–15]. One disadvantage of this solution is increased weight and aerodynamic drag, which reduces the maximum operation time of the device.

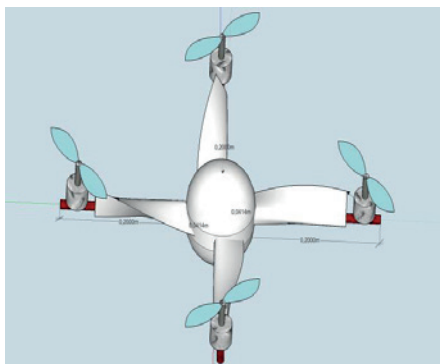
There are other solutions, but they are generally difficult to implement or prevent unmanned vehicles from flying under windy conditions. This is illustrated by the airbag system activated in response to failure and allowing the vehicle to slowly descend to the ground (Fig. 3) [16].



Rycina 3. Poglądowa zasada działania systemu poduszek powietrznych do ograniczenia skutków upadku pojazdu bezzałogowego [16]

Figure 3. Overview of the operation of the airbag system designed to reduce the effects of the fall of an unmanned vehicle [16]

Inną propozycją jest specjalnie zaprojektowany kształt platformy, pozwalający na swobodne opadnięcie pojazdu w razie awarii. Dzięki temu jego prędkość zostaje ograniczona do tego stopnia, że nie stwarza on zagrożenia (ryc. 4). Rozwiązanie to nie wprowadza dodatkowego obciążenia, jednak nie nadaje się do zastosowania poza budynkami.



Rycina 4. Poglądowy przykład zasady działania systemu ograniczenia prędkości opadania w razie awarii [17, 18]

Figure 4. Overview of the operation of the proposed fall-velocity-reduction system in case of failure [17, 18]

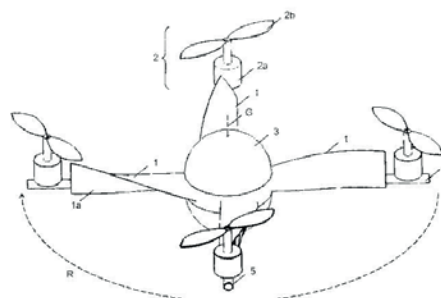
Podobne zagrożenie występuje w przypadku bezzałogowych statków powietrznych lub bezzałogowych pojazdów poruszających się po powierzchni wody. Zarówno jedne, jak i drugie potrafią poruszać się bardzo szybko, osiągając przy tym znaczną energię kinetyczną. Szczególnie płatownce, które z jednej strony mają większą ładowność, a z drugiej – by wytworzyć siłę nośną – muszą poruszać się ze stosunkowo dużą prędkością i mają mniejsze możliwości manewrowania. Stanowią one niebezpieczeństwo (zwłaszcza w trakcie startów i lądowań). Pojazd o masie 20 kg przy prędkości 10 m/s osiąga energię 2 kJ, która jest w stanie zabić człowieka. Analogiczna sytuacja ma miejsce w pojazdach wodnych. Człowiek, który wynurza się z wody po nurkowaniu, może nie zostać wykryty przez pojazd odpowiednio szybko. W tym przypadku niebezpieczeństwo niesie zarówno sama możliwość uderzenia nurka w głowę, jak i ryzyko utraty przez niego przytomności i w konsekwencji utonięcie.

Mając na uwadze powyższe, wydaje się, że najmniejsze zagrożenie dla użytkowników i osób ratowanych stanowią lądowe pojazdy bezzałogowe. Największe ryzyko związane z ich wykorzystaniem wynika z braku możliwości wykrycia przez nie człowieka znajdującego się na trasie, po której porusza się maszyna. Należy jednak zaznaczyć, że lądowe pojazdy często posiadają znaczną masę, która przy dużej prędkości może spowodować uszczerbek na zdrowiu lub nawet śmierć osoby postronnej. Innym pośrednim zagrożeniem, jakie niesie ze sobą tego typu pojazd jest, np. nieplanowane wtargnięcie na uczęszczany szlak komunikacyjny np. na jezdnię.

