
DOI: 10.4467/29567610PIB.25.008.21866

dr hab. Marek Magniszewski

Politechnika Rzeszowska

ORCID: 0000-0002-9088-8159

e-mail: magniszewski@prz.edu.pl

mgr inż. Paweł Grelewski

ORCID 0009-0009-4960-4319

e-mail: p.grelewski@ron.mil.pl

dr hab. Rafał Parczewski

Wojskowa Akademia Techniczna

ORCID ID 0000-0002-2603-0596

e-mail: rafal.parczewski1@wat.edu.pl

ZASTOSOWANIE BEZZAŁOGOWYCH STATKÓW POWIETRZNYCH W RATOWNICTWIE

THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN RESCUE

Streszczenie

Współczesne technologie bezzałogowych statków powietrznych (BSP) otwierają nowe możliwości w dziedzinie ratownictwa i zarządzania kryzysowego. Celem artykułu jest analiza zastosowania dronów w akcjach ratunkowych, ocena ich skuteczności w różnych scenariuszach kryzysowych oraz identyfikacja barier i ograniczeń w ich implementacji. Problem badawczy sformułowano: W jakim stopniu wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych wpływa na efektywność działań ratowniczych? Odpowiednio do problemu badawczego postawiono hipotezę badawczą, która zakłada, że bezzałogowe statki powietrzne znacząco zwiększają skuteczność działań ratowniczych, skracając czas reakcji, poprawiając dostępność trudno dostępnych terenów i zwiększając bezpieczeństwo ratowników. W badaniu wykorzystane zostały metody teoretyczne, takie jak analiza literatury przedmiotu, przegląd raportów i studiów przypadków dotyczących wykorzystania BSP w ratownictwie, a także analiza porównawcza skuteczności tradycyjnych metod ratunkowych i metod wspomaganych przez drony. Na podstawie przeprowadzonej analizy można wnioskować, że drony stanowią cenne narzędzie wspierające ratownictwo, zwłaszcza w działaniach poszukiwawczych, dostarczaniu pomocy medycznej oraz

monitorowaniu obszarów zagrożonych. Ich dalszy rozwój i integracja z systemami ratowniczymi mogą jeszcze bardziej zwiększyć efektywność operacji i poprawić bezpieczeństwo zarówno ratowników, jak i osób poszkodowanych.

Słowa kluczowe: BSP, dron, UAV – bezzałogowy system powietrzny, ratownictwo, zarządzanie kryzysowe

Abstract

Modern unmanned aerial vehicle (UAV) technologies open up new possibilities in the field of rescue and crisis management. The aim of the article is to analyze the use of drones in rescue operations, to assess their effectiveness in various crisis scenarios and to identify barriers and limitations in their implementation. The research problem was formulated: To what extent does the use of unmanned aerial vehicles affect the effectiveness of rescue operations? According to the research problem, a research hypothesis was put forward that assumes that unmanned aerial vehicles significantly increase the effectiveness of rescue operations, shortening response time, improving the accessibility of hard-to-reach areas and increasing the safety of rescuers. The study will use theoretical methods, such as an analysis of the literature on the subject, a review of reports and case studies on the use of UAVs in rescue, as well as a comparative analysis of the effectiveness of traditional rescue methods and drone-assisted methods. Based on the analysis, it can be concluded that drones are a valuable tool supporting rescue, especially in search operations, providing medical assistance and monitoring of risk areas. Their further development and integration with rescue systems can further increase the efficiency of operations and improve the safety of both rescuers and injured persons.

Key words: UAV, drone, UAV – unmanned aerial system, rescue, crisis management

Wstęp

Bezzałogowy statek powietrzny to statek latający pilotowany zdalnie lub wykonujący lot autonomicznie, bez pomocy pilota. UAV są wyposażone w dobrą elektronikę (mózgi), sprzęt rozpoznawczy, potężne zabezpieczenia przed zakłóceniami. Mają zwykle dość kompaktowe wymiary dla mniejszej widoczności, ale mogą mieć również duże rozmiary porównywalne z pełnowymiarowymi samolotami. Używane do rozpoznania i fotografii lotniczej UAV do celów wojskowych noszą nazwę „Dron”. Brak pilota i jego systemów podtrzymywania życia, systemów sterowania i informacji wyjściowych pozwala na realizację mniejszych rozmiarów drona do rozpoznania, większą zwrotność dla myśliwców, większą ładowność dla bombowców i UAV.

Bezzałogowe statki powietrzne (BSP), potocznie zwane dronami, odgrywają coraz większą rolę w działaniach ratowniczych i sytuacjach kryzysowych. Dzięki swojej mobilności, wszechstronności oraz zdolności do operowania w trudno dostępnych terenach, drony stanowią cenne narzędzie wspierające służby ratunkowe. Mogą być wykorzystywane do lokalizowania osób zaginionych, oceny sytuacji w rejonach katastrof, dostarczania leków i sprzętu medycznego, a nawet gaszenia pożarów¹. Wraz z postępem technologii i rozwojem autonomicznych systemów sterowania, rola dronów w ratownictwie staje się coraz bardziej znacząca, a ich potencjał w przyszłości może jeszcze wzrosnąć. Celem niniejszego opracowania jest analiza możliwości zastosowania BSP w różnych aspektach działań ratowniczych oraz ocena ich efektywności w porównaniu z tradycyjnymi metodami.

Typy i zastosowania bezzałogowych statków powietrznych

Wykorzystanie i zastosowanie dronów w życiu cywilnym rośnie z każdym rokiem. Podczas globalnych trybów ograniczania ruchu, korzystanie z dronów może być alternatywą dla niektórych usług dostawczych. Wojskowe zastosowania dronów stały się już tak powszechne, że opracowywanie nowych modeli wojskowych przypomina wyścig zbrojeń w latach zimnej wojny, ale teraz nie w rozwoju broni jądrowej, ale w projektowaniu dronów. Teraz za pomocą dronów przeprowadza się rozpoznanie, ocenę zanieczyszczenia i radioaktywność powietrza, wykonuje się ataki raketowe, wykonuje się ochronę obiektów, dostarcza pocztę, paczki, aktywnie myśli się o użyciu dronów do dostarczania urządzeń medycznych i leków na miejsce zdarzenia, gaśnic do gaszenia, a nawet dostarczania amunicji. Współczesna fantazja aplikacji dronów nie zna granic, od interaktywnej zabawki po drona kelnera lub drona policjanta.