Metody wykrywania bezzałogowych pojazdów

W szczególnych przypadkach obecność dronów w trakcie różnych działań prowadzonych przez służby porządku publicznego czy też służby ratownicze może być niepożądana lub

Another solution is a specifically designed shape allowing the free fall of the vehicle in case of failure. This reduces the fall velocity to a point where it no longer poses any danger (Fig. 4). This solution introduces no additional load, but it cannot be used outdoors.



A similar risk is present with unmanned aerial vehicles or unmanned surface vehicles. Both types of vehicles can move very fast, gaining considerable kinetic energy. This particularly applies to airframes, which provide higher carrying capacity, but must move at high speeds to generate lift and have lower manoeuvring capabilities. This makes them pose a significant risk (especially during take-off and landing). A vehicle weighing 20 kg at a speed of 10 m/s reaches the energy of 2 kJ – enough to kill a person. This is also true for surface vehicles. A person emerging from the water after diving might not be detected by the vehicle soon enough. In this case the threat involves both the possibility of hitting the diver in the head and the risk of loss of consciousness resulting in drowning.

Taking the above into consideration, it seems that the lowest threat to the individuals being rescued is posed by unmanned ground vehicles. The biggest risk related to them involves limitations in their capability of detecting people in their way. However, it should be emphasised that ground vehicles are often heavy, which, paired with high speed, might cause damage to health or even death of a third party. Another indirect risk related to this type of vehicle involves unexpectedly entering a busy route, e.g. a roadway.

Methods of detecting unmanned vehicles

In specific cases, the presence of drones during various operations conducted by law enforcement and emergency services might be undesirable or even dangerous to

nawet zagrażająca samej akcji. Działo się tak podczas zabezpieczenia imprez masowych typu Szczyt NATO czy Światowe Dni Młodzieży. Obecnie dyskutuje się nad zagrożeniami hybrydowymi wywoływanymi przez pojazdy bezzałogowe i nad sposobami zapobiegania tym zagrożeniom. Bardzo pomocne przy eliminowaniu zdarzeń związanych z zakłócaniem działań służb przez bezzałogowce jest wczesne wykrywanie obecności tych urządzeń w nadzorowanym obszarze. Obecnie istnieje już szereg metod dedykowanych temu celowi, najpopularniejsze to:

- **Detekcja audio** oparta na wykrywaniu charakterystycznej długości dźwięku emitowanego przez pojazd bezzałogowy. Na podstawie analizy infradźwięków wydawanych przez obracające się śmigła, oprogramowanie jest w stanie określić rodzaj pojazdu znajdującego się w pobliżu. Jakość i zasięg metody zależy w dużej mierze od zakłóceń i szumów dostarczanych przez otoczenie, dlatego promień wykrywania wynosi około 50 m [19].
- **Detekcja wideo**, która opiera się na rozpoznawaniu ruchu obiektu względem nieruchomego tła (tło stanowi z reguły krajobraz). Istnieje wiele algorytmów wizyjnego rozpoznawania i przetwarzania ruchu. Samo wykrywanie platformy bezzałogowej z wykorzystaniem kamery możliwe jest z dystansu około 100 m, przy czym odległość śledzenia takiego pojazdu jest większa [20].
- **Termowizja** jest wykorzystywana głównie do wykrywania pojazdów spalinywych, bardzo dobrze widocznych w kamerach termowizyjnych. Do zalet tego systemu należy zaliczyć przede wszystkim możliwość obserwacji pojazdów przy ograniczonej widoczności (np. we mgle lub w deszczu), natomiast wadą jest możliwość pomylenia pojazdu, np. z ptakami [21].
- **Radar** jest jedną z najlepiej znanych metod rozpoznawania innych pojazdów, jednak ze względu na bardzo mały rozmiar pojazdów bezzałogowych potrzebne jest stosowanie fal radiowych o niewielkiej długości. Zastosowanie takich fal ma negatywny wpływ na organizmy żywe. Dodatkowo może powodować otrzymywanie bardzo dużej liczby błędnych rozpoznań. Zaletą takiego rozwiązania jest większy zasięg niż oferują to opisywane wcześniej metody [22].
- **Fale radiowe** wykorzystane do sterowania pojazdów mogą być wykryte nawet z odległości 1 km. Dodatkowo na ich podstawie w niektórych przypadkach można określić rodzaj komercyjnego pojazdu bezzałogowego oraz wyznaczyć jego przybliżone współrzędne GPS [23].