„Dron” to bezzałogowy statek powietrzny (BSP), samolot bez ludzkiego pilota na pokładzie. W tym przeglądzie przeanalizowano różne typy dronów. Rozważane są zarówno modele obecne na rynku, jak i te, które są po prostu koncepcjami pokazującymi trendy w rozwoju techniki bezzałogowej². Szczególną uwagę zwraca się na bezzałogowe techniki stosowane w armii amerykańskiej i armii Rosji. Zgodnie z różnorodnością konstrukcji, istnieją 4 główne typy bezzałogowych statków powietrznych:

- Multirotor-Drony Multicopter;
- Dron o stałym skrzydle;
- Dron z pojedynczym wirnikiem-helikopter bezzałogowy;
- Drony hybrydowe.
- Multirotor-Drony Multicopter.

1 R. Parczewski, *Użycie bezzałogowych Sstatków powietrznych typu Flyeye na potrzeby wojskowej ochrony przeciwpożarowej – wyniki badań*, „De Securitate et Defensione. O Bezpieczeństwie i Obronności”, nr 2, 2021, s. 166.

2 M. Lutek, *Wybrane aspekty problematyki odpowiedzialności za szkody spowodowane bezzałogowymi statkami powietrznymi*, „Przegląd Ustawodawstwa Gospodarczego”, nr 3, 2019, s. 130.

Drony z wieloma wirnikami są najczęstszymi typami dronów, z których korzystają zarówno profesjonalści, jak i amatorzy. Taki dron jest latającą platformą z 3, 4, 6, 8, 12 bezszczotkowymi silnikami ze śmigłami. Tak więc dron z czterema silnikami nazywa się Quadrakopterem, z sześcioma-Heksakopterem, z ośmioma-Oktokopterem. W locie dron utrzymuje pozycję poziomą względem powierzchni ziemi i może unosić się nad określonym miejscem, poruszać się w lewo, w prawo, do przodu, do tyłu, w górę i w dół, a także obracać się wokół własnej osi. Wszystkie działania są wykonywane przez zmianę ciągu na każdym silniku³.

Segment rynku takich urządzeń jest zróżnicowany, są to również Drony wielotorowe do użytku profesjonalnego, takie jak fotografia lotnicza, których cena może wynosić od 500 do 3000 USD. Ale istnieje wiele modeli hobbystycznych, takich jak amatorskie wyścigi dronów lub loty rekreacyjne, w przedziale cenowym od 50 do 400 USD. Spośród wszystkich rodzajów dronów, drony wielowirnikowe są najłatwiejsze do wykonania i najtańsze. Zalety to pionowy start, możliwość zawisu nad obiektem. Przykładem jest Quadcopter DJI „Mavic Pro Platinum”, którego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Quadcopter DJI „Mavic Pro Platinum”.

Źródło: www.dron.eu.pl (dostęp: 02.07.2025)

³ R.C. Arkin, *The Case for Ethical Autonomy in Unmanned Systems*, „Journal of Military Ethics”, vol. 9, Issue 4, 2010, http://www.cc.gatech.edu/ai/robot-lab/online_publications/Arkin_ethical_autonomous_systems_final.pdf, (dostęp: 19.02.2025 r.).

Bezzałogowe statki powietrzne o stałym skrzydle różnią się całkowicie konstrukcją od jednostek z wieloma wirnikami. Do latania i budowania siły nośnej używają „skrzydła”, tak jak używają go konwencjonalne samoloty. Te drony nie mogą unosić się na miejscu w powietrzu, walcząc z grawitacją. Zamiast tego mogą poruszać się do przodu, po danym kursie i tak długo, jak pozwala na to ich źródło energii⁴. Dron o stałym skrzydle został przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Dron o stałym skrzydle.

Źródło: www.dron.eu.pl (dostęp: 02.07.2025)

Drony z jednym wirnikiem są bardzo podobne w konstrukcji i jak prawdziwe helikoptery. W przeciwieństwie do dronu wielowirnikowego, dron jednowirnikowy ma jedną dużą śrubę napędową plus małą śrubę na ogonie, aby kontrolować kurs. Drony z pojedynczym wirnikiem są znacznie bardziej wydajne niż wersje z wieloma wirnikami. Mają dłuższy czas lotu, a nawet mogą być napędzane silnikami spalinowymi⁵. Dron z pojedynczym wirnikiem został przedstawiony na rysunku 3.

4 R. Boed, *State of Necessity as a Justification for Internationally Wrongful Conduct*, "Yale Humanitarian Rights and Development Journal", vol. 3. Issue. 1, 2000, <http://digitalcommons.law.yale.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1014&context=yhrdlj>, (dostęp: 19.02.2025 r.).

5 *Ibidem*.



Rys. 3. Dron z pojedynczym wirnikiem.

Źródło: www.dron.eu.pl (dostęp: 02.07.2025)

Drony z jednym wirnikiem mają również wady. Maszyny te ze względu na bardziej złożoną konstrukcję mają wysokie koszty i koszty operacyjne. Wymagają również specjalnego szkolenia personelu do zarządzania. Duże rozmiary łopatek wirnika stanowią zagrożenie. Odnotowano wypadki śmiertelnych obrażeń przez śmigło helikoptera RC. Na przykład drony wielobrotowe nigdy nie brały udziału w śmiertelnych wypadkach, chociaż prawdopodobnie zostanie blizna na ludzkim ciele od śmigła dronu wielobrotowego.

Wersje hybrydowe łączą zalety modeli ze stałym skrzydłem, takie jak dłuższy czas lotu, z zaletami modeli opartych na śmigłach-możliwość parowania. Hybrydowe konstrukcje samolotów były projektowane od lat 60., ale nie odniosły większego sukcesu. Jednak wraz z pojawieniem się czujników nowej generacji (żyroskopów i akcelerometrów) hybrydyzacja konstrukcji zyskała nowe życie i kierunek rozwoju⁶. Dron hybrydowy został przedstawiony na rysunku 4.

⁶ *Ibidem*.



Rys. 4. Hybrydowy dron

Źródło: www.dron.eu.pl (dostęp: 02.07.2025)

Drony multirotorowe, najczęściej wykorzystywane przez profesjonalistów i amatorów, cechują się pionowym startem i możliwością zawisu. Modele o stałym skrzydle przypominają tradycyjne samoloty, oferując dłuższy czas lotu, ale bez możliwości zawisu. Drony z pojedynczym wirnikiem działają na zasadzie śmigłowca, są bardziej efektywne, lecz droższe w eksploatacji i wymagają większych umiejętności w obsłudze. Hybrydowe konstrukcje łączą cechy dronów o stałym skrzydle i śmigłowych, oferując większą wszechstronność. Rozwój technologii i czujników przyczynia się do dalszej ewolucji tych maszyn, poszerzając zakres ich zastosowań w różnych dziedzinach.

Zastosowanie i znaczenie bezzałogowych statków powietrznych w ratowaniu życia ludzkiego

Ciągły rozwój świata, który niesie za sobą wiele różnych aspektów pozytywnych dla życia społeczeństw, wiąże się również z występowaniem różnego rodzaju nowych zagrożeń⁷. Zapewnienie bezpieczeństwa swoim obywatelom jest jednym z podstawowych zadań państwa i aby realizować to zadanie, państwo musi dostrzegać możliwości jego utrzymywania za pomocą różnego rodzaju rozwiązań⁸. Dlatego niezwykle ważne jest zastosowanie nowych technologii w ratowaniu życia ludzkiego.

7 Z. Ciekankowski, S. Żurawski, P. Ochyra, H. Wyrębek, *Funkcjonowanie ratownictwa wodnego w Polsce na przykładzie działalności Wodnego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego*, „Alcumena”, 4(16), 2023, s. 99.

8 Z. Ciekankowski, P. Ochyra, A. Marjański, S. Żurawski, *Działalność ratowniczych organizacji pozarządowych w Polsce na przykładzie Tatrzańskiego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego*, „Aviation and security issues”, nr 3, 2023, s. 131.

Bezzałogowe statki powietrzne mogą być również stosowane w medycynie. Dwa główne obszary badań w tej dziedzinie to dostarczanie leków i wykorzystanie dronów jako latających defibrylatorów. Dron z defibrylatorem przedstawiono na rysunku 5.



ŚC

Rys. 5. Dron z defibrylatorem

Źródło: www.dron.eu.pl (dostęp: 02.07.2025)

Precyzyjna nawigacja jest bardzo ważna dla dronów zajmujących się mapowaniem, a także dla dronów wykonujących misje poszukiwawczo-ratownicze.

Podstawową metodą pozycjonowania zarówno dla bezzałogowych statków powietrznych, jak i urządzeń w innych obszarach jest globalny system pozycjonowania (GPS, GLONASS). Odbiornik jest zainstalowany na pokładzie BVS i odbiera dane z satelitów. Ze względu na fakt, że dokładność orientacji zgodnie ze wskazaniami GPS jest dość niska, sieci stacjonarnych wież naziemnych zaczęły być aktywnie wykorzystywane. Takie wieże określają błąd odczytów globalnego systemu pozycjonowania i przesyłają poprawki przez kanał radiowy do odbiorników BVS. Jednym z powszechnych systemów tego typu jest DGPS (Differential Global Positioning System). Aby poprawić dokładność nawigacji, na pokładzie BVS instalowany jest dodatkowo kompleks systemów bezwładnościowych. Zawiera zestaw czujników, dzięki którym autopilot otrzymuje informacje o prędkości, rollach, przyspieszeniach, wysokości, itp.⁹

1. Czujnik barometryczny, za pomocą którego można określić wysokość i automatycznie utrzymać wysokość. Obliczanie wysokości opiera się na tym, że wraz ze wzrostem wysokości spada ciśnienie atmosferyczne, co oznacza, że kontroler lotu

⁹ S. Groves, *Drone Strikes: The Legality of U.S. Targeting Terrorists Abroad*. The Heritage Foundation, <http://www.heritage.org/research/reports/2013/04/drone-strikes-the-legality-of-ustargeting-terrorists-abroad>, (dostęp: 19.02.2025 r.).

odpowiednio reaguje i dostarcza niezbędne sygnały do silników, regulując gaz. Jednak ten czujnik ma wadę, ponieważ różnica ciśnienia jest prawie niewyczerpana nad ziemią, dlatego barometr może ulec awarii.

2. Czujnik ultradźwiękowy opiera się na pomiarze czasu między wysłaniem a odbieraniem fal dźwiękowych odbitych od powierzchni, do której mierzy się wysokość. Takie czujniki mogą również zawieść, jeśli loty są wykonywane w pomieszczeniu z izolacją akustyczną¹⁰.
3. Lidar-urządzenie zbudowane w technologii pozyskiwania i przetwarzania informacji o odległych obiektach za pomocą aktywnych układów optycznych wykorzystujących zjawiska odbicia światła i jego rozpraszania w środowiskach przezroczystych i półprzezroczystych. Wadą lidarów jest duże zużycie energii i duża waga.
4. Kompleks trójosiowego żyroskopu i akcelerometru, który pozwala określić kąt nachylenia BVS względem horyzontu i przyspieszenia obrotu, a także latać dronami płynnie i bez szarpnięć. Żyroskop musi działać błyskawicznie, aby zapewnić stabilny lot urządzenia. Inercyjna jednostka pomiarowa służy do śledzenia aktualnego przyspieszenia urządzenia, wykorzystując do tego kombinację kilku akcelerometrów. Niektóre bloki obejmują również magnetometr służący do dodatkowej stabilizacji aparatu¹¹.

Oprócz rozwoju narzędzi systemów bezwładnościowych do pozycjonowania BWS, ostatnio rozwija się kierunek pozycjonowania wizualnego. W takich metodach stosuje się czujniki pokładowe, kamery, rejestratory DVR lub ich kompleks, a także narzędzia programowe do przetwarzania uzyskanych danych.

Istnieje algorytm określania trójwymiarowych współrzędnych i kątów orientacji BVS bez użycia sygnałów nawigacji satelitarnej. Takie podejście polega na wykorzystaniu komputerowego systemu wizyjnego do generowania i przetwarzania strumienia zdjęć terenu leżącego poniżej, a także dalszego porównywania uzyskanych danych z istniejącymi mapami, w celu znalezienia punktów znaczników. Ze względu na zapotrzebowanie na duży zasób mocy obliczeniowej, taki system obejmuje przetwarzanie odebranych danych na stacji bazowej, a tym samym stałą komunikację z BVS. W celu zwiększenia dokładności podążania daną trasą w warunkach rzadkiej aktualizacji lokalizacji (np. lotu w terenie górzystym), zachodzi potrzeba wprowadzenia w kod oprogramowania mikrokomputera BWS algorytmów optymalizacji lotu, kosztem oceny działających na BWS nieznanymi procesów zewnętrznymi¹².