Metody przeciwdziałania pojazdom bezzałogowym

Po odpowiednio szybkim wykryciu pojazdu bezzałogowego w obszarze zabronionym, w którym stwarza on zagrożenie dla ludzi i mienia, należy go w odpowiedni sposób unieszkodliwić. Obecnie stosuje się różne metody eliminacji zagrożeń związanych z dronami, w przeważającej mierze związane są one jednak z przemysłem zbrojeniowym. W związku z tym są

the operation in progress. This was the case during the protection of mass events such as the NATO Summit or World Youth Day. The hybrid threats caused by unmanned vehicles and the methods to prevent them are being widely discussed nowadays. Early detection of unmanned vehicles within the protected area greatly facilitates the elimination of threats connected with the risk of affecting the operations of emergency services. A number of methods specifically dedicated for this purpose have already been developed, the most popular of which include:

- **Audio detection** based on detecting the distinctive sound frequency emitted by unmanned vehicles. By analysing the infrasound emitted by rotating propellers, specialised software can identify the type of vehicle present nearby. The quality and range of this method largely depends on the interference and noise generated by the environment, which limits the detection radius to approx. 50 m [19].
- **Video detection**, which is based on detecting the motion of an object in relation to static background (usually landscape). There are numerous algorithms allowing the visual detection and processing of motion. Using a camera, an unmanned system can be detected from a distance of approx. 100 m, but the distance from which the detected vehicle can be tracked is longer [20].
- **Thermal imaging** is mainly used to detect internal combustion engine vehicles, which are clearly visible using thermographic cameras. The primary advantage of this system is that it enables the user to observe vehicles even in low visibility conditions (fog or rain). However, it is difficult to distinguish the tracked objects from e.g. birds [21].
- **Radar** is one of the best known methods of detecting other vehicles, but due to the extremely small size of unmanned vehicles, high-frequency radio waves must be used. Such waves are known to have adverse effect on living organisms. In addition, it can involve a large number of incorrect detections. The advantage of this solution is its higher range compared to the methods described above [22].
- **Radio waves** used to control the vehicles can be detected even from a distance of 1 km. In addition, in some cases they are sufficient to identify the type of a commercial unmanned vehicle or roughly determine its GPS coordinates [23].

Methods for fighting unmanned vehicles

After an unmanned vehicle is reasonably quickly detected in an area where its presence is forbidden and where it could pose a threat to people or property, it should be properly disabled. Currently there are a number of different methods for eliminating drone-related threats, but most of them are connected with the arms industry. Because of this, they cannot

one wyłączone z zastosowania w miejscach publicznych lub niedostępne dla kupujących. Poniżej przedstawiono najpopularniejsze metody unieruchamiania pojazdów bezzałogowych.

Jedną z bardziej nowoczesnych metod walki z pojazdami bezzałogowymi polega na wykorzystaniu głowic laserowych HEL MD (High Energy Laser Mobile Demonstrator). W momencie wykrycia niechcianego obiektu skoncentrowana wiązka lasera rozgrzewa go do momentu, aż obiekt spadnie na ziemię.



Rycina 5. Przykład systemu laserowego wykrywania i niszczenia pojazdów bezzałogowych, zainstalowany na dachu wozu opancerzonego [24]
Figure 5. An example of a laser detection and destruction system for unmanned vehicles, which is installed on the roof of an armoured vehicle [24]

Innym, również militarnym rozwiązaniem, jest wykorzystanie do eliminacji bezzałogowych pojazdów amunicji specjalnej. Przykładem takiego systemu jest EAPS ID (Extended Area Protection and Survivability Integrated Demonstrator) (ryc. 6) [25]. System zbudowany w 2016 r. na potrzeby armii amerykańskiej opiera się na specjalnym pocisku, który po wystrzeleniu utrzymuje, a w razie potrzeby wykonuje korektę trajektorii, tak aby cel został trafiony.