Operacje poszukiwawczo-ratownicze to jedne z najbardziej istotnych społecznie działań, od jakości przeprowadzania których zależy życie ludzi. Dziś rozwój technologii wpływa nie tylko na czysto techniczne gałęzie gospodarki, ale także na pracę służb poszukiwawczo-ratowniczych.

10 J. Galliot, *Military Robots: Mapping the Moral Landscape*, Ashgate Publishing Limited, 2015, s. 265.

11 J. Galliot, *Uninhabited Aerial Vehicles and the Asymmetry Objection: a Response to Strawser*, "Journal of Military Ethics", vol. Issue 1, 2012, s. 58–66.

12 A. G. Korczenko, O. S. Ilyash, Uogólniona klasyfikacja bezzałogowych statków powietrznych, Zbiór prac naukowych, Charkowski Uniwersytet Sił Powietrznych, nr 4 (33), 2012, s. 27–36.

Głównymi organizacjami i strukturami zajmującymi się poszukiwaniem osób, oprócz policji, są jednostki ratownictwa medycznego i organizacje ochotnicze non-profit, które przeszły odpowiednią rejestrację do prowadzenia działalności poszukiwawczo-ratowniczej.

W warunkach braku ludzi specjaliści wyszukiwarek widzą ogromne wsparcie w bezzałogowych statkach powietrznych. Rozwój parametrów lotu dronów, poprawa jakości kamer i wszechstronność użytkowania dronów w różnych warunkach pogodowych sprawiają, że są niezbędnymi pomocnikami w ratowaniu i odnajdowaniu ludzi¹³. Obecnie doświadczeni specjaliści uważają następujące cechy za główne wymagania dla kopterów będących na wyposażeniu oddziałów poszukiwawczych:

- dobre dane lotu, które pozwalają dronowi działać w prawie każdym warunkach pogodowych;
- wystarczający zasięg i wysokość lotu (szczególnie podczas poszukiwań w terenie zalesionym);
- możliwość latania bez lądowania;
- dobra wydajność kamery dronu (zdjęcia o wysokiej rozdzielczości);
- obecność szeregu czujników (termowizyjnych itp.) na pokładzie koptera.

Wszystkie te wymagania są uzasadnione. Poszukiwacze nie muszą wybierać, w jakim obszarze i w jakich warunkach pogodowych będą musieli przeprowadzić akcję poszukiwawczo-ratowniczą. Mam prośbę – musimy działać. Dlatego ważne jest, aby mieć niezawodny bezzałogowy pojazd, który może wykonywać zdjęcia na wysokości wystarczającej do ominięcia przeszkód w postaci koron drzew, których ładunek wystarcza do pełnego fotografowania wyznaczonego kwadratu wyszukiwania i który może wykonywać misje w temperaturach poniżej zera. Jeszcze bardziej preferowane są modele wyposażone w dodatkowe oświetlenie (do fotografowania w ciemności) i czujniki termowizyjne (a nawet wielospektralne)¹⁴.

Ze względu na szczególne znaczenie misji regularnego monitorowania podległych terytoriów Ministerstwo preferuje niezawodne i wielofunkcyjne kompleksy bezzałogowe. Tak więc podstawą floty BSP są drony typu śmigłowca, które obejmują takie przemysłowe modele DJI copter. Na razie są to quadcoptery Phantom 4 Pro + V2. 0 i Inspire 2. Za pomocą tych kompleksów obsługa monitoruje powietrze i fotografuje kontrolowane terytoria, które są również prowadzone w widmie podczerwonym. System bezzałogowy można skonfigurować w taki sposób, aby skanował obszar wzdłuż określonej trasy, co jest niezwykle ważne, na przykład w celu monitorowania powodzi, pojawienia się ognisk pożarowych itp., przy wysokiej jakości i terminowej pracy takiego planu, ratownicy będą mieli więcej czasu na przeprowadzenie działań ewaku-

13 S. Groves, *Drone Strikes: The Legality of U.S. Targeting Terrorists Abroad*, The Heritage Foundation, <http://www.heritage.org/research/reports/2013/04/drone-strikes-the-legality-of-ustargeting-terrorists-abroad>, (dostęp: 19.02.2025 r.).

14 J. Galliot, *Military...*, *op.cit.*, s. 265.

acyjnych. A jeśli katastrofa już się wydarzyła, strzelanie operacyjne z dronu pomoże znaleźć poszkodowanych ludzi i ich uratować¹⁵.

W przypadku Phantom 4 Pro + V2.0 sensowne jest podkreślenie szeregu zalet, które zapewniają niezawodność operacji poszukiwawczo-ratowniczych:

- aparat z 1-calową matrycą CMOS o rozdzielczości 20 MP, możliwość nagrywania filmów 4K, przy 60 klatkach na sekundę;
- sześć optycznych czujników detekcji, w tym dwa ultradźwiękowe (pozwalają dronowi latać dokładnie określoną trajektorią, ułatwiają automatyczne lądowanie, a także wykonywać loty w ciasnych przestrzeniach);
- technologia FlightAutonomy (wykrywanie przeszkód przy prędkości 50 km/h nawet w trudnych warunkach środowiskowych);
- transmisja wideo OcuSync do 7 km;
- powielanie instrumentów (niezawodność modelu zapewniają jednostki zapasowe inercyjnego systemu nawigacji (ins) i dwa wbudowane kompasy. W przypadku awarii jednego z systemów, uruchamia się automatyczne włączenie zapasowego).

Dzięki tak wysokiej jakości i płynnemu działaniu dronu, ratownikom łatwiej jest przeprowadzić działania ewakuacyjne. A jeśli prace poszukiwawcze zostaną przeprowadzone po klęsce żywiołowej, strzelanie operacyjne pomoże szybko znaleźć ofiary i je uratować.

Bezzałogowe statki powietrzne mogą znacznie przyspieszyć proces wyszukiwania, ponieważ przygotowanie trasy i przelot dronem standardowego kwadratu 500×500 m zajmie nie więcej niż 40 minut, a późniejsze przesyłanie zdjęć i ich analiza zajmie około 30–40 minut. Okazuje się, że w ciągu 1,5 godziny dron i specjaliści pracujący przy przetwarzaniu materiału fotograficznego z kamery dronu wykonują tę samą pracę. Jednocześnie oszczędza się zasoby ludzkie i siły wolontariuszy, które są już przydatne do omijania najtrudniejszych obszarów, których nie można skanować z powietrza.¹⁶

Koordinatorzy poszukiwań i najbardziej doświadczeni specjaliści oddziałów przeprowadzają wywiady z krewnymi zagubionej osoby, w celu ustalenia możliwej trasy poszukiwania. Ich zadaniem jest zbudowanie mapy wyszukiwania w celu późniejszego uruchomienia dronów w celu „opracowania” stref, które są w ich mocy. Specjaliści LizaAlert chwalą również możliwości programów służących do obsługi dronów DJI. W szczególności mówimy o programie DJI Ground Station Pro, dzięki któremu można zbudować trasę poszukiwania zaginionej osoby w mniej niż minutę. Operator dronu dostosowuje wymaganą wysokość lotu urządzenia, procent nakładania się zdjęć (w większości przypadków stosuje się 60%), kierunek lotu i inne parametry.

Konfiguracja i przygotowanie dronu do lotu, zajmuje nie więcej niż 15 minut od momentu przybycia specjalistycznego operatora dronu na miejsce wyszukiwania. Gdy dron ćwiczy dany kwadrat terenu i zachodzi potrzeba wymiany akumulatora, wraca na miejsce startu, tj. wykorzystuje funkcję Return To Home. Pilot zmienia ba-

15 A. G., Korczenko, O. S. Ilyash, *Uogólniona klasyfikacja...*, op.cit., s. 27–36.

16 *Ibidem*.

terię i kartę pamięci na dronie, a dron jest gotowy do uruchomienia i zeskanowania już nowego kwadratu terenu.

Najnowsze osiągnięcia firmy IntelliNet Sensors pozwalają znaleźć ludzi pod gruzami budynków, w miejscach katastrofy samolotu, trzęsień ziemi¹⁷. Moduły są w stanie wychwycić odchylenia w polu elektromagnetycznym i określić bicie serca i oddech ofiar, w trybie automatycznym obliczyć przybliżoną odległość od obiektu. Ta technologia pomaga szybko wykryć zagubionych i uratować życie wielu ludzi. Taki moduł pasuje do każdego modelu quadrakoptera¹⁸.

Dronów używa się do czegoś więcej, nie tylko do poszukiwania ludzi. Ratownicy za pomocą dronów badają linię brzegową, szybko reagują na naruszenia, ostrzegając przed tragedią na wodzie. Monitorowane są oficjalne plaże i wybrzeża, które nie są przeznaczone do pływania. Na „dzikich „ plażach trudno jest zapobiegać wypadkom. Na poniższym rysunku przedstawiono przykład dronu ratującego topiących się.



Rys. 6. Drony ratują topiących się

Źródło: www.dron.eu.pl (dostęp: 02.07.2025)

Na wybrzeżu Australii wielokrotnie ratowano tonących za pomocą BSP. Są to specjalne drony rozwijające prędkość do 85 km / h i zdolne do latania ponad 100 km na jednym ładowaniu. Poduszka jest przymocowana do dronów ratowniczych, automatycznie napompowuje się w kontakcie z wodą i pozwala tonącym utrzymać się na powierzchni przed przybyciem łodzi. Do tej samej metody uciekali się także niemieccy ratownicy na Wybrzeżu Bałtyckim, a także Hiszpanie.

17 M. E. O'Connell, *Remarks: The Resort to Drones under International Law*, "Denver Journal of International Law & Policy", 2011.
18 A. Pryer, *The Rise of Machines*, "Military Review", vol. 93. Issue 2, 2013, s. 14–24.

Quadkoptery pomagają utrzymać porządek na obszarach chronionych i przygranicznych. Podczas monitorowania terenu urządzenia rejestrują przekraczanie granic, nielegalną działalność, dokonywanie przemytu, a nawet przygotowywanie ataków terrorystycznych. Uzyskanie takich informacji operacyjnych pozwala¹⁹ przybyć organom ścigania na czas, aby zapobiec przestępstwom i rozbroić przestępców.

Zaawansowane moduły docelowe nie tylko rejestrują pełny obraz tego, co się dzieje, ale także rozpoznają znaki samochodowe i twarze. Drony organów ścigania i straży granicznej są wyposażone w moduł aktywnego śledzenia obiektu: urządzenia wykrywają cel, przechwytyują i monitorują, nawet jeśli obiekt jest nieruchomy.

BSP niezwłocznie dostarczają informacji o rozwoju wydarzeń. Daje to agentom możliwość prawidłowej oceny sytuacji i podjęcia decyzji w celu uniknięcia ofiar ludzkich.

Rozwój programów dla dronów zależy bezpośrednio od zadania postawionego przed samolotem: rozpoznawanie twarzy i działań, odczyt informacji i śledzenie obiektu, rozpoznanie i ocena stanu pól uprawnych, poszukiwanie ludzi.

Grupa szwajcarskich naukowców opracowała specjalny program, który uczy drony rozpoznawania ścieżek leśnych. Dron nie używa w tym przypadku skomplikowanych czujników, jak podczas wyszukiwania ludzi pod gruzami, odczytuje i przetwarza za pomocą złożonego algorytmu obrazy szlaków leśnych, a gdy ścieżka zostanie wykryta, podąża określoną ścieżką. Do poprawnej interpretacji wykorzystuje się głęboką sieć neuronową działającą na analogu ludzkiego mózgu. Drony w 85% przypadków prawidłowo wybrały szlak, zaś wskaźnik dla ratowników to 82%. Różnica 3 procent przyspiesza poszukiwania zagubionych na wolności.

Efektywność operacyjna bezzałogowych statków powietrznych w działaniach ratowniczych została potwierdzona w wielu udokumentowanych przypadkach praktycznych. Szczególnie warto zwrócić uwagę na zastosowanie dronów w działaniach poszukiwawczo-ratowniczych (SAR), podczas których liczy się szybkie rozpoznanie sytuacji terenowej, lokalizacja poszkodowanych oraz zapewnienie im pomocy w jak najkrótszym czasie. W praktyce BSP były wykorzystywane m.in. do:

- lokalizacji osób zaginionych w terenach trudno dostępnych – np. zalesionych lub górskich, dzięki wykorzystaniu kamer termowizyjnych oraz oprogramowania DJI Ground Station Pro;
- dostarczania defibrylatorów za pomocą specjalistycznych BSP, co znacząco skraca czas dotarcia do osoby wymagającej pomocy przedmedycznej – systemy tego typu wdrażane są pilotażowo m.in. w krajach skandynawskich;
- ratowania tonących – przykładowo w Australii zastosowano szybkie drony ratownicze wyposażone w automatycznie nadmuchiwane poduszki, które umożliwiały osobom tonącym utrzymać się na wodzie do czasu dotarcia łodzi ratunkowej;

19 A. Pawłowicz, *Konstrukcje anten mobilnych i anten samolotów. Projektowanie i obliczenia. Samouczek. Część II*, „Inżynieria Mechaniczna”, 2015, s. 485.