50mm Course Corrected Projectile

Rycina 6. Pocisk samonaprowadzający wraz z działkiem [25]

Figure 6. Self-guided missile and a cannon [25]

Inną, bardziej komercyjną metodą, jest przechwycenie lub strącenie pojazdu bezzałogowego przez inny pojazd lub urządzenie. Specjalny pojazd wyposażony jest w sieć, w którą łapano jest nieporządkany obiekt. Wadą tego rozwiązania jest konieczność stosowania większego pojazdu niż ten przechwytywany oraz duży opór powietrza związany z użyciem siatki. Przy takich parametrach „złapanie” pojazdu naruszającego zakazaną przestrzeń bywa trudne. Natomiast metoda ta nie powoduje uszkodzenia drugiego bezzałogowca, co w dalszym postępowaniu pozwala uniknąć problemów prawnych, które mogą wyniknąć z tytułu uszkodzenia cudzego mienia. Rozwiązanie tego typu testowała Politechnika Śląska w Międzynarodowym Porcie Lotniczym Katowice w Pyrzowicach (ryc. 7).

be used in public places or they are unavailable for consumers. Below is a list of the most popular methods for disabling unmanned vehicles.

One of the most advanced methods for fighting unmanned vehicles involves the use of HEL MD (High Energy Laser Mobile Demonstrator). When an unwanted object is detected, a concentrated laser beam begins to heat it until it crashes to the ground.

Another military solution is to take down UAVs using special ammunition. One example is EAPS ID (Extended Area Protection and Survivability Integrated Demonstrator) (Fig. 6) [25]. Built in 2016 for the purposes of the US army, the system is based on a special missile which maintains or corrects its trajectory after being fired to reach the target.



50mm Bushmaster Cannon

Another method, more viable for commercial production, is to capture or take down the unmanned vehicle using another vehicle or device. A special vehicle is equipped with a net which is used to trap the unwanted object. The disadvantage of this solution is the need to use a bigger vehicle than the one being captured and the large air drag connected with using the net. With these parameters, “catching” a trespassing vehicle can be difficult. The advantage of this method is that it does not cause damage to the captured UAV, which helps avoid potential legal issues connected with property damage. Such a solution was tested by the Silesian University of Technology at the Katowice International Airport (Fig. 7).



Rycina 7. Przykład pojazdu bezzałogowego, który przechwycił niechcianego drona [26]

Figure 7. An example of an unmanned vehicle with the system that captured an unwanted drone [26]

Alternatywą dla użycia siatki jest system „Rapere”. Działa on poprzez wystrzelenie linek, które po wkręceniu się w wirniki niepożądanego obiektu powodują ich zatrzymanie i w rezultacie upadek pojazdu na ziemię [27]. Na podobnej zasadzie działają również różnego rodzaju bazooki, których obsługa wymaga doświadczonego operatora (ryc. 8). Posiadają one pocisk, który w trakcie lotu wypuszcza sieć. Zaplątany w nią pojazd bezzałogowy zostaje w ten sposób unieruchomiony.

An alternative to using a net is the “Rapere” system. It is used to shoot wires, which get entangled in the propellers of the unwanted object, causing them to stop which results in the vehicle’s fall [27]. A similar principle is employed in various types of bazookas, which require an experienced operator to use (Fig. 8). They have a button that releases a net in flight. When caught, the UAV becomes immobilised.



Rycina 8. Przykład bazooki do eliminacji pojazdów bezzałogowych [28]

Figure 8. An example of an anti-drone bazooka [28]