- monitorowania linii brzegowej oraz terenów zalewowych, co ma kluczowe znaczenie w przeciwdziałaniu utonięciom oraz w szybkiej lokalizacji ognisk powodziowych;
- analizy zniszczeń po katastrofach naturalnych – zdjęcia i nagrania wykonane z powietrza pozwalają na wstępną ocenę skali zniszczeń i określenie priorytetów działań ratowniczych bez narażania życia personelu.

Szczególnie interesującym przypadkiem praktycznym jest wykorzystanie modeli DJI Phantom 4 Pro+ V2.0 oraz Inspire 2. Urządzenia te, dzięki zaawansowanym czujnikom, wysokiej jakości kamerom i systemom redundancji, umożliwiają prowadzenie autonomicznych lotów, rejestrowanie obrazu w wysokiej rozdzielczości oraz bezpieczny powrót w trybie awaryjnym (funkcja „Return to Home”). Dzięki takim rozwiązaniom, zespół ratowników może w przeciągu około 90 minut uzyskać pełen obraz sytuacji w wyznaczonym sektorze o powierzchni 25 ha.

Drony zintegrowane z systemami opartymi na czujnikach elektromagnetycznych (np. IntelliNet Sensors) pozwalają także na detekcję oznak życia (oddechu i tętna) pod gruzami, co znajduje zastosowanie podczas działań po trzęsieniach ziemi lub katastrofach budowlanych. Użycie takich systemów znacznie zwiększa szanse na przeżycie osób poszkodowanych.

Analiza powyższych przykładów wskazuje na wysoką skuteczność operacyjną BSP w ratownictwie, szczególnie w działaniach wymagających szybkiego reagowania, elastyczności oraz minimalizacji ryzyka dla ludzi. Zgromadzone doświadczenia jednoznacznie potwierdzają postawioną w artykule hipotezę badawczą, zgodnie z którą zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych znacząco zwiększa efektywność działań ratowniczych.

Inteligentny program rozpoznawania obiektów dla bezzałogowych statków powietrznych

Systemy sterowania nowoczesnymi bezzałogowymi statkami powietrznymi (BSP) są zaprojektowane do sterowania złożonymi, wielofunkcyjnymi obiektami działającymi w złożonym środowisku. Podczas jazdy BSP w trybie automatycznym zgodnie z zadaniem lotu system sterowania BSP powinien zapewniać regulację położenia BSP na podstawie danych uzyskanych z systemu nawigacji.

Alternatywnym źródłem danych do nawigacji w systemach sterowania BSP może być kanał pozyskiwania obrazów cyfrowych z optycznego systemu nadzoru BSP. Większość nowoczesnych systemów nawigacji pokładowej opartych na wizji technicznej działa w trybie automatycznym, przesyłając wstępnie przetworzony obraz wideo do operatora²⁰. Jednak takie podejście wymaga komunikacji z naziemnym punktem kontrolnym podczas lotu, co nie jest zapewnione w rzeczywistych warunkach.

²⁰ General Atomics MQ-9 Reaper, <https://zbiam.pl/artykuly/general-atomics-mq-9-reaper/>, (dostęp: 19.02.2025 r.).

Obecnie aktywnie prowadzone są badania i tworzone są systemy automatycznej nawigacji i sterowania BSP oparte na wizji technicznej. Zastosowanie takich systemów pozwala uniknąć zależności sterowania BSP od zewnętrznych czujników, zwiększając w ten sposób niezawodność systemu sterowania. Tworzenie misji w tym przypadku odbywa się w kategoriach obiektów zainteresowania, a nie współrzędnych ich położenia, co zwiększa dokładność systemów sterowania BSP. Główne jednostki systemu to:

1) System przetwarzania i rozpoznawania obrazów obiektów na powierzchni Ziemi, obejmujący:

- czujnik obrazu;
- jednostka wykrywania i rozpoznawania obiektów zaimplementowana w postaci specjalistycznego kalkulatora.

2) System kształtowania sygnałów sterujących poruszającym się obiektem²¹.

Przypisanie autonomicznego systemu sterowania BSP opartego na przetwarzaniu obrazu sprowadza się do jak najbardziej efektywnego wykrywania określonych obiektów na terenie, ich klasyfikacji (identyfikacji) w ustalonych klasach i wydawania odpowiednich dyrektyw wykonawczemu systemowi sterowania. Główną jednostką systemu, która rozwiązuje główne zadanie wykrywania i klasyfikacji obiektów, jest system przetwarzania i rozpoznawania obrazów. System ten składa się z czujnika obrazu oraz jednostki wykrywania i rozpoznawania obiektów zaimplementowanej jako wyspecjalizowany komputer. Szybkość i jakość decyzji systemu sterowania BSP zależy od dokładności i szybkości rozpoznawania obiektów²².

Obecnie istniejące algorytmy przetwarzania obrazu cyfrowego nie pozwalają na osiągnięcie dokładności porównywalnej z przetwarzaniem obrazu przez człowieka operatora. Ponadto przetwarzanie obrazu musi odbywać się w czasie rzeczywistym, co nakłada dodatkowe ograniczenia na możliwość zastosowania znanych algorytmów widzenia technicznego. W ten sposób poprawa funkcjonowania systemu cyfrowego przetwarzania obrazu pozwala na poprawę jakości systemu sterowania BSP.

Podczas projektowania jednostki wykrywania i rozpoznawania należy wziąć pod uwagę, że zadania wykrywania i rozpoznawania muszą być rozwiązywane w czasie rzeczywistym i przy ograniczonych zasobach obliczeniowych. Dlatego obiecujące są tutaj podejścia, które umożliwiają ujednoczenie procedur przetwarzania w oparciu o jeden aparat matematyczny. Jedno z takich podejść opiera się na transformacji falkowej.