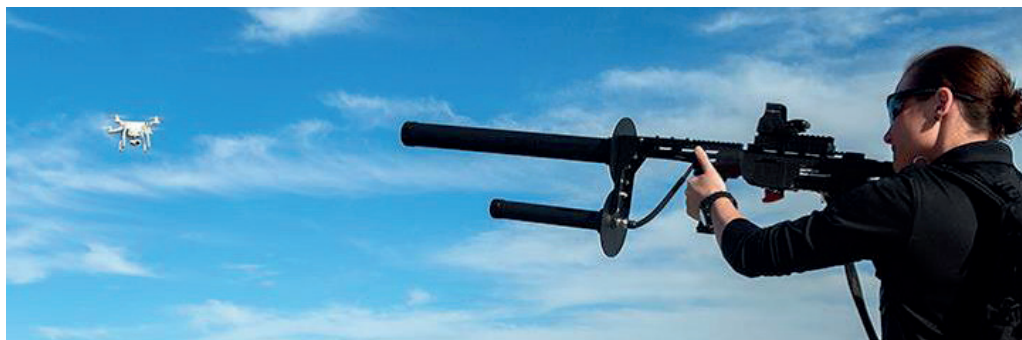
Ekstremalnym sposobem walki z pojazdami bezzałogowymi może być użycie broni palnej. Tego typu metoda może być wykorzystywana w nielicznych krajach, np. Stanach Zjednoczonych. Przysparza trudności, ponieważ ciężko jest wykryć mały obiekt latający (szczególnie, np. biały pojazd na tle chmur). Niesie ze sobą także niebezpieczeństwo związane z coraz większymi prędkościami osiąganymi przez bezzałogowce. Dodatkowo stosowanie tej metody generuje ryzyko pozwów sądowych (stworzenie zagrożenia zdrowia i życia lub zniszczenie cudzego mienia) [29]. Stosowne regulacje prawne, które mogłyby wyłączyć operatorów służb z odpowiedzialności za powstałe szkody, są uwzględniane przy aktualizacji prawa lotniczego.

An extreme way of fighting unmanned vehicles would be the use of firearms. This kind of method, however, can be used in few countries, e.g. in the United States. It involves a number of difficulties, because detecting a small flying object is not an easy task (especially if it is, e.g., a white vehicle against the clouds). This is also dangerous due to the increasing speeds achieved by unmanned vehicles. Also, using this method might lead to lawsuits (threats to health and life or destroying somebody else’s property) [29]. Appropriate legal regulations introducing exclusions for public service operators for the potential damage are being considered in the process of updating aviation law.

Bardzo dobrym sposobem zneutralizowania pojazdu bezzałogowego jest zakłócenie sygnałów sterowania. Poprzez wprowadzenie zakłóceń radiowych o odpowiednim paśmie częstotliwości można spowodować utratę komunikacji pomiędzy pojazdem bezzałogowym, a osobą która go

A very good method of neutralising an unmanned vehicle is to disrupt its control signals. By introducing radio interference with a specific frequency band, you can jam communications between the unmanned vehicle and the person controlling it. The disadvantage of this solution is that there is no

obsługuje. Wadą tego rozwiązania jest brak wiedzy o tym, jak dany pojazd się zachowa na skutek wprowadzenia zakłóceń. Może on np. wrócić z powrotem na miejsce swojego startu, wylądować lub bezpośrednio upaść na ziemię. Rozwiązanie wykorzystujące zagłuszanie systemu sterowania pokazane jest na rycinie 9.



Rycina 9. Zakłóczacz sygnału radiowego [30]

Figure 9. Radio signal jammer [31]

Wnioski

Pojazdy bezzałogowe, tak jak wszystkie urządzenia techniczne, mogą ulec awarii. Ograniczenie tego ryzyka zasadniczo wpływa na powodzenie akcji oraz odbiór społeczny (aprobata dla działań prowadzonych przez służby i wiarygodność technologii). Aby ograniczyć awarie, konieczne jest stosowanie urządzeń przetestowanych pod kątem technicznym – na przykład poprzez proces certyfikacji. Wymagane powinno być także stosowanie wszelkiego rodzaju układów zwiększających bezpieczeństwo użytkownika i obywatela, które działają w sposób pewny i automatyczny (np. wypuszczany spadochron). Bez zapewnienia bezpieczeństwa użycia systemów bezzałogowych poprzez uregulowania prawne, odpowiednią certyfikację sprzętu i docelowo pełną autonomię systemów, nie może być mowy o powszechnym wprowadzeniu platform bezzałogowych do służb. Zaistnienie kilku nagłośnionych incydentów z udziałem BSP i pojawienie się poszkodowanych z tego powodu obywateli, ewentualnie brak zapewnienia bezpieczeństwa danych osobowych pozyskanych za pomocą platform bezzałogowych, może spowodować spadek społecznej akceptacji dla wprowadzania nowych technologii w służbach odpowiedzialnych za bezpieczeństwo.

Dodatkowo konieczne są odpowiednie szkolenia dla obsługi, ze szczególnym naciskiem zarówno na możliwości, jak i zagrożenia związane z wykorzystaniem pojazdów bezzałogowych. Bezwarunkowo muszą zostać wypracowane odpowiednie regulacje prawne określające zakres prac wykonywanych przez pojazdy bezzałogowe oraz ich dopuszczalny obszar poruszania się. Na realizację czeka koncepcja U – Space przewidująca ruch w przestrzeni powietrznej latających pojazdów załogowych i bezzałogowych przy określonej separacji wysokości i z wykorzystaniem tzw. *geofencingu* (poruszania się wewnątrz obszaru wydzielonego wirtualnymi granicami).

Stosowanie odpowiednich zasad i reguł nie uchroni ratowników przed negatywnymi efektami działań pojazdów

way to tell how the vehicle would behave as a result of jamming communications. It can, e.g. return to its original location, land or fall directly on the ground. A solution using the jamming of the control signal is shown in Fig. 9.

Conclusions

Like other technical devices, unmanned vehicles are subject to defects. Reducing this risk is an essential element in mission success and ensuring good public perception (approving the operations run by the services and the reliability of technology). In order to reduce the failure rate, these devices must undergo specialised testing – e.g. as part of a certification process. It should also be required that a variety of reliable and automatic systems be used to increase the safety of users and citizens (e.g. a parachute). The widespread use of unmanned vehicles by the services will not be possible without ensuring the safety of using unmanned systems through legal regulations, appropriate device certification and, eventually, achieving their full autonomy. A number of highly-publicised incidents involving UAVs, injuries to people and concerns about the inability to ensure the protection of personal data obtained by such vehicles could harm the public acceptance of introducing new technologies in the services protecting public safety.

In addition, appropriate training programmes for operators must be developed, placing special emphasis on both the opportunities and threats involved in the use of unmanned vehicles. A set of legal regulations must be developed to define the range of operations that can be performed by unmanned vehicles and their permissible area of operation. The U-Space concept, which regulates the movement of manned and unmanned aerial vehicles in the airspace with appropriate vertical separation and using geofencing (staying within an area delimited by virtual borders) is awaiting implementation.

Following a specific set of rules and principles would not protect the rescuers from the negative effects of third-party vehicle intrusion. Until specific airspace sharing procedures are developed, unauthorised vehicles identified near an emergency operation site should be immediately removed from the

należących do osób postronnych, niezwiązanych z akcją ratowniczą. Obce pojazdy, zidentyfikowane w pobliżu akcji ratowniczej, do czasu wypracowania procedur umożliwiających współużytkowanie przestrzeni, powinny być usuwane z obszaru działań służb w trybie natychmiastowym. – jako stanowiące zagrożenie dla innych pojazdów załogowych (np. śmigłowców gaśniczych lub ratunkowych). Taki model był stosowany w poprzednich latach podczas ćwiczeń Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej na poligonie Wojsk Lądowych w Żaganiu. Niewątpliwie możliwości stwarzane przez platformy bezzałogowe znacznie przewyższają zagrożenia związane z ich użyciem. W opisywanym obszarze jest jeszcze wiele do zrobienia. Konieczne jest ustanowienie odpowiednich uregulowań prawnych, opracowanie procedur operacyjnych, wykonanie testów poligonowych. Należy dążyć do pełnej autonomii i certyfikacji sprzętu oraz kompetencji, a także podnoszenia kwalifikacji personelu służb. Przy dopełnieniu wymienionych zadań obywatele z pewnością zaakceptują poziom ryzyka związany z użyciem bezzałogowców.

area as posing danger to other, manned vehicles (e.g. fire and rescue helicopters). Such a model was adopted in the previous years by the National Headquarters of the State Fire Service during its manoeuvres at the training area of the Land Forces in Żagań. The opportunities created by unmanned systems clearly outweigh the threats involved. But there is still a lot of work to be done in this area. It is essential to introduce specific legal regulations, develop operational procedures and perform tests in training areas. Full autonomy and certification of equipment and qualifications, as well as improving operator skills, should be the target. If these tasks are achieved, the public will definitely accept the level of risk involved in the use of unmanned vehicles.