Transformacja falkowa pozwala wyodrębnić informacje o zmianie sygnału w różnych skalach. W zadaniach cyfrowego przetwarzania obrazu umożliwia przedstawienie obrazu jako zbioru jego kolejnych przybliżeń. Przedstawienie obrazu jako współczynników szczegółów dla różnych rozdzielczości daje możliwość zastosowania

21 R. Boed, *State of Necessity as a Justification for Internationally Wrongful Conduct*, "Yale Humanitarian Rights and Development Journal", vol. 3. Issue. 1, 2000, <http://digitalcommons.law.yale.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1014&context=yhrdlj> (dostęp: 19.02.2025 r.).

22 M. E. O'Connel, *Remarks: The Resort ...*, *op.cit.*, s. 14–24.

transformacji falkowej w systemach o słabej mocy obliczeniowej i w warunkach ograniczonych zasobów.

Transformacja falkowa jest dobrze sprawdzona do stosowania na niższym poziomie przetwarzania obrazu w zadaniach takich jak filtrowanie szumów i kompresja. Jednak obecnie algorytmy niższego poziomu można uznać za dobrze opracowane i szczegółowo zbadane. Natomiast algorytmy średniego poziomu, do których należą algorytmy segmentacji obrazu, i algorytmy wysokiego poziomu, do których należą metody podkreślania struktury geometrycznej i semantyki, nadal są centralnym polem zastosowania wysiłków badawczych.

Segmentacja wykonywana na średnim poziomie przetwarzania obrazu to podział obrazu na obszary składowe. Stopień szczegółowości, do którego przeprowadzany jest ten podział, zależy od rozwiązane go problemu. Segmentacja nietrywialnych obrazów jest jednym z najtrudniejszych zadań przetwarzania obrazu. Ostateczny sukces komputerowych procedur analizy obrazu zależy w dużej mierze od dokładności segmentacji. Poprawę wyników segmentacji można osiągnąć poprzez zastosowanie transformacji falkowej²³.

Za pomocą transformacji falkowej poprzez sekwencyjne zgrubienie (lub udoskonalenie) obrazu można zidentyfikować jego lokalne cechy (charakterystyczne szczególności obrazu) i sklasyfikować je. Jako charakterystyczne cechy obrazu stosuje się specjalne punkty odzwierciedlające obszary największej zmiany funkcji jasności obrazu.

Punkty specjalne (punkt kluczowy, funkcja punktowa) nazywane są punktami zawierającymi podstawowe informacje o obrazie. Ludzkie oko automatycznie lokalizuje specjalne punkty. Punkty specjalne zwykle znajdują się w miejscach o dużej różnicy jasności pikseli, na granicach i krawędziach obiektów. Obecnie punkty specjalne są szeroko stosowane w zadaniach wyszukiwania podobnych obrazów oraz w zadaniach trójwymiarowej rekonstrukcji obiektów²⁴. Specjalne punkty transformacji falkowej pozwalają wyrazić zmiany funkcji jasności obrazu jako wagę obliczoną na podstawie wartości współczynników transformacji falkowej uzyskanych na różnych poziomach transformacji. Algorytm przydzielania punktów specjalnych składa się z następujących kroków:

- określa się końcowy poziom transformacji falkowej i (głębokość transformacji);
- dla każdego współczynnika falkowego na poziomie podstawowym znajdują się współczynniki falkowe potomne na następnym poziomie. Ta procedura jest kontynuowana rekurencyjnie, aż do osiągnięcia określonego końcowego poziomu transformacji;
- dla każdego współczynnika potomnego końcowego poziomu transformacji oblicza się wagę według wzoru;

23 V. T. Kalugin, *Aerogazodynamika kontroli lotów samolotów*, Warszawa: Szkoła wyższa, 2004.

24 A. Pawłowicz, *Konstrukcje...*, *op.cit.*

- następuje udoskonalenie wagi punktu specjalnego w miarę rekurencyjnego powrotu z podrzędnych współczynników do współczynników nadrzędnych poziomu początkowego według wzoru;
- określa się wartość progową p , określającą punkty specjalne jako punkty o wynikowej wartości masy przekraczającej wartość progową p .

Zaznaczenie obszaru zawierającego obiekt odbywa się poprzez segmentację uzyskanego obrazu za pomocą algorytmu znakowania po linii połączonych komponentów.

Po linii algorytm znakowania połączonych komponentów opiera się na klasycznym poszukiwaniu połączonych komponentów na wykresach. W przeciwieństwie do klasycznego algorytmu znakowania linii po linii, który wykorzystuje dwa przejścia przez obraz, w tej pracy zastosowano jednoprzebiegowy algorytm znakowania połączonych komponentów z pośrednim przechowywaniem współrzędnych pikseli sąsiednich obszarów w pamięci. Jeśli podczas próby oznaczenia piksela okaże się, że została już przypisana etykieta, a wartość tej etykiety jest mniejsza niż wartość przypisanej, wówczas oznaczenie poprzedniego piksela zostanie zmienione za pomocą mniejszej etykiety. W takim przypadku należy przejść przez wszystkie elementy obszaru o większej wartości etykiety i ponownie oznaczyć je i dołączyć do obszaru o mniejszej wartości etykiety.

Po przeanalizowaniu wszystkich pikseli obrazu cyfrowego, zbiory pikseli każdej klasy równoważności z określoną etykietą tworzą segmenty (obiekty) oryginalnego obrazu cyfrowego. Zaletą segmentacji opartej na specjalnych punktach transformacji falkowej jest poprawa dokładności pozycjonowania obiektów i zwiększenie szybkości przetwarzania obrazu na średnim poziomie przetwarzania obrazu. Rozpoznawanie obiektów poprzez porównywanie deskryptorów punktów specjalnych transformacji falkowej.

Aby usprawnić proces przetwarzania obrazu na wysokim poziomie, można zastosować metodę rozpoznawania obiektów, polegającą na konstruowaniu i porównywaniu deskryptorów cech punktowych transformacji falkowej. Konsekwentne stosowanie tych procedur pozwala przyspieszyć proces analizy obrazu na wysokim poziomie przetwarzania²⁵. Podsumowując, można wywnioskować, że dzielenie segmentacji i rozpoznawania oparte na transformacji falkowej pozwoliło na większą dokładność poleceń sterowania.

Podsumowanie

Bezzałogowe statki powietrzne (BSP) odgrywają coraz większą rolę w ratownictwie, znacząco wpływając na skuteczność działań w sytuacjach kryzysowych. Analiza ich

25 R. Dopplick, *ASIL Keynote Highlight: US Legal Advisor Harold Koh Asserts Drones Warfare is Lawful Self-Defense Under International Law*, "Inside Justice" 2010, http://www.insidejustice.com/intl/2010/03/27/asil_koh_drone_war_law/, (dostęp: 19.02.2025 r.).

zastosowania wykazała, że drony umożliwiają szybkie dotarcie do trudno dostępnych terenów, co jest kluczowe podczas akcji poszukiwawczo-ratunkowych, katastrof naturalnych czy pożarów. Ich zdolność do monitorowania obszarów zagrożonych oraz dostarczania pomocy medycznej sprawia, że są niezastąpionym wsparciem dla służb ratowniczych. Drony pozwalają także na minimalizację ryzyka dla ratowników, ponieważ mogą być wykorzystywane do wstępnej oceny sytuacji, wykrywania niebezpiecznych substancji czy analizowania skutków katastrof, zanim na miejsce dotrą ludzie.

Pomimo licznych zalet, wciąż istnieją pewne ograniczenia technologiczne i prawne, które mogą utrudniać pełne wykorzystanie potencjału dronów w ratownictwie. Należą do nich przede wszystkim kwestie związane z czasem lotu, odpornością na trudne warunki atmosferyczne oraz koniecznością dostosowania przepisów prawnych regulujących przestrzeń powietrzną. Wciąż pojawiają się wyzwania związane z integracją tych urządzeń z tradycyjnymi metodami działania służb ratunkowych oraz ich efektywnym zarządzaniem w sytuacjach kryzysowych.

Przedstawione przypadki – takie jak wykorzystanie dronów do dostarczania defibrylatorów, lokalizacji poszkodowanych za pomocą kamer termowizyjnych, monitorowania akwenów czy szybkiego skanowania terenu poszukiwań – potwierdzają wysoką skuteczność BSP w realnych operacjach ratowniczych. Udokumentowane działania służb w Australii, Niemczech i Hiszpanii jednoznacznie wskazują, że zastosowanie BSP przyczyniło się do uratowania życia ludzkiego, skrócenia czasu akcji oraz zwiększenia bezpieczeństwa ratowników. Potwierdza to postawioną w artykule hipotezę o znaczącym wpływie BSP na efektywność działań ratunkowych.

W przyszłości konieczne są dalsze badania nad rozwojem technologii, które pozwolą na jeszcze większą autonomię dronów, zwiększenie ich zasięgu oraz odporność na ekstremalne warunki pogodowe. Ważnym aspektem jest również rozwój systemów zarządzania ruchem powietrznym oraz regulacji prawnych, które pozwolą na szersze i bardziej efektywne wykorzystanie BSP w sytuacjach awaryjnych. Właściwa integracja dronów z systemami ratowniczymi może znacząco poprawić skuteczność działań, zwiększając szanse na ratowanie ludzkiego życia oraz minimalizację strat materialnych. Bezzałogowe statki powietrzne mają więc ogromny potencjał w ratownictwie, a ich rola w przyszłości będzie prawdopodobnie jeszcze bardziej znacząca.

Bibliografia

1. Arkin R. C., *The Case for Ethical Autonomy in Unmanned Systems*, "Journal of Military Ethics", vol. 9, Issue 4, 2010, http://www.cc.gatech.edu/ai/robot-lab/online_publications/Arkin_ethical_autonomous_systems_final.pdf
2. Boed R., *State of Necessity as a Justification for Internationally Wrongful Conduct*, "Yale Humanitarian Rights and Development Journal", vol. 3. Issue. 1, 2000, <http://digitalcommons.law.yale.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1014&context=yhrdlj>
3. Ciekankowski Z., Żurawski S., Ochyra P., Wyrębek H., *Funkcjonowanie ratownictwa wodnego w Polsce na przykładzie działalności Wodnego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego*, „Alcumena”, 4(16), 2023, s. 99.
4. Ciekankowski Z., Ochyra P., Marjański A., Żurawski S., *Działalność ratowniczych organizacji pozarządowych w Polsce na przykładzie Tatrzańskiego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego*, „Aviation and security issues”, nr 3, 2023.
5. Dopplick R., *ASIL Keynote Highlight: US Legal Advisor Harold Koh Asserts Drones Warfare is Lawful SelfDefense Under International Law*, "Inside Justice" 2010, http://www.insidejustice.com/intl/2010/03/27/asil_koh_drone_war_law/
6. Galliot J., *Military Robots: Mapping the Moral Landscape*, Ashgate Publishing Limited, 2015.
7. Galliot J., *Uninhabited Aerial Vehicles and the Asymmetry Objection: a Response to Strawser*, "Journal of Military Ethics", vol. Issue 1, 2012.
8. General Atomics MQ-9 Reaper, <https://zbiam.pl/artykuly/general-atomics-mq-9-reaper/>
9. Groves S., *Drone Strikes: The Legality of U.S. Targeting Terrorists Abroad*, The Heritage Foundation, <http://www.heritage.org/research/reports/2013/04/drone-strikes-the-legality-of-ustargeting-terrorists-abroad>
10. Kalugin V. T., *Aerogazodynamika kontroli lotów samolotów*, Warszawa: Szkoła wyższa, 2004.
11. Korczenko A. G., Ilyash O. S., *Uogólniona klasyfikacja bezzałogowych statków powietrznych*, Zbiór prac naukowych, Charkowski Uniwersytet Sił Powietrznych, nr 4 (33), 2012.
12. Lutek M., *Wybrane aspekty problematyki odpowiedzialności za szkody spowodowane bezzałogowymi statkami powietrznymi*, „Przegląd Ustawodawstwa Gospodarczego”, nr 3, 2019.
13. O'Connell M. E., *Remarks: The Resort to Drones under International Law*, "Denver Journal of International Law & Policy", 2011.
14. Parczewski R., *Użycie bezzałogowych Sstatków powietrznych typu Flyeye na potrzeby wojskowej ochrony przeciwpożarowej – wyniki badań*, „De Securitate et Defensione. O Bezpieczeństwie i Obronności”, nr 2, 2021.
15. Pawłowicz A., *Konstrukcje anten mobilnych i anten samolotów. Projektowanie i obliczenia. Samouczek. Część II*, „Inżynieria Mechaniczna”, 2015.
16. Pryer A., *The Rise of Machines*, "Military Review", vol. 93. Issue 2, 2013.