Literatura/Literature

- [1] Tuśnio N., Nowak A., Tuśnio J., Wolny P., *Bezzałogowe statki powietrzne w działaniach Państwowej Straży Pożarnej – propozycja dedykowana Państwowej Straży Pożarnej*, Zeszyty Naukowe SGSP 2016, 58, tom 1/2.
- [2] Polkowski P., *Bezzałogowe statki powietrzne unmanned aerial vehicles*, „Rocznik Bezpieczeństwa Międzynarodowego” 2016, 10(1).
- [3] Jinlu Han, Yaojin Xu, Long Di, YangQuan Chen, *Low-cost Multi-UAV Technologies for Contour Mapping of Nuclear Radiation Field*, „Journal of Intelligent & Robotic Systems” 2013, 70(1–4), 401–410.
- [4] Jessie Y.C.Chen, *UAV-guided navigation for ground robot tele-operation in a military reconnaissance environment*, „Ergonomics” 2010, 53(8), 940–950, <https://doi.org/10.1080/00140139.2010.500404>.
- [5] D. Prior S., Siu-Tsen S., S. White A., Odedra S., Karamanoglu M., Ali Erbil M., Foran T., *Development of a Novel Platform for Greater Situational Awareness in the Urban Military Terrain*, „EPC 2009: Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics”, 20–125.
- [6] Hajdrowski K., *Drony w służbie energetyki*, „Energia Elektryczna” 2014.
- [7] Ferenc A., Koreleska E., *Innowacje w logistycznej obsłudze pacjenta – zastosowanie dronów*, „TTS Technika Transportu Szybowego” 2015, 12, 492–496.
- [8] *Drony w służbie społeczeństwa*, „Innowacje techniczne”, 2016 <https://iq.intel.pl/drony-w-sluzbie-spoleszczenstwa/> [dostęp: 20.07.2018].
- [9] *Drone Hampers Fire Fighting Effort In Mill Creek Canyon*, plik video <https://youtu.be/s8OggJqvT7Y> [dostęp: 20.07.2018].
- [10] Merkisz J., Markowski J., Galant M., Karpiński D., *Analiza właściwości napędu śmigłowego w aspekcie zastosowania w hybrydowych układach napędowych statków powietrznych*, „Logistyka” 2014, 6.
- [11] Feltynowski M., *Zastosowanie systemów bezzałogowych elementem umożliwiającym usprawnienie procesu podejmowania decyzji w zarządzaniu kryzysowym i ratownictwie*, „Security and alarm systems” 2018, 1/(7).
- [12] Floreano D., Wood J.R., *Science, technology and the future of small autonomous drones*, „Nature” 2015, 521, 460–466.
- [13] *How to Legally Fly Drones at a Concert*, <https://www.droneblog.com/2018/07/13/how-to-legally-fly-drones-at-a-concert/> [dostęp: 20.07.2018].
- [14] Strona internetowa firmy ParaZero Drone Safety Systems Ltd., <https://parazero.com/> [dostęp: 20.07.2018].
- [15] Strona internetowa firmy Skycat, <https://www.skycat.pro/>, [dostęp: 20.07.2018].
- [16] *Impact absorption apparatus for unmanned aerial vehicle*, Patent, Stany Zjednoczone, US20160332739A1, 2015, <https://patents.google.com/patent/US20160332739A1/en> [dostęp: 20.07.2018].
- [17] *Flying machine*, Patent, Stany Zjednoczone, US20150158581A1, 2015, <https://patentimages.storage.googleapis.com/d3/03/bb/97c1f6ee6f8745/US20150158581A1.pdf> [dostęp: 20.07.2018].
- [18] *Meteomatics US-patent for new drone safety system accepted*, Meteomatics AG, <http://meteomatics.com/display/NEWS/2017/02/24/Meteomatics+US-patent+for+new+drone+safety+system+accepted> [dostęp: 20.07.2018].
- [19] Hauzenberger L., Holmberg Ohlsson E., *Drone Detection using Audio Analysis*, Department of Electrical and Information Technology, Faculty of Engineering, Lund University, 2015.
- [20] Rozantsev A., Lepetit V., Fua P., *Flying Objects Detection from a Single Moving Camera*, w: *2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 7-12 June 2015, 10.1109/CVPR.2015.7299040.
- [21] Andrašić P., Radišić T., Muštra M., Ivošević J., *Night-time Detection of UAVs using Thermal Infrared Camera*, „Transportation Research Procedia” 2017, 28, 183–190.
- [22] Strona internetowa firmy Advanced Protection Systems, <http://apsystems.tech/> [dostęp: 20.07.2018].
- [23] Folder Drone Detection Systems [dok. elektr.], <http://www.aaronia.com/Datasheets/Documents/Drone-Detection-System.pdf> [dostęp: 20.07.2018].
- [24] Cutshaw B.J., *HEL MD comes home to Redstone Arsenal*, https://www.army.mil/article/140422/hel_md_comes_home_to_redstone_arsenal [dostęp: 20.07.2018].

- [25] Luciano M., *Extended Area Protection and Survivability (EAPS) ATO 2016*, Armaments Systems Forum [dok. elektr.] https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2016/armament/18295_Luciano.pdf [dostęp: 20.07.2018].
- [26] Skorupski J., *Wyzwania inżynierii ruchu lotniczego*, Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006, s. 93.
- [27] Serwis internetowy Popular Science, <https://www.popsci.com/rapere-anti-drone-interceptor> [dostęp: 20.07.2018].
- [28] Pandula V., *Skywall 100 is a Bazooka style Anti-Drone defense system with range up to 100 meters*, <https://www.gizmotimes.com/gadgets/skywall-100-anti-drone-defense-system/8999> [dostęp: 20.07.2018].
- [29] *Hillview man arrested for shooting down drone; cites right to privacy*, <http://www.wdrb.com/story/29650818/hillview-man-arrested-for-shooting-down-drone-cites-right-to-privacy> [dostęp: 20.07.2018].
- [30] Król M., Koperski W., Błaszczuk J., Woźniak R., Błaszczuk P.M., „SAN: an Integrated Unmanned Air Vehicles Interdictor System Concept”, „Problemy Mechatroniki : uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa” 2017, 8, 4 (30), 79–94.

BRYG. DR INŻ. MARIUSZ FELTYNOWSKI – kierownik Centrum Systemów Bezzałogowych i Autonomicznych – Centrum Dronów. Od 2016 r. kierownik Działu Samodzielných Ekspertów w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpózarowej im. Józefa Tuliszkowskiego w Józefowie. W 2016 r. ukończył studia III stopnia na Wydziale Zarządzania i Dowodzenia, Akademii Obrony Narodowej, uzyskując stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk społecznych. Specjalista w zakresie działań ratowniczych, w tym zwłaszcza problematyki działań i funkcjonowania specjalistycznych grup poszukiwawczo-ratowniczych kierowanych do działań po katastrofach budowlanych i trzęsieniach ziemi.

MGR MACIEJ ZAWISTOWSKI – absolwent wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej, w latach 2013–2018 pracował w Instytucie Elektrotechniki w Międzyzlesiu w zakładach Systemów Pomiarowo-Diagnostycznych oraz Zakładzie napędów elektrycznych i sterowania. Od 2018 r. pracuje w dziale Samodzielných Ekspertów w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpózarowej im. Józefa Tuliszkowskiego w Józefowie.

BRIG. ENG. MARIUSZ FELTYNOWSKI, PH.D. – manager of the Drone Centre – Centre for Unmanned and Autonomous Systems. Since 2017 manager of the Department of Independent Experts of the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów. In 2016 he completed his doctoral studies at the Faculty of Management and Command of the National Defence University of Warsaw, obtaining the title of Doctor of Social Sciences. Specialist in the field of rescue operations, particularly issues related to the operations and functioning of specialised search-and-rescue teams deployed in the aftermath of construction accidents and earthquakes.

MACIEJ ZAWISTOWSKI, M.ENG. – graduated from the Faculty of Electronics of the Warsaw University of Technology, in 2013–2018 he worked at the Electrotechnical Institute in Międzyzlesie at the Department of Measurement and Diagnostic Systems and Department of Electric Drives and Control. Since 2018 he has worked at the Department of Independent Experts of the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów.