

Maciej Zawistowski^{a)*}, Radosław Fellner^{b)}

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

^{b)} *the Main School of Fire Service/ Szkoła Główna Służby Pożarniczej*

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

Important Parameters and Settings in Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Operational Work of the Fire Brigade

Istotne parametry i ustawienia w bezzałogowych statkach powietrznych (BSP) w pracy operacyjnej straży pożarnej

ABSTRACT

Aim: The article presents a set of parameters and settings for unmanned aerial vehicles (UAV), which is crucial in the operational work of the fire brigade and its importance for the quality of the final material obtained from an RGB camera or a thermal imaging camera.

Introduction: Unmanned aerial vehicles (UAVs) are more often and more boldly used by various uniformed formations, including pilots of the State Fire Service and Volunteer Fire Brigades. Currently, they are used to perform recognition of situations and coordination of activities with the use of RGB and thermal imaging cameras. There are also other applications of UAV, including firefighting, but at the moment they are only conceptual solutions, as they have not been tested during an actual firefighting operation. According to the authors, a drone is currently only a carrier of additional devices and its functionality during the operation depends largely on certainty and reliability of a given UAV structure, as well as on the type and quality of the elements and sensors mounted on it.

Methodology: A review of literature and press reports, as well as the authors' experience in working with UAVs and the results of their research were used to analyse the topic.

Conclusions: Indicating a set of key parameters for the UAVs used by fire brigade users is only possible to define its application. Therefore, in this study, the authors presented the most common use of unmanned aerial vehicles, for which key parameters were indicated and the impact of these factors on the obtained results of drones was described. Due to the frequent neglect of camera operation and the importance of their parameters, the authors described the most frequently set parameters of photographs and their impact on the final result, which is of key importance for the usefulness of the collected material.

Keywords: parameters, UAV, settings, rescue, fire brigade

Type of article: review article

Received: 04.10.2021; Reviewed: 28.10.2021; Accepted: 02.11.2021;

Authors' ORCID IDs: M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376; R. Fellner– 0000-0002-9095-4996;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 92–118, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.6>;

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

ABSTRAKT

Cel: W artykule przedstawiono zbiór parametrów i ustawień bezzałogowych statków powietrznych (BSP), który jest kluczowy w pracy operacyjnej straży pożarnej oraz jego znaczenie dla jakości finalnego materiału uzyskanego z kamery RGB lub kamery termowizyjnej.

Wprowadzenie: Bezzałogowe statki powietrzne (BSP) coraz częściej i odważniej stosowane są przez różne formacje mundurowe, w tym przez pilotów Państwowej Straży Pożarnej i Ochotniczych Straży Pożarnych. Obecnie służą one do wykonywania rozpoznawania sytuacji i koordynacji działań z wykorzystaniem kamer RGB i termowizyjnych. Pojawiają się również inne zastosowania BSP, w tym do gaszenia pożarów, jednak na ten moment są to jedynie rozwiązania koncepcyjne, ponieważ nie zostały poddane testom w czasie rzeczywistej akcji gaśniczej. Zdaniem autorów dron obecnie jest jedynie nośnikiem dodatkowych urządzeń i jego funkcjonalność w trakcie akcji zależy w dużej mierze od pewności i niezawodności danej konstrukcji BSP, a także od rodzaju i jakości elementów i czujników na niej zamontowanych.

Metodologia: Do analizy tematu wykorzystano przegląd literatury i doniesień prasowych, a także doświadczenie autorów w pracy z BSP oraz wyniki prowadzonych przez nich badań.

Wnioski: Wskazanie zbioru parametrów kluczowych dla BSP wykorzystywanego przez użytkowników straży pożarnej jest możliwe jedynie poprzez zdefiniowanie jego zastosowania. Dlatego w niniejszej pracy autorzy przedstawili najczęstsze wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych, do których

wskazano kluczowe parametry i opisano wpływ tych czynników na uzyskane rezultaty pracy dronów. Ze względu na częste zaniedbania w zakresie obsługi kamery i znaczenia ich parametrów, autorzy opisali najczęściej ustawiane parametry zdjęć i ich wpływ na efekt końcowy, który ma kluczowe znaczenie dla użyteczności zbieranego materiału.

Słowa kluczowe: ratownictwo, parametry, BSP, straż pożarna, ustawienia

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 04.10.2021; **Zrecenzowany:** 28.10.2021; **Zaakceptowany:** 02.11.2021;

Identyfikatory ORCID autorów: M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376; R. Fellner – 0000-0002-9095-4996;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 58 Issue 2, 2021, pp. 92–118, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.6>;

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

Introduction

In order to comprehensively answer the question what set of parameters and settings of unmanned aerial vehicles is crucial for the work of a firefighter and how these parameters affect the possibility of using a given UAV structure, first of all, it is necessary to consider how the fire brigades use unmanned aerial vehicles, popularly called drones. Based on the review of literature [14] and internet reports, it can be concluded that the possibilities of using unmanned aerial vehicles in the fire service are very wide. The authors propose a division of UAVs into those used for:

- search and rescue,
- extinguishing fires,
- monitoring and observation,
- other purposes (e.g. detecting harmful substances, ensuring communication, carrying small loads, etc.).

More and more companies present solutions for the construction of firefighting drones. However, these are usually large structures that have never been used in real firefighting operations, but only presented at shows. The examples are presented later in the article. Currently, drones, much more often than the firefighting function, play a supporting role, providing a view of the field of action from above and thus allowing for better coordination of rescue and firefighting operations, as well as providing up-to-date photographic maps called orthophotomaps and maps of temperature distribution. The following actions supported by UAVs are distinguished in the scientific literature:

- detection, monitoring, firefighting,
- search and rescue,
- damage assessment, increasing situational awareness, material transport, risk assessment.

Besides the above examples of using drones, they can also be used in other ways. There are many constructions that allow, among others:

- detecting of hazardous substances,
- moving small loads,
- providing radio communication in the area affected by a natural disaster.

Each of the applications mentioned above, due to the different use, determines the fulfilment of other technical requirements by the UAV and a separate configuration of its parameters. Thus, structures adapted to a specific purpose will have to meet other

Wprowadzenie

Aby móc odpowiedzieć kompleksowo na pytanie, jaki zbiór parametrów i ustawień bezzałogowych statków powietrznych jest kluczowy dla pracy strażaka oraz jak parametry te wpływają na możliwości wykorzystania danej konstrukcji BSP, należy w pierwszej kolejności zastanowić się, w jaki sposób funkcjonariusze straży wykorzystują bezzałogowe statki powietrzne, popularnie nazywane dronami. Na podstawie przeglądu literatury [14] i doniesień internetowych można stwierdzić, że możliwości zastosowania bezzałogowych statków powietrznych w straży pożarnej są bardzo szerokie. Autorzy proponują podział BSP na służące do:

- poszukiwań i ratownictwa,
- gaszenia pożarów,
- monitoringu i obserwacji,
- innych celów (np. detekcja substancji szkodliwych, zapewnienie komunikacji, przenoszenie niewielkich ładunków itp.).

Coraz częściej firmy prezentują rozwiązania w zakresie konstrukcji dronów gaśniczych. Są to jednak z reguły duże konstrukcje, które nie były nigdy wykorzystywane w rzeczywistych akcjach gaśniczych, a jedynie prezentowane na pokazach. Przykłady przedstawiono w dalszej części artykułu. Obecnie zdecydowanie częściej drony zamiast funkcji gaśniczej pełnią rolę wspomagającą, zapewniając widok pola działań z góry i tym samym pozwalając na lepszą koordynację akcji ratowniczo-gaśniczej oraz dostarczając aktualnych map fotograficznych zwanych ortofotomapami oraz map rozkładu temperatury. W literaturze naukowej wyróżniono następujące zadania wspierane przez BSP:

- detekcja, monitoring, zwalczanie pożarów,
- poszukiwanie i ratownictwo,
- ocena zniszczeń, zwiększenie świadomości sytuacyjnej, transport materiałów, ocena ryzyka.

Poza powyższymi przykładami użycia dronów mogą one również być wykorzystane w inny sposób. Istnieje wiele konstrukcji pozwalających na m.in.:

- wykrywanie substancji niebezpiecznych,
- przenoszenie niewielkich ładunków,
- zapewnianie łączności radiowej na obszarze dotkniętym klęską żywiołową.

Każde z powyższych zastosowań ze względu na różne wykorzystanie determinuje spełnienie przez BSP innych wymagań

technical requirements in order to correctly and safely perform the entrusted tasks.

Key parameters and settings for unmanned aerial vehicles

The authors of the article base their knowledge both on experience in research and flights, as well as consultations with representatives of State Fire Brigade (PSP) and Volunteer Fire Brigade units (OSP), as well as the results of the work of the UAV teams of the Chief Commandant of the State Fire Service¹. In their opinion, it is impossible to clearly define all the most important parameters of a drone without indicating its intended use. However, it is possible to define homogeneous settings, e.g. concerning the safety of operations with the use of UAVs. One of the examples of settings for such functions are those related to spatial awareness (e.g. geofencing, geocaching) and emergency – e.g. hovering or RTH (return to home).

Considering the dynamic progress of unmanned systems and seeing them as a useful tool for ensuring public safety, protection of health and life and property, as well as the need to verify the parameters and performance of unmanned vehicles, the Commander-in-Chief of the State Fire Service, by decision No. 51 of 4 June 2020, he appointed a working team for new products, i.e. “Unmanned and autonomous platforms”, “Unmanned aerial vehicles”, “Robots”². The task of the team is not only to define the technical and operational requirements for the products of unmanned platforms (flying, driving and floating), which are important in the operational work of fire protection units, but also to develop research methodologies and methods for checking the reliability and repeatability of platform parameters. By September 2021, the team had developed a working material containing the proposed technical and operational requirements for UAVs.

Moreover, by decision no. 3 of 25 January 2021 the Commander-in-Chief of the State Fire Service appointed a task force to develop the documentation necessary to obtain a Certificate of the Operator of Light Unmanned Aerial Systems for the State Fire Service and to develop the rules for the use of unmanned aerial vehicles in the State Fire Service. As part of the work,

technicznych i osobną konfigurację jego parametrów. Tym samym konstrukcje przystosowane do określonego celu będą musiały spełniać inne wymagania techniczne w celu poprawnej i bezpiecznej realizacji powierzonych zadań.

Kluczowe parametry i ustawienia bezzałogowych statków powietrznych

Autorzy artykułu opierają swoją wiedzę zarówno na doświadczeniu w badaniach i lotach oraz konsultacjach z przedstawicielami jednostek PSP i OSP, jak i wynikach prac zespołów ds. BSP Komendanta Głównego PSP¹. W ich opinii nie można określić jednoznacznie wszystkich najważniejszych parametrów drona bez wskazania jego docelowego zastosowania. Możliwe jest natomiast określenie jednorodnych ustawień np. dotyczących bezpieczeństwa operacji z wykorzystaniem BSP. Jednym z przykładów ustawień takich funkcji są te dotyczące świadomości przestrzennej (np. *geofencing*, *geocaching*) oraz awaryjne – np. zawis czy RTH (ang. *return to home*).

Mając na uwadze dynamiczny postęp systemów bezzałogowych oraz dostrzegając w nich przydatne narzędzie służące zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego, ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także uwzględniając potrzebę weryfikacji parametrów i osiągnięć pojazdów bezzałogowych, Komendant Główny PSP decyzją nr 51 z dn. 04.06.2020 r. powołał zespół roboczy ds. nowych wyrobów tj. „Platform bezzałogowych i autonomicznych”, „Bezzałogowych statków powietrznych”, „Robotów”². Zadaniem zespołu jest nie tylko określenie wymagań techniczno-użytkowych wyrobów platform bezzałogowych (latających, jeżdżących i pływających), które są istotne w pracy operacyjnej jednostek ochrony przeciwpożarowej, ale także opracowanie metodyk badawczych i metod sprawdzania wiarygodności i powtarzalności parametrów platform. Do września 2021 r. zespół opracował roboczy materiał zawierający proponowane wymagania techniczno-użytkowe dla BSP.

Ponadto, decyzją nr 3 z dn. 25 stycznia 2021r. Komendant Główny PSP powołał zespół zadaniowy do wypracowania dokumentacji niezbędnej do uzyskania Certyfikatu Operatora Lekkich Systemów Bezzałogowych Statków Powietrznych dla PSP oraz opracowania zasad użytkowania bezzałogowych statków powietrznych w PSP. W ramach prac zespół stworzył jednolitą,

¹ Consultations were carried out during meetings with PSP officers and OSP colleagues during the scientific conferences DroneTech World Meeting in Toruń and the works of: the task force of the Commander-in-Chief of the State Fire Service to develop the documentation necessary to obtain a Certificate for the Operator of the Light Unmanned Aerial Systems for the State Fire Service (Decision No. 3 of 2021), a working group on new products “Unmanned and autonomous platforms, Unmanned aerial vehicles, Robots” as part of the Team of the Commander-in-Chief of the State Fire Service to monitor changes in the regulation of the Minister of Interior and Administration of 20 June 2007 on the list of products used to ensure public safety or the protection of health and life and property, as well as the rules for issuing admittance for use of these products (Decision No. 51 of 2020).

² As part of the Team of the Commander-in-Chief of the State Fire Service to monitor changes in the Regulation of the Minister of Interior and Administration of 20 June 2007 (Polish Journal of Laws: Dz. U. 2007 nr 143 poz. 1002, as amended) on the list of products used to ensure public safety or protect health and life and property, as well as the rules for issuing admittance for use of these products.

¹ Konsultacji dokonywano podczas spotkań z funkcjonariuszami PSP i druhami OSP w ramach konferencji naukowych DroneTech World Meeting w Toruniu oraz prac: Zespołu zadaniowego Komendanta Głównego PSP do wypracowania dokumentacji niezbędnej do uzyskania Certyfikatu Operatora Lekkich Systemów Bezzałogowych Statków Powietrznych dla PSP oraz opracowania zasad użytkowania bezzałogowych statków powietrznych w PSP (Decyzja nr 3 z 2021 r.), grupy roboczej w zakresie nowych wyrobów „Platformy bezzałogowe i autonomiczne, Bezzałogowe statki powietrzne, Roboty” w ramach Zespołu Komendanta Głównego PSP do monitorowania zmian w rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 20.06.2007 r. wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (Decyzja nr 51 z 2020 r.).

² W ramach Zespołu Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej do monitorowania zmian w rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 20 czerwca 2007 r. (Dz.U. 2007 nr 143, poz.1002 ze zm.) w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania.

the team created a uniform, comprehensive instruction for the development of using the UAVs within the structures of the State Fire Service.

All of these functions are based on the use of GNSS (global navigation satellite system), so to ensure their correct operation it should be verified whether:

- a drone sees enough satellites to correctly determine its position,
- a drone is correctly pointing to its position,
- “forbidden areas”, into which the drone is not to enter, are correctly marked on the map,
- an appropriate automatic safety function has been set, which is activated when the geocaching zone is violated (hover, RTH, emergency landing),
- the RTH altitude is appropriate.

The very selection of the appropriate emergency function and knowledge of its operation is also very important, especially in terms of safety. Emergency functions are usually triggered automatically in several situations, i.e. when the following occurs:

- critically low battery,
- loss of control signal,
- loss of GNSS positioning.

The selection of appropriate parameters and programming the emergency function based on them is very important when the drone is to perform an action specified by the operator, e.g. fly under an obstacle (e.g. under a bridge) while searching for a person or during inspection. If RTH is set as an emergency function, the aircraft will start to ascend automatically shortly after losing communication and will most likely hit an obstacle from below and fall. In order to avoid such a situation, the emergency function should be set to the so-called hovering. In the event of losing communication with the drone or the GNSS system, this will allow the pilot to approach and regain control of the unmanned aerial vehicle.

In addition to the safety functions mentioned above, which are present in almost every – commercially offered – professional UAV, we can more and more often observe the installation of various types of obstacle sensors. They are very useful because, on one hand, they allow for the safe implementation of various types of automatic algorithms that help pilots in their work (by automating some of the tasks), and on the other hand, they inform them about the location and approach of buildings, structures and other objects during a flight.

The figures below (see Figure 1 and 2) show examples of the two most commonly used technologies:

- ultrasonic sensors mounted, among others in Yuneec Typhoon H520,
- optical sensors mounted, among others in DJI Matrice 300.

While the Yuneec H520 has sensors mounted only on the front of the device, the DJI Matrice 300 is equipped with a number of sensors, giving the pilot full information about the distance of the drone from all obstacles around it.

kompleksową instrukcję rozwoju wykorzystania BSP w ramach struktur PSP.

Wszystkie z tych funkcji opierają się na wykorzystywaniu systemów GNSS (ang. *global navigation satellite system*), dlatego dla zapewnienia ich poprawnego działania należy się upewnić, że:

- dron widzi liczbę satelitów wystarczającą do poprawnego określenia swojego położenia,
- dron prawidłowo wskazuje swoją pozycję,
- „obszary zabronione”, w które dron ma nie wnikać, zaznaczone są na mapie poprawnie,
- ustawiono odpowiednią automatyczną funkcję bezpieczeństwa uruchamianą w momencie naruszenia strefy geocaching (zawis, RTH, lądowanie awaryjne),
- wysokość powrotu do domu (RTH) jest odpowiednia.

Sam wybór odpowiedniej funkcji awaryjnej i wiedza na temat jej działania też ma bardzo duże znaczenie, szczególnie dla bezpieczeństwa. Funkcje awaryjne najczęściej uruchamiają się automatycznie w kilku sytuacjach, tj. gdy następuje:

- krytycznie niski poziom baterii,
- utrata sygnału sterującego,
- utrata pozycjonowania GNSS.

Dobór odpowiednich parametrów i zaprogramowanie na ich podstawie funkcji awaryjnej ma bardzo duże znaczenie w sytuacji, gdy dron ma wykonać określoną przez operatora czynność np. przelecieć pod przeszkodą (np. pod mostem) w trakcie poszukiwań osoby czy inspekcji. Jeśli jako funkcję awaryjną ustawiono RTH, dron chwilę po utracie komunikacji zacznie się automatycznie wznosić, w konsekwencji najprawdopodobniej uderzy w przeszkodę od spodu i spadnie. Aby uniknąć takiej sytuacji, funkcja awaryjna powinna być ustawiona na tzw. zawis. W przypadku utraty komunikacji z dronem lub systemem GNSS pozwoli to na zbliżenie się pilota i odzyskanie kontroli nad bezzałogowym statkiem powietrznym.

Poza powyższymi funkcjami bezpieczeństwa, które występują w prawie każdym – oferowanym komercyjnie – profesjonalnym BSP, coraz częściej możemy zaobserwować montowanie różnego rodzaju czujników przeszkód. Są one bardzo przydatne, ponieważ z jednej strony pozwalają na bezpieczną realizację różnych rodzajów automatycznych algorytmów pomagających pilotom w pracy (poprzez automatyzację części zadań), a z drugiej informują ich o położeniu i zbliżaniu się w trakcie lotu do budynków, konstrukcji i innych obiektów.

Na poniższych rycinach (zob. ryc. 1 i 2) przedstawiono przykłady dwóch najczęściej stosowanych technologii:

- czujników ultradźwiękowych montowanych m.in. w Yuneec Typhoon H520,
- czujników optycznych montowanych m.in. w DJI Matrice 300.

Podczas gdy Yuneec H520 posiada czujniki zamontowane jedynie z przodu urządzenia, to DJI Matrice 300 wyposażony jest w szereg czujników, dając pilotowi pełną informację o odległości drona od wszystkich przeszkód wokół niego.

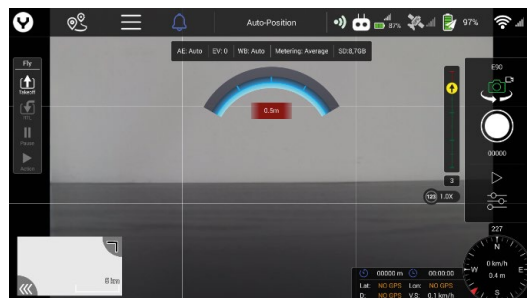


Figure 1. An example of the use of ultrasonic sensors mounted in the Yuneec H520 (marked in red on the left) and the view of the message on the GCS (on the right)

Rycina 1. Przykład wykorzystania czujników ultradźwiękowych montowanych w Yuneec H520 (zaznaczono na czerwono po lewej) oraz widok komunikatu na GCS (po prawej)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.



Figure 2. An example of optical sensors mounted in DJI Matrice 300 (on the left) the view of the message on the GCS (on the right)

Rycina 2. Przykład czujników optycznych montowanych w DJI Matrice 300 (po lewej) oraz widok komunikatu na GCS (po prawej)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

An important parameter related to the comfort of UAV service and safety indicated by PSP officers and OSP colleagues [12] – especially in the case of out of sight flights (BVLOS) is the ground station, and more precisely the communication range and the quality of displaying the image by the UAV camera at the ground control station. These values are often overlooked when selecting equipment, but are important for rescue and firefighting operations. The displays used for UAV operations should be as bright as possible so that the information and view from the camera are legible even on a sunny day. In practice, it is assumed that the display brightness of 1000 cd/m² is sufficient for the screen to be readable even in direct sunlight. Using smartphones as an additional screen or screens with low brightness of 400–600 cd/m² is often insufficient, especially in sunny weather. The photo below shows a comparison of two different GCS (ground control station).

Istotnym parametrem związanym z komfortem obsługi BSP i bezpieczeństwem wskazanym przez funkcjonariuszy PSP i druhów OSP [12] – szczególnie w przypadku lotów poza zasięgiem wzroku (BVLOS) jest stacja naziemna, a dokładniej zasięg komunikacji i jakość wyświetlania obrazu z kamery BSP w naziemnej stacji kontroli. Te wartości często pomija się w trakcie wyboru sprzętu, tymczasem są one istotne z punktu widzenia operacji ratowniczo-gaśniczych. Wyświetlacze wykorzystywane do operacji BSP powinny mieć jak najwyższą jasność, aby informacje i podgląd z kamery były czytelne nawet w trakcie słonecznego dnia. W praktyce przyjmuje się, że jasność wyświetlacza na poziomie 1000 cd/m² jest wystarczająca, aby ekran był czytelny nawet przy pełnym słońcu. Wykorzystanie smartfonów jako dodatkowego ekranu lub ekranów o niskiej jasności na poziomie 400–600 cd/m² często jest niewystarczające, szczególnie w trakcie słonecznej pogody. Na zdjęciu poniżej przedstawiono porównanie dwóch różnych stacji naziemnych GCS (ang. *ground control station*).



Figure 3. Comparison of the brightness of the screens of Yuneec Typhoon H520 ground stations (on the left, brightness approx. 400 cd/m²) and DJI Matrice 300 (on the right, brightness up to 1000 cd/m²)

Rycina 3. Porównanie jasności ekranów stacji naziemnych Yuneec Typhoon H520 (po lewej, jasność ok. 400 cd/m²) oraz DJI Matrice 300 (po prawej, jasność do 1000 cd/m²)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Firefighting drones

Firefighting drones are primarily intended to deliver and distribute the extinguishing agent in hard-to-reach places or where the risk of endangering the life and health of a firefighter would be too high. Currently, the availability of this type of structures is very limited, often they were not checked during the actual action, but only as part of various tests and demonstrations. The greatest difficulty that this type of machine has to deal with is the need to climb up with the extinguishing agent, often weighing a multiple of the weight of the drone itself. In addition, it is worth paying attention to the fact that the drone during the actual operation will have to counteract, among others, gusts of wind, kickback caused by the administration of the extinguishing agent or changes in the position of the centre of gravity resulting from its movement inside the tank. Therefore, such structures must have a high load capacity (MTOM – maximum take-off mass) while maintaining a relatively low own weight, be characterized by high flight stability and have an adequate reserve of power necessary to lift the load and properly operate the drone. As a result, unmanned air ships with a multi-rotor structure, containing at least six engines, are most often used for the action. This allows for a high MTOM parameter (maximum take-off mass) and, at the same time, high stabilization in flight.

The power supply in this type of a drone must provide enough energy to cover the energy requirements of all engines at all times. In view of the above, due to a large MTOM mass of this design, it should be assumed that the batteries must have high capacity and current efficiency or be tethered.

According to the authors, in the case of such use of UAVs, their control range is not a key parameter. Such UAVs should be used locally, without the need for a long flight with the maximum allowable load. On one hand, this will allow for some protection of the place of use of such a device, and on the other – for a better use of electricity used to power the drone.

Drony gaśnicze

Drony gaśnicze mają służyć przede wszystkim do dostarczenia i dystrybucji środka gaśniczego w trudno dostępnych miejscach lub tam, gdzie ryzyko narażenia życia i zdrowia strażaka byłoby zbyt wysokie. Obecnie dostępność tego typu konstrukcji jest bardzo niewielka, często nie były one sprawdzane w trakcie rzeczywistej akcji, a jedynie w ramach różnego rodzaju testów i pokazów. Największą trudnością, z jaką muszą sobie poradzić tego typu maszyny, jest konieczność wzniesienia się do góry wraz ze środkiem gaśniczym, często ważącym wielokrotność wagi samego drona. Dodatkowo warto zwrócić uwagę na fakt, że dron w trakcie rzeczywistej akcji będzie musiał przeciwdziałać m.in. porywom wiatru, odrzutowi spowodowanemu podawaniem środka gaśniczego czy zmianom położenia środka ciężkości wynikającym z jego przemieszczania się wewnątrz zbiornika. W związku z powyższym tego rodzaju konstrukcje muszą posiadać duży udźwig (MTOM – ang. *maximum take-off mass*) przy zachowaniu stosunkowo niskiej masy własnej, charakteryzować się dużą stabilnością lotu oraz posiadać odpowiedni zapas mocy, niezbędny do wyniesienia ładunku i odpowiedniego operowania dronem. W efekcie najczęściej do akcji są wykorzystywane bezałogowe statki powietrzne o konstrukcji wielowirnikowej, zawierające co najmniej sześć silników. Pozwala to na uzyskanie wysokiego parametru MTOM (maksymalnej masy startowej) i jednocześnie dużej stabilizacji w locie.

Zasilanie w tego rodzaju dronie musi zapewniać wystarczającą ilość energii, aby w każdej chwili pokryć zapotrzebowanie na energię wszystkich silników. W związku z powyższym ze względu na dużą masę MTOM tej konstrukcji należy założyć, że akumulatory muszą posiadać dużą pojemność i wydajność prądową lub być zasilane przewodowo (ang. *tethered*).

Według autorów, w przypadku takiego wykorzystania BSP, ich zasięg sterowania nie jest parametrem kluczowym. Tego rodzaju BSP powinny być wykorzystane lokalnie, bez konieczności dalekiego przelotu z maksymalnym dopuszczalnym obciążeniem. Pozwoli to z jednej strony na pewne zabezpieczenie miejsca wykorzystywania takiego urządzenia, z drugiej na lepsze wykorzystanie energii elektrycznej służącej do zasilania drona.



Figure 4. Examples of UAVs designed to extinguish fires: SKU: FFU-012, manufacturer UAVForDrone (on the left), firefighting drone, manufacturer AERONES (on the right)

Rycina 4. Przykłady BSP przeznaczonych do gaszenia pożarów: SKU: FFU-012, producent UAVForDrone (po lewej), dron gaśniczy, producent AERONES (po prawej)

Source / Źródło: [13–14].

Drones for monitoring and observation

Drones intended for reconnaissance and coordination of activities constitute a group of products most often used in both the State and Volunteer Fire Brigades. These types of machines, due to their easy availability, low weight and relatively low cost, are often used by these formations to provide support: while searching for people [15], during the reconnaissance of the operation site [16], during the firefighting operation [17], during flooding and flood risk [18].

As you can see, drones intended for this type of operation must have a long range – both for control and video transmission – in such a manner that the material recorded with the use of UAVs can be transmitted as soon as possible to the command and communication vehicle or the person coordinating the operations. Currently, the range declared by manufacturers of multi-rotor ships, which are most often used in such operations, often exceeds 4 km. However, it should be noted that this is usually the range tested under ideal conditions, which are very rare in practice. For example, the manufacturer of the Matrice 300 RTK drone declares a range of up to 8 km, while stipulating that it is a range in the so-called open, interference-free area, in accordance with the CE certificate and it is an approximate value for the strength of a radio link [19]. For example, practice gained during exercises in the Kobyłańska Valley [20] or the Olsztyn-Mazury airport organized in 2021 proves that the range is a factor that can still generate problems during the actual action. In a real situation, various types of interference and disturbances from antennas or radars may limit the range of data and image transmission to approx. 1 km.

The common element of all UAVs is to have high-quality cameras, the characteristics of which should start with their resolution. The higher it is, the more detailed the obtained image is. This allows to see more details, to more easily recognize, but it also makes image transmission difficult due to larger file sizes. In case of using UAVs for remote detection, four functions should be indicated, each of which requires higher resolution:

- surveillance – observation over a large area, providing general awareness of the site or the environment,

Drony do monitoringu i obserwacji

Drony przeznaczone do rozpoznania i koordynacji działań stanowią grupę wyrobów najczęściej wykorzystywaną zarówno w Państwowej, jak i Ochotniczej Straży Pożarnej. Tego typu maszyny ze względu na ich łatwą dostępność, niewielką masę i relatywnie niski koszt są często używane przez wspomniane formacje do zapewnienia wsparcia: w trakcie poszukiwań osób [15], w trakcie rozpoznania miejsca działań [16], podczas akcji gaśniczej [17], podczas podtopień i zagrożenia powodziowego [18].

Jak widać, drony przeznaczone do tego typu operacji muszą charakteryzować się dużym zasięgiem – zarówno sterowania, jak i transmisji materiału wideo – w taki sposób, aby nagrane z wykorzystaniem BSP materiały jak najszybciej przetransmitować do wozu dowodzenia i łączności lub osoby koordynującej działania. Obecnie zasięg deklarowany przez producentów wielowirnikowców, które najczęściej są wykorzystywane w takich operacjach, często przekracza 4 km. Należy jednak zaznaczyć, że jest to z reguły zasięg badany w idealnych warunkach, bardzo rzadko występujących w praktyce. Przykładowo, producent drona Matrice 300 RTK deklaruje zasięg aż 8 km, jednocześnie zastrzegając, że chodzi o zasięg w tzw. otwartym, wolnym od zakłóceń terenie, zgodnie z certyfikatem CE i jest on wartością przybliżoną dla siły łącza radiowego [19]. Praktyka zdobyta np. podczas ćwiczeń w Dolinie Kobyłańskiej [20], czy porcie lotniczym Olsztyn-Mazury zorganizowanych w roku 2021 dowodzi, że zasięg jest czynnikiem, który wciąż może generować problemy w trakcie rzeczywistej akcji. W realnej sytuacji różnego rodzaju interferencje oraz zakłócenia pochodzące od anten czy radarów mogą ograniczyć zasięg transmisji danych i obrazu do ok. 1 km.

Wspólnym elementem wszystkich BSP jest posiadanie wysokiej jakości kamer, których charakterystykę warto rozpocząć od ich rozdzielczości. Im jest ona wyższa, tym uzyskany obraz jest bardziej szczegółowy. Pozwala to na dostrzeżenie większej liczby detali, łatwiejsze rozpoznanie, ale niesie ze sobą także utrudnioną transmisję obrazu ze względu na większe rozmiary plików. W przypadku użycia BPS do zdalnej detekcji należy wskazać cztery funkcje, z których każda kolejna wymaga zastosowania większej rozdzielczości:

- detection – the ability to distinguish the object from the background (e.g. heat source, object color),
- classification and recognition – the ability to determine the type of object that has been detected (e.g. human, car, bird, life buoy),
- identification – the ability to accurately identify a person or object (e.g. car brand, registration number).

Currently, the issue of setting the camera is often overlooked during training, but according to the authors, its proper operation and knowledge of its settings are key to obtaining the right material that will be useful for the action leader. Therefore, in the next chapter, the most important – according to the authors – parameters and settings of the camera and their impact on the final result of the drone's work will be presented.

Parameters and settings of RGB cameras

RGB cameras, due to the continuous miniaturization, along with the improvement of their parameters, are one of the basic elements of the equipment of each UAV. The most important parameters and their importance for the taken pictures are presented and described below.

The matrix is the basic element of the camera, and its size is one of the main determinants of the cost of the camera. The larger the size of the matrix, the more light it can allow to pass through, which in turn allows for wider variations in image sharpness. There are many standardized matrix sizes, the size of which is relative to the full frame (36 x 24 mm). Table 1 presents the most common sizes of matrices mounted in the UAVs and cameras with which they are equipped. The larger the matrix, the more details of the image it is able to register. Examples of various matrices mounted in drones and cameras adapted to be carried by UAVs are also included in the Table below.

- dozorowanie – obserwacja na dużym obszarze, zapewniająca ogólną świadomość terenu lub środowiska,
- detekcja – możliwość odróżnienia obiektu od tła (np. źródło ciepła, kolor obiektu),
- sklasyfikowanie i rozpoznanie – zdolność do określenia typu obiektu, jaki został wykryty (np. człowiek, samochód, ptak, boja ratunkowa),
- identyfikacja – możliwość dokładnej identyfikacji człowieka lub obiektu (np. marka samochodu, numer rejestracyjny).

Obecnie kwestia ustawienia kamery jest często pomijana w trakcie szkoleń, jednak zdaniem autorów jej odpowiednia obsługa i wiedza na temat jej ustawień jest kluczowa dla uzyskania odpowiedniego materiału, który będzie użyteczny dla kierującego akcją. W związku z tym w kolejnym rozdziale zostaną przedstawione najważniejsze – według autorów – parametry i ustawienia kamery oraz ich wpływ na efekt końcowy pracy drona.

Parametry i ustawienia kamer RGB

Kamery RGB, ze względu na ciągłą miniaturyzację, wraz z poprawą ich parametrów są jednym z podstawowych elementów wyposażenia każdego BSP. Najważniejsze parametry oraz ich znaczenie dla wykonywanych zdjęć zostały przedstawione i opisane poniżej.

Matryca jest podstawowym elementem kamery, a jej wielkość stanowi jeden z głównych wyznaczników kosztów kamery. Im większy rozmiar matrycy, tym więcej światła jest w stanie ona przepuścić, co w konsekwencji pozwala na szersze zmiany w ostrości obrazu. Istnieje wiele ustandaryzowanych rozmiarów matryc, których wielkość podawana jest względem pełnej klatki (o wymiarach 36 x 24 mm). W tabeli 1 przedstawiono najczęściej występujące rozmiary matryc montowanych w BSP i kamerach, w które są one wyposażone. Im większa matryca, tym więcej szczegółów obrazu jest ona w stanie zarejestrować. Przykłady różnych matryc montowanych w dronach i kamerach przystosowanych do przenoszenia przez BSP także zostały uwzględnione w tabeli poniżej.

Table 1. Examples of the sizes of matrices mounted in the UAVs and cameras with which they are equipped
Tabela 1. Przykłady rozmiarów matrycy montowanych w BSP i kamerach, w które są one wyposażone

No./ Lp.	Size of the matrix / Rozmiar matrycy	Example / Przykład	
		Unmanned aerial vehicle / Bezzałogowy statek powietrzny	Camera / Kamera
1	Full frame / Pełnoklatkowa	DJI Enterprise FlyTech Birdie UAV	Zenmuse P1 Mapping Camera Surveyor 42S
2	1/2.3 inches / 1/2.3 cala Full frame magnification: 5.62x / Powiększenie względem pełnej klatki: 5.62x	DJI Mavic 2 Zoom Parrot BeBop 2 DJI Phantom 4 Mavic Pro	Zenmuse X3 Modus QX30
3	1 inch / 1 cal Full-frame zoom: 2.7x / Powiększenie względem pełnej klatki: 2.7x	DJI Air 2S DJI Phantom 4 Pro Autel EVO II Pro	Zenmuse L1 Yuneec E90 senseFly S.O.D.A. 3D
4	4/3 inches / 4/3 cala Full-frame zoom: 2x / Powiększenie względem pełnej klatki: 2x	PowerEye	Zenmuse X5S
5	APS-C matrix / Matryca APS-C Full-frame zoom: 1.5x / Powiększenie względem pełnej klatki: 1.5x	FlyTech Birdie UAV	Zenmuse X7 senseFly Aeria X

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

The photograph below (see Figure 5) shows how the size of the observed world changes depending on the size of the matrix.

Na poniższym zdjęciu (zob. ryc. 5) przedstawiono, jak zmienia się rozmiar obserwowanego świata w zależności od wielkości matrycy.



Figure 5. Image size depending on the size of the matrix in relation to the full frame matrix
Rycina 5. Wielkość zdjęcia w zależności od rozmiaru matrycy w odniesieniu do matrycy pełnoklatkowej (ang. *full frame*)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Apart from the size of the matrix, an important element of the camera is its focal length. It determines the camera's field of vision (FOV), i.e. the size of the reality slice that the camera captures. As a rule, cameras in drones have a fixed focal length that can be changed by changing the lens. We give the focal lengths in millimetres. Human vision has a focal length of approx. 50 mm and a field of view of 40° horizontally for each eye [21]. The angle of view increases as the focal length decreases, but then one can observe the so-called fisheye that distorts off-centre subjects. It may worsen the recognition of a single photo, but currently, in the case of orthophotos and many photographs, appropriate software is able to compensate for this effect. In case of fire observation flights, where due to thermal conditions it is necessary to maintain a reasonable (higher) altitude, it may be reasonable to use cameras with a low FOV. On the other hand, when searching for or observing a large area (e.g. river floods, grass fires), it may be appropriate to fly at lower heights – which allows to maintain adequate detail of the material and use lenses and cameras with a higher FOV parameter in order to maintain the best resolution (at the need to locate and identify objects) and cover as much area as possible. Therefore, the FOV parameter together with the image quality (detail) will determine the target height of the mission and its duration.

Ważnym elementem kamery poza rozmiarem matrycy jest jego ogniskowa. Decyduje ona o kącie widzenia kamery (ang. *field of vision* – FOV) czyli wielkości wycinka rzeczywistości, którą aparat uchwyci. Z reguły kamery w dronach posiadają stałą ogniskową, którą można zmieniać poprzez wymianę obiektywu. Wartości ogniskowej podajemy w milimetrach. Wzrok człowieka posiada ogniskową ok. 50 mm i pole widzenia 40° w poziomie na każde oko [21]. Kąt widzenia zwiększa się wraz ze zmniejszaniem się ogniskowej, jednak wówczas zaobserwować można efekt tzw. rybiego oka, który zniekształca obiekty położone poza głównym planem zdjęcia. Może on pogorszyć rozpoznawalność pojedynczego zdjęcia, jednak obecnie w przypadku ortofotomap i wielu zdjęć odpowiednie oprogramowanie jest w stanie zniwelować ten efekt. W przypadku lotów obserwacyjnych nad pożarami, gdzie ze względu na warunki termiczne konieczne jest utrzymywanie rozsądnej (wyższej) wysokości, zasadnym może być korzystanie z kamer o małym FOV. Natomiast przy poszukiwaniach czy obserwacjach dużego obszaru (np. rozlewiska rzek, pożary traw) właściwym może okazać się wykonywanie lotów na mniejszych wysokościach – co pozwala na zachowanie odpowiedniej szczegółowości materiału oraz zastosować obiektywy i kamery z większym parametrem FOV w celu zachowania jak najlepszej rozdzielczości (na potrzeby lokalizacji i identyfikacji obiektów) oraz obejmowania jak największego obszaru. W związku z powyższym parametr FOV wraz z jakością (szczegółowością) obrazu będzie decydował o docelowej wysokości prowadzenia misji i jej czasie.

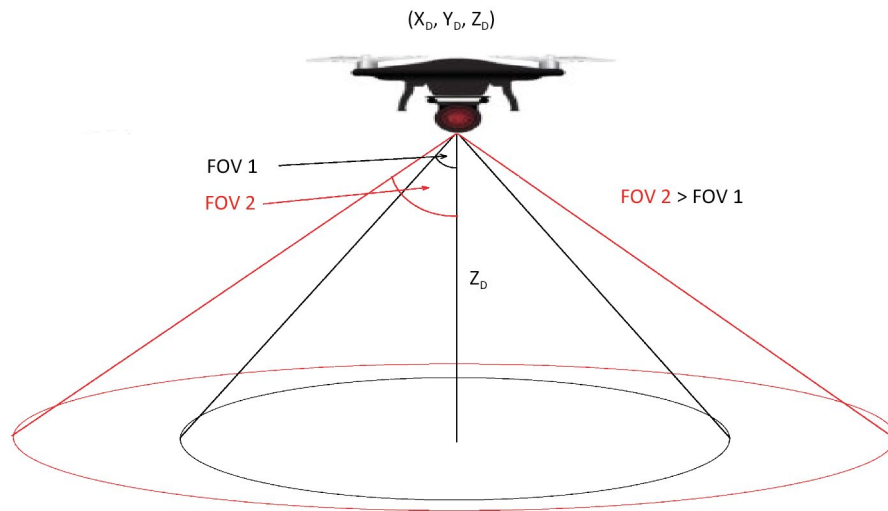


Figure 6. Illustrating the effect of the value of the field of view FOV parameter on a photo
Rycina 6. Zobrazowanie wpływu wartości parametru pola widzenia kamery FOV na zdjęcie

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

In addition to the parameters that we as users often have no influence on, the cameras offer a set of settings that are designed to configure the appropriate exposure of the photograph. Due to the significant diversity of both the conditions during the mission and the types of situations in which UAVs are used in the fire service, knowledge of the impact of individual parameters is crucial for their practical use. Auto mode, which is adapted to civilian use, may not work properly under unusual conditions (e.g. when monitoring a fire area with high flame brightness). Exposure in photography determines the amount of light that is needed to take a proper photograph. The exposure is adjusted by changing the aperture value and shutter speed in relation to the selected ISO sensitivity. These three interdependent parameters create the so-called exposure triangle. Some cameras have light sensors, allowing automatic or semi-automatic selection of photo parameters to maintain proper exposure. Semi-automatic exposure is informing the user whether there is enough light on the matrix, while the automatic exposure adjusts the aperture to the manually set time, the time to the manually set aperture or both parameters simultaneously according to a set algorithm. However, experience shows that the used algorithms work correctly only under favourable conditions, but in extreme conditions they rarely give satisfactory results.

One of the main parameters that the user of the camera can adjust is the change of the aperture, marked with the letter f . The aperture is a device that regulates the amount of light entering the camera by changing the size of the lens aperture. Currently, it has been adopted to determine the aperture value with successive reciprocal powers of f , obtaining the values shown in Table 2.

Poza parametrami, na które często jako użytkownicy nie mamy wpływu, kamery oferują zestaw ustawień, które mają na celu konfigurację odpowiedniej ekspozycji zdjęcia. Ze względu na znaczne zróżnicowanie zarówno warunków w trakcie misji, jak i rodzajów sytuacji, w jakich BSP wykorzystywane są w straży pożarnej, wiedza na temat wpływu poszczególnych parametrów jest kluczowa dla praktycznego ich wykorzystania. Tryb auto, który jest przystosowany do zastosowań cywilnych często może nie działać poprawnie w niestandardowych warunkach (np. podczas monitorowania obszaru pożaru z dużą jasnością płomieni). Ekspozycja w fotografii określa niezbędną ilość światła, jaka jest potrzebna do wykonania prawidłowego zdjęcia. Dostosowanie ekspozycji odbywa się poprzez zmianę wartości przysłony i czasu naświetlania w stosunku do wybranej czułości matrycy ISO. Te trzy zależne od siebie parametry tworzą tzw. trójkąt ekspozycji. Niektóre aparaty posiadają czujniki oświetlenia, pozwalając na automatyczny lub półautomatyczny dobór parametrów zdjęcia, aby zachować odpowiednią ekspozycję. Ekspozycja półautomatyczna polega na informowaniu użytkownika, czy na matrycę pada wystarczająca ilość światła, natomiast ekspozycja automatyczna dobiera przysłonę do ręcznie ustawionego czasu, czas do ustawionej ręcznie przysłony lub oba parametry jednocześnie według zadanego algorytmu. Doświadczenie pokazuje jednak, że wykorzystywane algorytmy poprawnie działają jedynie w sprzyjających warunkach, jednak w skrajnych rzadko kiedy dają zadowalające rezultaty.

Jednym z głównych parametrów, jaki użytkownik aparatu jest w stanie regulować, jest zmiana otworu przesłony oznaczany literą f . Przesłona jest urządzeniem, które reguluje ilość światła wpadającego do aparatu poprzez zmianę wielkości otworu obiektywu. Obecnie przyjęto oznaczanie wartości przysłony kolejnymi potęgami odwrotności f , otrzymując wartości pokazane w tabeli 2.

Table 2. Aperture value series**Tabela 2.** Typoszereg wartości przysłony

Aperture number / Liczba przysłony								
f/1	f/1,4	f/2	f/2,8	f/4	f/5,6	f/8	f/11

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The f/1 symbol means that the diameter of the aperture is equal to the diameter of the lens. Increasing the aperture by each new position reduces the amount of light entering the lens by half. Therefore, increasing the aperture will reduce the amount of light entering the camera. Thus, the surroundings will be clearer (it will have more details).

The amount of light entering the camera can be controlled not only by the aperture opening level, but also by the amount of time light enters the camera (shutter speed). Usually this parameter is expressed in seconds or its fractions. Changing the shutter speed greatly affects the appearance of moving subjects. The slower the shutter speed, the more blurred the photo. This parameter is very important when taking pictures during a photogrammetric flight. From a practical point of view, if you need to make a detailed orthophoto in the evening, you need to choose a longer shutter opening time, and therefore, when planning a mission, you should hover UAV with each photo. This translates into the time of completing the mission, which will be longer than in the case of a mission without stopping the UAV with a faster shutter speed during a sunny day. The photographs below (see Figure 7) show how the taken photos change as the exposure time slows down.

Symbol f/1 oznacza, że średnica otworu przysłony jest równa średnicy obiektywu. Zwiększenie przysłony o każdą kolejną pozycję powoduje zmniejszenie ilości wpuszczanego do obiektywu światła o połowę. W związku z powyższym zwiększanie przysłony będzie skutkowało redukcją ilości światła, które wpada do aparatu. Tym samym otoczenie będzie bardziej wyraźne (będzie posiadało więcej szczegółów).

Ilość światła wprowadzanego do aparatu może być regulowana nie tylko poziomem otwarcia przysłony, ale również czasem, przez który światło będzie wpadało do aparatu (czas otwarcia migawki). Zwykle parametr ten wyrażany jest w sekundach lub jej ułamkach. Zmiana czasu otwarcia migawki ma duży wpływ na wygląd obiektów w ruchu. Im dłuższy czas otwarcia migawki, tym zdjęcie będzie bardziej rozmyte. Ten parametr ma bardzo duże znaczenie w przypadku wykonywania zdjęć w trakcie oblotu fotogrametrycznego. Z praktycznego punktu widzenia, w przypadku konieczności wykonania szczegółowej ortofotomapy wieczorem, trzeba dobrać większy czas otwarcia przysłony, a w związku z tym w trakcie planowania misji należy przy każdym zdjęciu wykonać zawis BSP. Ma to przełożenie na czas wykonania misji, który będzie dłuższy niż przy misji bez zatrzymywania BSP z krótszym czasem otwarcia migawki podczas nasłonecznionego dnia. Na poniższych zdjęciach (zob. ryc. 7) przedstawiono, w jaki sposób zmieniają się wykonane fotografie wraz ze zmniejszaniem się czasu naświetlania.

Aperture f/2.8, ISO 100, shutter speed: / Prysłona f/2.8, ISO 100, czas otwarcia migawki:

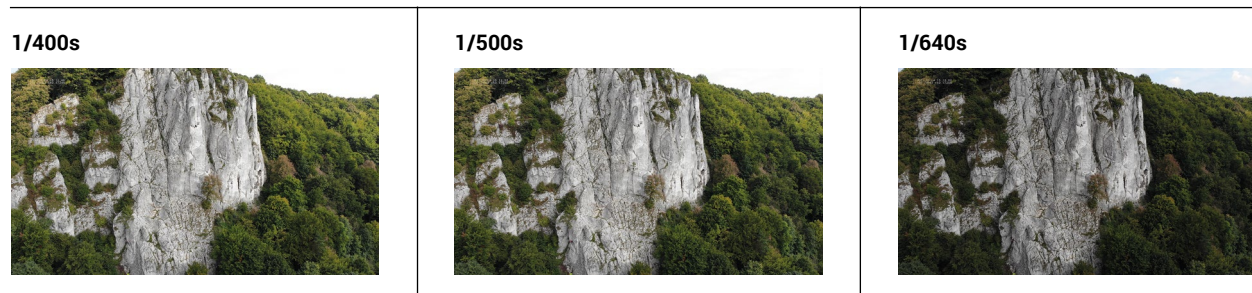


Figure 7. The effect of changing the shutter speed on photographs (ISO 100, f/2,8)

Rycina 7. Wpływ zmiany czasu naświetlania na zdjęcia (ISO 100, f/2,8)

Source: Niegoszowice OSP.

Źródło: OSP Niegoszowice.

The last parameter characteristic for digital photography is the sensor sensitivity determined by the ISO parameter. It assumes values from 100 to even over 12,000, whereas the range from 100 to 3200 is the most common in UAVs. It is sufficient for taking pictures in standard lighting conditions for which

Ostatnim parametrem charakterystycznym dla fotografii cyfrowej jest czułość matrycy określana przez parametr ISO. Przyjmuje on wartości od 100 do nawet ponad 12 000, przy czym w BSP najczęściej występuje zakres od 100 do 3200. W zupełności wystarcza do wykonywania zdjęć w standardowych

unmanned aerial vehicles are adapted. The higher the ISO value, the brighter the image becomes. As a rule, in good daylight conditions and due to the fact that more light enters a camera at a height (due to the absence of obstacles), it is best to set the ISO parameter to the lowest value. For overcast or late afternoon operations, it may be necessary to increase ISO. Lowering the ISO value may also be useful when collecting material from the firefighting operation, while increasing it will be advisable in the evening. An example of changing the ISO parameter and its effect on the photograph is shown in Figure 8.

warunkach oświetleniowych, do jakich są przystosowane bezzałogowe statki powietrzne. Im wyższa wartość parametru ISO, tym bardziej rozjaśniane jest zdjęcie. Z reguły w warunkach dobrego dziennego oświetlenia i wobec faktu, że do kamery będącej na wysokości (ze względu na brak przeszkód) wpada więcej światła, najlepiej jest ustawiać parametr ISO na najniższą wartość. W przypadku operacji podczas zachmurzenia lub późnym popołudniem może być konieczne zwiększenie ISO. Obniżenie wartości ISO może być również przydatne w trakcie zbierania materiału z akcji gaśniczej, natomiast jego zwiększanie będzie uzasadnione wieczorem. Przykład zmiany parametru ISO i jego wpływ na fotografię zilustrowano na rycinie 8.

ISO 100



ISO 200



ISO 800



ISO 1600



Figure 8. Effect of ISO change on photographs (exposure time 640s, f/2.8)
Rycina 8. Wpływ zmiany ISO na zdjęcia (czas ekspozycji 640s, f/2,8)

Source: Niegoszowice OSP.
Źródło: OSP Niegoszowice.

Another parameter that can often be set in UAV cameras is the colour temperature. This parameter, expressed in Kelvin, determines the temperature of the light source at which the photograph is taken. The choice of colour temperature is related to the white balance and allows for the correct reproduction of colours in the photograph. This is very important in case of all kinds of searches for people, where, in an extreme case, the wrong colour reproduction in the picture may lead to the failure to recognize the wanted person. Table 3 shows the colour temperature ranges for different light sources.

Kolejnym parametrem, który często można ustawiać w kamerach BSP, jest temperatura barwowa. Parametr ten, wyrażony w kelwinach, określa temperaturę źródła światła, przy jakim jest robione zdjęcie. Dobór temperatury barwowej jest powiązany z balansem bieli i pozwala na poprawne odwzorowanie kolorów na zdjęciu. Jest to bardzo ważne w przypadku wszelkiego rodzaju poszukiwań ludzi, gdzie w skrajnym przypadku złe odwzorowanie kolorystyki na zdjęciu może doprowadzić do nierozpoznania osoby poszukiwanej. W tabeli 3 przedstawiono przedziały temperatury barwowej dla różnych źródeł światła.

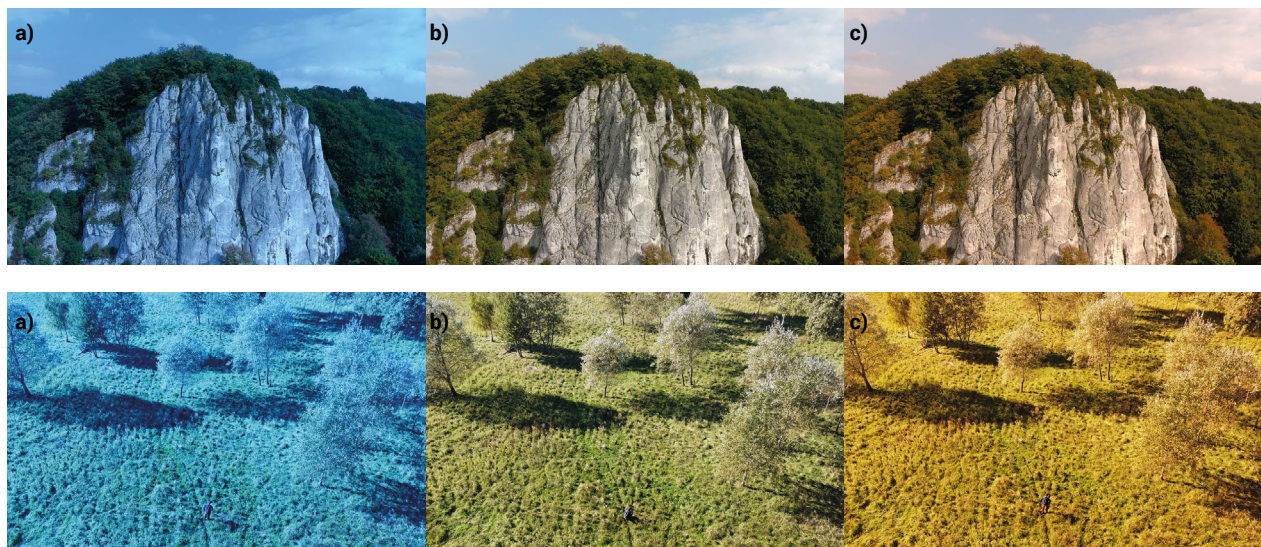
Table 3. Colour temperatures depending on the type of lighting source
Tabela 3. Temperatury barwowe w zależności od rodzaju źródła oświetlenia

No.	Colour temperature [K] / Temperatura barwowa [K]	Source of light / Źródło światła
1	1000–2000	Light of candles / Płomień świec
2	2800–3800	Incandescent lighting / Oświetlenie żarówek
3	3000–4200	Sunrise and sunset / Wschód i zachód słońca
4	5000–6500	Neutral sunlight on a clear day / Neutralne światło słoneczne w bezchmurny dzień
5	5500–7000	Afternoon sunlight / Światło słoneczne po południu
6	6500–8000	Natural light on a cloudy day, as well as this colour temperature, can be seen in the shade / Naturalne światło w pochmurny dzień, a także taką temperaturę barwową widać w cieniu
7	8000–10000	Very cloudy day and after sunset / Bardzo pochmurny dzień i po zachodzie słońca

Source: Own elaboration.
 Źródło: Opracowanie własne.

The photographs below show how the change in colour temperature affects the final photograph (see Figure 9). As you can see, the wrong choice of the colour temperature makes the photo unnatural and may make its analysis difficult, e.g. in terms of searching.

Na poniższych zdjęciach przedstawiono, jak zmiana temperatury barwowej wpływa na ostateczną fotografię (zob. ryc. 9). Jak widać, zły dobór temperatury barwowej powoduje nienaturalność zdjęcia i może utrudnić jego analizę, np. pod kątem poszukiwań.



- a) too low temperature / zbyt niska temperatura,
 b) correctly selected temperature / poprawnie dobrana temperatura,
 c) too high temperature / zbyt wysoka temperatura.

Figure 9. Effect of changing colour temperature on photographs
Rycina 9. Wpływ zmiany temperatury barwowej na zdjęcia

Source: Niegoszowice OSP.
 Źródło: OSP Niegoszowice.

Additional elements for RGB cameras

Before commencing flights with the use of UAVs, the rescuer can choose additional elements (including various filters). Their selection strongly depends on the lighting prevailing at the moment. Filters for unmanned aerial vehicles can be divided into four main categories:

- ultraviolet UV,
- polarizing,
- grey ND,
- others.

Ultraviolet filters began their history with the protection of film in analogue cameras. Currently – due to the use of the photosensitive matrix in cameras – this application is not useful, but UV filters are still occasionally used in unmanned aerial vehicles and protect the camera from dirt or scratches on the lens. In addition, this procedure slightly reduces the amount of invisible to humans UV radiation that enters the camera, which eliminates the characteristic blue glow in photographs taken on a sunny day (e.g. in the mountains).

Elementy dodatkowe do kamer RGB

Już przed przystąpieniem do lotów z wykorzystaniem BSP ratownik ma możliwość dobrania elementów dodatkowych (m.in. różne filtry). Ich dobór jest mocno uzależniony od panującego w danym momencie oświetlenia. Filtry do kamer bezzałogowych statków powietrznych można podzielić na cztery główne kategorie:

- ultrafioletowe UV,
- polaryzacyjne,
- szare ND,
- inne.

Filtry ultrafioletowe swoją historię zaczynały od ochrony filmu w aparatach analogowych. Obecnie – ze względu na wykorzystanie matrycy światłoczułej w kamerach – zastosowanie to nie jest przydatne, jednak filtry UV nadal są sporadycznie stosowane w bezzałogowych statkach powietrznych i zabezpieczają kamerę przed zabrudzeniem czy zdrapaniem obiektywu. Dodatkowo, w nieznacznym stopniu zabieg ten ogranicza ilość niewidzialnego dla człowieka promieniowania UV, które wpada do kamery, co niweluje charakterystyczny niebieski poblask na zdjęciach wykonywanych w słoneczny dzień (np. w górach).

Without UV filter /
Bez filtru UV



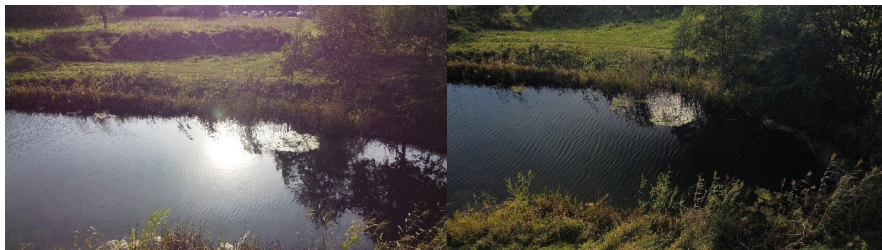
With UV filter /
Z filtrem UV

Figure 10. Effect of using a UV filter on a photograph
Rycina 10. Wpływ zastosowania filtru UV na wykonywane zdjęcie
Source: Niegoszowice OSP.
Źródło: OSP Niegoszowice.

Another group of filters installed in UAV cameras are polarization filters. Their main task is to filter out a specific polarization of light, i.e. in practice to eliminate solar reflections from the surface, e.g. metal or water, which allows to see under its surface. Above all such filters will prove themselves during all kinds of searches in the vicinity of water reservoirs.

Kolejna grupa filtrów montowanych do kamer BSP to filtry polaryzacyjne. Ich głównym zadaniem jest odfiltrowanie określonej polaryzacji światła, czyli w praktyce wyeliminowanie refleksów słonecznych od powierzchni np. metalu lub wody, co pozwala zajrzeć pod jej powierzchnię. Takie filtry sprawdzą się przede wszystkim w trakcie wszelkiego rodzaju poszukiwań w okolicach zbiorników wodnych.

Without
polarizing filter /
Bez filtru
polaryzacyjnego



With polarizing
filter / Z filtrem
polaryzacyjnym

Figure 11. The effect of using a polarizing filter on the taken picture
Rycina 11. Wpływ zastosowania filtru polaryzacyjnego na wykonywane zdjęcie
Source: Niegoszowice OSP.
Źródło: OSP Niegoszowice.

The third type of filters are the so-called grey filters (neutral density – ND). They are used to limit the amount of light let into the camera. This allows to change and better adjust the parameters responsible for exposure, such as shutter speed, the degree of aperture or ISO, described in the article in the section *Parametry i ustawienia kamer RGB*. There are many types and ND filters that vary in the amount of darkness in the image, and their value changes with the successive powers of 2. ND filters are used depending on both solar and artificial lighting (e.g. fire). The most popular ND filters with their proposed use are presented in Table 4.

Trzeci rodzaj filtrów to tzw. filtry szare (ang. *neutral density* – ND). Służą one do ograniczenia ilości wpuszczanego do aparatu fotograficznego światła. Pozwala to na zmianę i lepsze dopasowanie parametrów odpowiedzialnych za ekspozycję, takich jak czas otwarcia migawki, stopień otwarcia przesłony czy ISO, opisanych w artykule w części *Parametry i ustawienia kamer RGB*. Występuje wiele rodzajów i filtrów ND, różniących się stopniem przyciemnienia obrazu, a ich wartość zmienia się wraz z kolejnymi potęgami liczby 2. Filtry ND stosuje się zarówno w zależności od oświetlenia słonecznego, jak i sztucznego (np. pożaru). Najpopularniejsze filtry ND wraz z ich proponowanym zastosowaniem zostały przedstawione w tabeli 4.

Table 4. The use of individual ND filters depending on the type of lighting
Tabela 4. Zastosowanie poszczególnych filtrów ND w zależności od rodzaju oświetlenia

No. / Lp.	Filter / Filtr	Intended use / Przeznaczenie
1	ND4	Dusk or dawn, when the amount of light is not large / Zmierzch lub świt, gdy ilość światła nie jest duża
2	ND8	Cloudy sky / Zachmurzone niebo
3	ND16	Partly cloudy skies / Częściowo zachmurzone niebo
4	ND32	Clear sky / Bezchmurne niebo
5	ND64	Very bright surroundings, e.g. snowy winter during the day / Bardzo jasne otoczenie np. śnieżna zima w dzień

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

Currently, there are universal ND filters that have the ability to manually adjust the degree of darkness of the image, but they often do not work properly at the periphery of the photographed image and are more expensive than permanent darkening filters. Additionally, the market offers filters combining the dimming function (ND filter) and the elimination of reflections (polarization filter).

Obecnie istnieją uniwersalne filtry ND posiadające możliwość manualnej regulacji stopnia przyciemniania obrazu, jednak często nie działają one poprawnie na obrzeżach fotografowanego obrazu i są droższe od filtrów o stałym przyciemnieniu. Dodatkowo na rynku oferowane są filtry łączące funkcję przyciemniania (filtr szary ND) oraz eliminacji refleksów (filtr polaryzacyjny).

Without ND filter /
Bez filtru ND



With ND4 filter /
Z filtrem ND4

With ND8 filter /
Z filtrem ND8



With ND16 filter /
Z filtrem ND16

With ND32 filter /
Z filtrem ND32



Figure 12. The effect of ND grey filters on the taken picture (exposure time: 160s, f/2.8, ISO 100)
Rycina 12. Wpływ filtrów szarych ND na wykonywane zdjęcie (czas ekspozycji: 160s, f/2,8, ISO 100)
Source: Niegoszowice OSP.
Źródło: OSP Niegoszowice.

The last group consists of all other filters. They generate various artistic effects, but their application is irrelevant in case of fire brigades. This group of filters includes, among others:

- star filters – generating an effect of, for example, stars in photographs,
- colour filters – aimed at highlighting and enhancing a specific colour,
- half filters – as a special example of a grey filter that darkens only part of the frame,
- others.

In conclusion, on one hand the selection of appropriate additional elements for cameras used in unmanned aerial vehicles has a large impact on the manner of conducting the mission and its parameters (e.g. height), on the other hand, it affects the quality of the delivered material and thus the speed and accuracy of its processing, and ultimately its usefulness for the carried out activities. Due to the wide range of cameras used by the fire brigade, one type of camera cannot be selected – this equipment should be selected depending on the needs and conditions that prevail or are expected at the site of the operation.

Parameters and settings of thermal imaging cameras

Thermal imaging cameras, including those mounted on UAVs, are increasingly used during various actions involving firefighters. However, it should be noted that having appropriate parameters predestines a given type of thermal imaging camera for specific applications. There are five main factors that influence the possible application of the camera. These are:

- measurement range,
- focal length and field of view (FOV),
- detector resolution,
- thermal sensitivity,
- spectral range,
- image refresh rate.

Ostatnią grupę stanowią wszystkie inne filtry. Generują one różne efekty artystyczne, jednak ich zastosowanie nie ma znaczenia w przypadku działalności straży pożarnej. Do tej grupy filtrów należy zaliczyć m.in.:

- filtry gwiazdkowe – generujące na zdjęciach efekt np. gwiazd,
- filtry barwne – mające na celu podkreślenie i uwydatnienie określonego koloru,
- filtry połówkowe – jako specjalny przykład filtru szarego, przyciemniającego jedynie część kadru,
- inne.

Podsumowując, dobór odpowiednich elementów dodatkowych do kamer stosowanych w bezałogowych statkach powietrznych z jednej strony ma duży wpływ na sposób prowadzenia misji i jej parametry (np. wysokość), z drugiej strony wpływa na jakość dostarczonego materiału i tym samym szybkość oraz dokładność jego obróbki, a ostatecznie jego użyteczności dla prowadzonych działań. Ze względu na szeroki zakres wykorzystywania kamer przez straż pożarną nie można wybrać kamery jednego rodzaju – sprzęt ten należy dobierać w zależności od potrzeb i warunków, jakie panują lub są spodziewane w miejscu akcji.

Parametry i ustawienia kamer termowizyjnych

Kamery termowizyjne, w tym te montowane na BSP, coraz częściej są wykorzystywane w trakcie różnych akcji z udziałem strażaków. Należy zauważyć jednak, że posiadanie odpowiednich parametrów predestynuje dany rodzaj kamery termowizyjnej do określonych zastosowań. Można wyróżnić pięć zasadniczych czynników, które wpływają na możliwe zastosowanie kamery. Są to:

- zakres pomiarowy,
- ogniskowa i pole widzenia (FOV),
- rozdzielczość detektora,
- czułość termiczna,
- zakres spektralny,
- częstotliwość odświeżania obrazu.



Figure 13. The appearance of Zenmuse H20T camera
Rycina 13. Widok kamery Zenmuse H20T

Source: <https://www.DJI.com> [access: 20.09.2021].
Źródło: <https://www.DJI.com> [dostęp: 20.09.2021].

The first mentioned parameter in the thermal imaging camera – the measurement range – corresponds to the temperature range that the camera will be able to measure. Wrong selection of the measuring range to the temperature of the objects being filmed may lead to blurring the image, making it impossible to recognize other objects. This is especially important in extreme situations with elevated temperatures. Depending on the expected values, sufficient measuring ranges as below can be assumed:

- for inspection of electrical installations – from 0°C to 300°C,
- to search for people – from 0°C to 50°C,
- during fires – to 1500°C.

Thermal imaging cameras most often installed in UAVs have measurement ranges from about -40°C to 550°C. For the time being, due to a relatively high cost and low measuring range, their usefulness is limited. Along with the increase of temperature range to the level of 1500°C and above, the use of such cameras can be very helpful in terms of checking damage to steel structures of warehouses, etc.

Another parameter of thermal imaging cameras is the focal length and the related field of view (FOV). As in the case of RGB cameras, also here the focal length defines what lens will be used, and in combination with the resolution of the detector,

Pierwszy wymieniony parametr – zakres pomiarowy – w kamerze termowizyjnej odpowiada zakresowi temperatur, jakie będzie w stanie mierzyć kamera. Zły dobór zakresu pomiarowego do temperatury obiektów filmowanych może doprowadzić do rozmycia obrazu, uniemożliwiając rozpoznanie innych obiektów. Ma to szczególne znaczenie w sytuacjach ekstremalnych, gdzie występują podwyższone temperatury. W zależności od spodziewanych wartości możemy przyjąć wystarczające zakresy pomiarowe jak poniżej:

- do inspekcji instalacji elektrycznych – od 0°C do 300°C,
- do poszukiwań ludzi – od 0°C do 50°C,
- przy pożarach – do 1500°C.

Kamery termowizyjne najczęściej montowane w BSP posiadają zakresy pomiarowe od ok. -40°C do 550°C. Stosunkowo wysoki koszt oraz niski zakres pomiarowy powoduje, że ich przydatność jest na razie ograniczona. Wraz ze wzrostem zakresu temperatury do poziomu 1500°C i powyżej zastosowanie takich kamer może być bardzo pomocne pod kątem sprawdzania uszkodzeń konstrukcji stalowych hal magazynowych itp.

Kolejnym parametrem kamer termowizyjnych jest ogniskowa i związane z nią pole widzenia (FOV). Podobnie jak w przypadku kamer RGB, także tutaj ogniskowa definiuje jaki obiektyw będzie użyty, a w połączeniu z rozdzielczością detektora określa pole

Zenmuse H20T THERMAL CAMERA PARAMETERS / KAMERA TERMOWIZYJNA PARAMETRY		
Lens / Obiektyw	DFOV: 40.6°	
	Focal length: 13.5 mm (equivalent: 58 mm)	
	Aperture: f/1.0	
	Focus: 5 m do ∞ /	
	DFOV: 40.6°	
	Ogniskowa: 13.5 mm (ekwiwalent: 58 mm)	
	Przysłona: f/1.0	
	Ostrość: 5 m do ∞	
	Digital zoom / Zoom cyfrowy	1x, 2x, 4x, 8x
	Video resolution / Rozdzielczość video	640x512 @
Frequency / Częstotliwość	30 Hz	
Video format / Format video	MP4	
Image resolution / Rozdzielczość obrazu	640x512	
Image format / Format obrazu	R-JPEG (16 bit)	
Pixel size / Rozmiar piksela	12 μm	
Band / Pasma	8–14 μm	
Sensitivity (NETD) / Czułość (NETD)	≤50 mK @ f/1.0	
Temperature measurement / Pomiar temperatury	Spot, measured centrally / Punktowy, mierzony centralnie	
Temperature range / Zakres temperatur	from -40°C to 150°C (High Gain) from -40°C to 550°C (Low Gain) / od -40°C do 150°C (High Gain) od -40°C do 550°C (Low Gain)	

it determines the field of view of the camera, i.e. the fragment of reality that the camera covers. As in case of RGB cameras, also here the focal length defines what lens will be used, and in combination with the resolution of the detector, it determines the field of view of the camera, i.e. the fragment of reality that the camera covers. As a rule, in the work of a firefighter, a wide-angle lens (angle of view approx. 45° – 55°) is better suited, providing a wide picture of reality, thus helpful, for example, in searching. In order to measure specific points, the so-called telephoto lenses work better (with angles of view in the range of 5° – 15°).

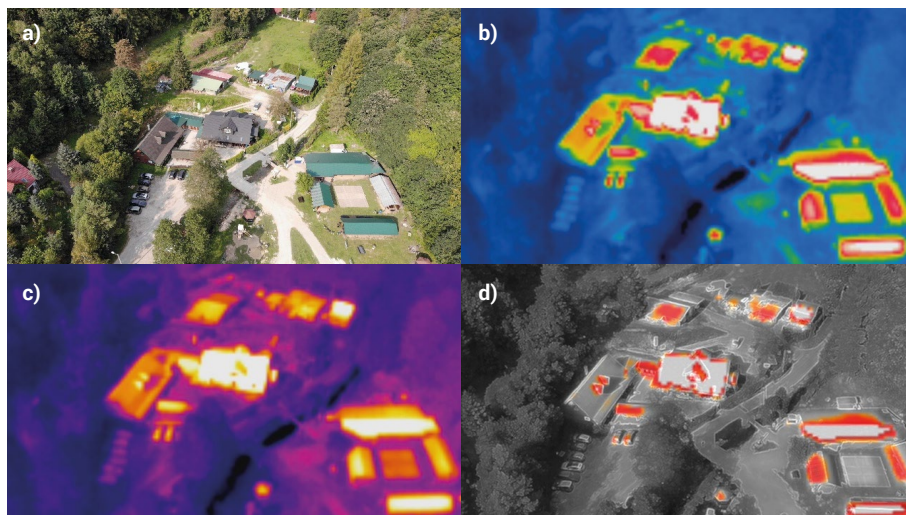
As in RGB cameras resolution is another important parameter. For infrared cameras, it is given in pixels, not in megapixels. The higher the resolution of the thermal imaging camera, the more accurate the image. For instance, the resolution of 320×240 allows the recognition of a person standing from a distance of about 125 m [22]. Unfortunately, as the resolution increases, so does the cost of the hardware.

Currently, industrial thermal imaging cameras have HD resolution (i.e. at the level of 1024×768 pixels, i.e. 0.8 Mpix). As standard, unmanned aerial vehicles use thermal imaging cameras with a resolution of 640×512 or – less frequently – 336×256 . The resolution of cameras (or in fact the accuracy and readability of photographs) can be improved by using various filters and by overlapping the detected edges from the RGB image and the thermal image. Such a procedure is carried out by the software almost in real time, thanks to which the legibility is improved, which facilitates the subsequent use of the material by other people. Another solution is to use a colour palette to colour the heat source. Depending on the manufacturer and model of the camera, these can be: Fusion, Rainbow, Globow, Icefire, Iron Black, Iron Red, Cool, White, Black and others.

widzenia kamery, czyli wycinek rzeczywistości, który kamera obejmuje. Z reguły w pracy strażaka lepiej sprawdzi się obiektyw szerokokątny (kąt widzenia ok. 45° – 55°), dający szeroki obraz rzeczywistości, pomocny tym samym np. w poszukiwaniach. W celu pomiaru konkretnych punktów lepiej sprawdzą się tzw. teleobiektywy (o kątach widzenia w zakresie 5° – 15°).

Rozdzielczość jest kolejnym ważnym – podobnie jak w kamerach RGB – parametrem. W przypadku kamer termowizyjnych jest on podawany w pikselach, a nie megapikselach. Im wyższa rozdzielczość kamery termowizyjnej, tym dokładniejszy obraz. Przykładowo, rozdzielczość 320×240 umożliwia już rozpoznanie osoby stojącej z dystansu ok. 125 m [22]. Niestety wraz ze wzrostem rozdzielczości wzrasta również koszt sprzętu.

Obecnie kamery termowizyjne przemysłowe posiadają rozdzielczość HD (tzn. na poziomie 1024×768 pikseli czyli 0,8 Mpix). Standardowo w bezałogowych statkach powietrznych wykorzystuje się kamery termowizyjne o rozdzielczości 640×512 lub – rzadziej – 336×256 . Rozdzielczość kamer (a w zasadzie dokładność i czytelność zdjęć) może być poprawiona dzięki zastosowaniu różnych filtrów oraz poprzez nałożenie się wykrytych krawędzi z obrazu RGB i obrazu termowizyjnego. Taki zabieg realizowany jest poprzez oprogramowanie prawie w czasie rzeczywistym, dzięki czemu poprawia się czytelność, co ułatwia późniejsze wykorzystanie materiału przez inne osoby. Kolejnym rozwiązaniem jest zastosowanie palety barw koloryzującej źródła ciepła. W zależności od producenta i modelu kamery mogą to być: Fusion, Rainbow, Globow, Icefire, Iron Black, Iron Red, Cool, White, Black i inne.



a) view from RGB camera / widok z kamery RGB,
 b) infrared view with rainbow palette / widok termowizyjny z paletą rainbow,
 c) infrared view with iron palette / widok termowizyjny z paletą iron,
 d) view with superimposed RGB and thermal images / widok z nałożonymi obrazami RGB i termowizyjnym.

Figure 14. The appearance of Zenmuse H20T camera
Rycina 14. Widok kamery Zenmuse H20T

Source: Niegoszowice OSP.
 Źródło: OSP Niegoszowice.

The properties of individual colour palettes in thermal imaging cameras are shown in Figure 15.

Właściwości poszczególnych palet barw w kamerach termowizyjnych przedstawiono na rycinie 15.

				
WHITE HOT: displays warmer objects in white and cooler objects in black / WHITE HOT: wyświetla cieplejsze obiekty na biało, a chłodniejsze – na czarno	BLACK HOT: inverted version of White Hot, displaying warmer objects as black and cooler objects as white; useful in winter scenery / BLACK HOT: odwrócona wersja White Hot, wyświetlająca cieplejsze obiekty jako czarne, a chłodniejsze jako białe; przydatna w sceneriach zimowych	RAINBOW: a general-purpose palette, with warm colours representing the hottest part of the image and cool colours representing the coldest; suitable for locating objects in environments with minimal heat differences / RAINBOW: paleta ogólnego przeznaczenia, z ciepłymi kolorami reprezentującymi najgorętszą część obrazu i chłodnymi kolorami reprezentującymi najzimniejsze; nadaje się do lokalizowania obiektów w środowiskach o minimalnych różnicach ciepła	RAINBOW HC (High Contrast) adds greater (than Rainbow) contrast to the image, allowing to see more even details and see subtle temperature differences; best suited for scenes with minimal heat change / RAINBOW HC (High Contrast) dodaje większy (niż w Rainbow) kontrast do obrazu, co pozwala zobaczyć bardziej równomierne szczegóły i dostrzec subtelne różnice temperatur; najlepiej nadaje się do scen z minimalną zmianą ciepła	IRONBOW: quickly identifies thermal anomalies and body heat, hot objects are displayed in brighter, warm colours, while cold objects are marked with dark, cool colours / IRONBOW: szybko identyfikuje anomalie termiczne i ciepło ciała, gorące obiekty są wyświetlane w jaśniejszych, ciepłych kolorach, podczas gdy zimne obiekty oznaczone są ciemnymi, chłodnymi kolorami
				
LAVA: displays warmer objects in red, cooler ones – in blue; useful for quick capturing of temperature of objects in low contrast environments / LAVA: wyświetla cieplejsze obiekty na czerwono, chłodniejsze – na niebiesko; przydatna do szybkiego uchwycenia temperatury obiektów w środowiskach o niskim kontraście	ARCTIC: displays warmer objects in yellow and cooler objects in blue; darker shading catches even slight changes in temperature / ARCTIC: wyświetla cieplejsze obiekty na żółto, a chłodniejsze – na niebiesko; ciemniejsze cieniowanie wyłapuje nawet niewielkie zmiany temperatury	GLOWBOW: displays warmer objects in yellow and cooler objects in red / GLOWBOW: wyświetla cieplejsze obiekty na żółto, a chłodniejsze – na czerwono	GRADED FIRE: displays warmer objects in white and cooler objects in black; the hottest temperatures are displayed in yellow and the coldest temperatures are displayed in purple / GRADED FIRE: wyświetla cieplejsze obiekty na biało, a chłodniejsze – na czarno; najgorętsze temperatury są wyświetlane na żółto, najzimniejsze na fioletowo	HOTTEST: displays warmer objects in white and cooler objects in black; only the hottest temperatures are displayed in yellow / HOTTEST: wyświetla cieplejsze obiekty na biało, a chłodniejsze na czarno; na żółto wyświetlane są tylko najgorętsze temperatury

Figure 15. Characteristics of colour palettes of thermal imaging cameras
Rycina 15. Charakterystyka palet kolorów kamer termowizyjnych

Source: <https://www.dronefly.com/autel-evo-ii-dual-usp.html> [access: 23.09.2021].
Źródło: <https://www.dronefly.com/autel-evo-ii-dual-usp.html> [dostęp: 23.09.2021].

Parameters of thermal imaging cameras are often presented in such a way that the image resolution is compared with the refresh rate. In the mentioned Zenmuse H20T camera the frequency is 30 Hz, which means that the image is refreshed 30 times per second. This ensures a smooth image, faster updating of the camera view and ultimately enables a more reliable assessment of the situation during operations. The lower the frequency, the more choppy, time-lapse movement of the image.

Parametry kamery termowizyjnej często prezentowane są w ten sposób, że rozdzielczość obrazu zestawiana jest z częstotliwością jego odświeżania. We wspomnianej kamerze Zenmuse H20T częstotliwość wynosi 30 Hz, co oznacza, że obraz odświeżany jest 30 razy na sekundę. Zapewnia to płynny obraz, szybszą aktualizację widoku z kamery i docelowo umożliwia bardziej wiarygodną ocenę sytuacji podczas działań. Im mniejsza częstotliwość, tym bardziej rwany, poklatkowy ruch obrazu.

Thermal sensitivity (noise equivalent temperature difference – NETD) is the fourth parameter that should be considered when selecting a thermal imaging camera. NETD is the minimum temperature difference the camera is able to observe. The relationship is as follows: the smaller the value of the parameter (expressed in mK), the more sensitive (better) the camera is, because it enables the detection of smaller temperature differences, and therefore provides more accurate data. It is also worth paying attention to the temperature at which this parameter is measured – some manufacturers artificially lower it, providing values at a higher temperature (e.g. 50°C instead of 30°C, which is standard for the industry).

The last parameter is the spectral range, i.e. the range of the recorded waves. As a rule, the most popular cameras record wavelengths of 8–14 μm (long-wave range), but there are cameras that record waves of other infrared wavelengths (e.g. 3–5 μm , the so-called mid-infrared). Such cameras have a number of additional features. The most interesting is that the cameras operating in the mid-infrared range can see through glass, thanks to which they can be used, for example, to quickly identify and locate people trapped in high-rise office buildings. In addition, such thermal imaging cameras can detect gas leaks such as propane, methane or butane.

Multispectral cameras

Multispectral cameras are increasingly being considered for use in search and rescue operations. They have even greater possibilities than RGBs and thermal imaging cameras, because apart from recording in the range of visible light (RGB cameras) and infrared radiation (thermal imaging cameras), they also record microwaves up to ultraviolet. In practice, these are cameras with several sensors operating in parallel (see Figure 16).

Czułość termiczna (ang. *noise equivalent temperature difference* – NETD) jest czwartym parametrem, na który warto zwrócić uwagę przy doborze kamery termowizyjnej. NETD to minimalna różnica temperatur, którą kamera jest w stanie zaobserwować. Zależność jest następująca: im mniejsza wartość parametru (wyrażona w mK), tym bardziej czuła (lepiej) kamera, ponieważ umożliwia ona wykrycie mniejszych różnic temperatur, a zatem dostarcza dokładniejszych danych. Warto w tym momencie również zwrócić uwagę na temperaturę, w jakiej jest mierzony ten parametr – część producentów sztucznie go zaniża, podając wartości w temperaturze wyższej (np. 50°C zamiast 30°C, która jest standardowa dla branży).

Ostatnim parametrem jest zakres spektralny, czyli zakres rejestrowanych fal. Z reguły najbardziej popularne kamery rejestrują fale o długości 8–14 μm (zakres długofalowy), jednak pojawiają się kamery rejestrujące fale o innych długościach podczerwieni (np. 3–5 μm , tzw. średnia podczerwień). Takie kamery posiadają szereg dodatkowych właściwości. Do najciekawszych należy zaliczyć to, że kamery pracujące w zakresie średniej podczerwieni widzą przez szkło, dzięki czemu mogą posłużyć np. do szybkiej identyfikacji i lokalizacji osób uwięzionych w wysokich biurowcach. Dodatkowo takie kamery termowizyjne posiadają możliwość wykrywania wycieków gazów, takich jak propan, metan czy butan.

Kamery multispektralne

Kamery multispektralne są coraz częściej rozważane do wykorzystywania w trakcie akcji poszukiwawczych i ratowniczych. Posiadają jeszcze większe możliwości niż kamery RGB i termowizyjne, ponieważ poza rejestracją w zakresie światła widzialnego (kamery RGB) oraz promieniowania podczerwonego (kamery termowizyjne) rejestrują również mikrofales aż do ultravioletu. W praktyce są to kamery posiadające w sobie kilka czujników działających równolegle (zob. ryc. 16).



Figure 16. DJI P4 Multispectral multispectral camera
Rycina 16. Kamera multispektralna DJI P4 Multispectral

Source: <http://www.swiatdronow.pl/dji-p4-multispectral-nowy-dron-dla-rolnictwa> [access: 23.09.2021].

Źródło: <http://www.swiatdronow.pl/dji-p4-multispectral-nowy-dron-dla-rolnictwa> [dostęp: 23.09.2021].

Due to the above and due to the necessity of greatest miniaturization of multispectral cameras adapted to be carried by unmanned aerial vehicles, their prices are very high. In addition, an important aspect in the case of using these cameras is applying appropriate algorithms for processing the obtained spectral

W związku z powyższym oraz ze względu na konieczność jak największej miniaturyzacji kamer multispektralnych dostosowanych do przenoszenia przez bezzałogowe statki powietrzne ich ceny są bardzo wysokie. Dodatkowo ważnym aspektem w przypadku wykorzystania tych kamer jest stosowanie odpowiednich

images and using appropriate spectral models. This means that the interpretation of unprocessed material from a multispectral camera is very difficult – to detect various objects, it is necessary to know the range of radiation they emit (i.e. their spectral models).

The greatest advantages of multispectral cameras include the ability to detect objects partially hidden, e.g. under dense trees, and even objects shallowly buried underground. Apart from the previously presented applications of RGB cameras and thermal imaging cameras, there are many examples of the possible use of multispectral cameras which include:

- searching for bodies [23],
- searching for people [24],
- detection of mines [25],
- detection of hidden plane wrecks [26],
- testing the moisture of bedding / substrate [27],
- detection of chemical compounds [28],
- assessment of the condition of vegetation after a fire [29].

Another application of unmanned aerial vehicles

As indicated in the introduction, UAVs have a wide range of applications and can support the activities of rescuers in a wide range. Increasingly, unmanned aerial vehicles are being retrofitted with various types of systems, including enabling the measurement of concentrations and composition of various substances, including hazardous ones. Such a set can be a great element of additional equipment for CBRN units (chemical, biological, radiological and nuclear), ensuring quick recognition of the situation, determining the type of substance and its concentration without exposing the firefighters. Currently, there are many different systems on the market that cooperate with UAVs, e.g. SOWA, Scendroid DR1000, Nosacz, AtmonFL [30]. Some of the mentioned systems (e.g. SOWA) are tested on specific drone constructions and dedicated to them, which means that the manufacturer has provided the necessary power reserve and planned the installation of the system on the drone. Some systems available on the market are universal, but not every drone is able to work with them. In this case, it is necessary to provide a device with a sufficient reserve of power, so that it is able to bear an additional sensor (which may weigh between 200 and 1500 g) and to counteract the gusts of wind for which it has been adapted. In addition, it is very important that the system is mounted as close as possible to the centre of gravity of the drone, then it has the least impact on the stability of the UAV. The system should not cover the communications antennas or GNSS positioning systems. The photograph below (see Figure 17) shows Yuneec Typhoon H520 drone with installed ATMON FL sensor.

algorytmów przetwarzania i obróbki otrzymanych obrazów spektralnych oraz korzystania z odpowiednich modeli spektralnych. Oznacza to, że interpretacja nieopracowanego materiału z kamery multispektralnej jest bardzo trudna – do wykrywania różnych obiektów musimy znać zakres promieniowania, jaki emitują (czyli ich modele spektralne).

Do największych zalet kamer multispektralnych należy zaliczyć zdolność wykrywania obiektów częściowo ukrytych np. pod gęstym zadrzewieniem, a nawet obiektów płytko zakopanych pod ziemią. Istnieje wiele przykładów możliwego zastosowania kamer multispektralnych, do których – poza wcześniej przedstawionymi zastosowaniami kamer RGB i kamer termowizyjnych – należy:

- poszukiwanie ciał [23],
- poszukiwanie ludzi [24],
- wykrywanie min [25],
- wykrywanie ukrytych wraków samolotów [26],
- badanie wilgotności ściółki/podłoża [27],
- wykrywanie związków chemicznych [28],
- ocena stanu roślinności po pożarze [29].

Inne zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych

Jak wskazano we wstępie, BSP posiadają szeroki wachlarz zastosowań i mogą wspierać działania ratowników w szerokim zakresie. Coraz częściej bezzałogowe statki powietrzne doposażają się w różnego rodzaju układy m.in. umożliwiające pomiar stężeń i składu różnych substancji, w tym niebezpiecznych. Taki zestaw może być świetnym elementem dodatkowego wyposażenia jednostek CBRN (ang. *chemical, biological, radiological and nuclear*), zapewniając szybkie rozpoznanie sytuacji, określenie rodzaju substancji i jej stężenia bez narażania strażaków. Obecnie na rynku istnieje wiele różnych systemów współpracujących z BSP, np. SOWA, Scendroid DR1000, Nosacz, AtmonFL [30]. Część z wymienionych systemów (np. SOWA) jest przetestowana na konkretnych konstrukcjach dronów i im dedykowana, co oznacza, że producent zapewnił niezbędny zapas mocy i przewidział montaż systemu na dronie. Niektóre systemy dostępne na rynku są uniwersalne, jednak nie każdy dron jest w stanie z nimi współpracować. W tym przypadku należy zapewnić urządzeniu odpowiedni zapas mocy, tak aby było w stanie udźwignąć dodatkowy czujnik (który może ważyć między 200 a 1500 g) oraz przeciwdziałać podmuchom wiatru, do jakich zostało przystosowane. Dodatkowo bardzo ważne jest, aby system był zamontowany jak najbliżej środka ciężkości drona, wówczas w najmniejszym stopniu wpływa na stabilność BSP. System nie powinien zakrywać anten do komunikacji lub systemów pozycjonowania GNSS. Na zdjęciu poniżej (zob. ryc. 17) przedstawiono drona Yuneec Typhoon H520 z zamontowanym czujnikiem ATMON FL.



Figure 17. Yuneec Typhoon H520 with installed ATMON FL air quality measurement system by Nanosens
Rycina 17. Yuneec Typhoon H520 z zamontowanym systemem pomiaru jakości powietrza ATMON FL firmy Nanosens
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

In this type of application, it is also advantageous that both the UAV and the sensor that performs the measurement have a long range, which will effectively reduce the risk of poisoning the pilot. The very specificity of CBRNE actions and the necessity to perform long-term monitoring require a long time of UAV operation. As a result, long-term flight is possible, as well as monitoring of both the concentration of substances and people in the immediate vicinity.

In case of using UAVs for CBRNE operations, its construction is important. It should be airtight and made of chemically resistant materials. On one hand, this will allow flying in aggressive chemical environments, and on the other for relatively simple and quick decontamination of the structure and its re-use. Working in an explosive atmosphere is an aspect no less important that must be met by UAVs in the course of CBRNE tasks. Such situations can happen in places such as refineries, paint shops, etc. Therefore, structures that operate in such conditions should additionally meet the requirements of the ATEX directive. During the review of literature, individual reports about UAVs that would be able to meet these requirements were found [31], but this topic is of great interest [32].

Another application of UAVs, more and more often considered under various projects, is the use of swarms of unmanned aerial vehicles, whose task is to automatically ensure and maintain communication between individual units participating in the rescue and firefighting operation. Such a solution seems to be particularly interesting in the context of extensive disasters and is the subject of analyses e.g. in the ASSISTANCE project [33]. In this case, the key parameters for UAVs will be: appropriate UAV transmission range proper for the type of communication network being set up, resistance to weather conditions such as

W tego typu zastosowaniach korzystne jest również, aby zarówno BSP, jak i sensor dokonujący pomiaru posiadały duży zasięg, co skutecznie ograniczy ryzyko zatrucia pilota. Sama specyfika akcji CBRNE i konieczność wykonania długotrwałego monitoringu wymaga długiego czasu pracy BSP. W rezultacie możliwy jest długotrwały lot i monitoring zarówno stężenia substancji, jak i ludzi w najbliższej okolicy.

W przypadku wykorzystania BSP do akcji CBRNE ważna jest jego konstrukcja. Powinna być ona szczelna i wykonana z materiałów odpornych chemicznie. Pozwoli to z jednej strony na lot w agresywnych środowiskach chemicznych, z drugiej na stosunkowo prostą i szybką dekontaminację konstrukcji i jej ponowne użycie. Nie mniej istotnym aspektem, jaki muszą spełniać BSP w trakcie zadań CBRNE jest praca w atmosferze wybuchowej. Takie sytuacje mogą się zdarzyć w miejscach takich jak rafinerie, rozlewnie lakierów itp. W związku z tym konstrukcje, które pracują w takich warunkach, dodatkowo powinny spełniać wymagania stawiane w dyrektywie ATEX. W trakcie przeglądu literatury odnaleziono pojedyncze doniesienia o BSP, który byłby w stanie sprostać tym wymaganiom [31], niemniej temat ten cieszy się dużym zainteresowaniem [32].

Innym zastosowaniem BSP, coraz częściej rozważanym w ramach różnych projektów, jest wykorzystanie rojów bezzałogowych statków powietrznych, których zadaniem jest automatyczne zapewnienie i utrzymywanie komunikacji pomiędzy poszczególnymi jednostkami biorącymi udział w akcji ratowniczo-gaśniczej. Takie rozwiązanie wydaje się być szczególnie ciekawe w kontekście rozległych katastrof i jest przedmiotem analiz m.in. w projekcie ASSISTANCE [33]. W tym przypadku kluczowymi parametrami stawianymi BSP będą: odpowiedni zasięg transmisji BSP właściwy dla rodzaju ustawianej sieci komunikacyjnej,

rain and wind, and sufficient battery life. The last parameter can be omitted assuming that the drone is powered from an external energy source through a tethered wire.

The last possible use of a drone, mentioned in the introduction, is for transport purposes. This design, due to its intended use, has similar requirements to firefighting drones, but the emphasis on individual parameters changes. Similarly to the firefighting drone, the transport drone must also have an appropriate MTOM parameter that allows to carry a load of the right weight. It is also very important in these constructions to place the load as close as possible to the UAV's centre of mass in order to minimize the impact on stability of the flight. A large mass at a distance from the centre of gravity during turns and gusts of wind will act like a pendulum, causing unstable flight. Unlike firefighting drones, another parameter that is important in transport structures is the range of data transmission (telemetry and video) and flight time. As a rule, cargo will not be moved over short distances, so it is crucial to ensure the appropriate range and flight time.

Cargo drones can be used by fire brigades to carry small loads such as AED (automated external defibrillator), medicines or samples. Such use of UAVs will be particularly applicable in difficult terrain, e.g. in a flood-affected area, enabling quick and easy delivery of medicines to people in need.

Summary and conclusions

This article presents an overview of selected UAV parameters and settings important in the operational work of the fire brigade. Thus, it is part of a research area related to the operational use of UAVs and the standardization, and certification of UAVs.

It is worth noting that although PSP and OSP units are increasingly willing to use UAVs, it is still necessary to disseminate knowledge about the impact of individual parameters and the selection of settings on the functionality and effectiveness of using UAVs during rescue operations. The transfer of such knowledge is important because most of the officers using UAVs during an operation are trained in accordance with civilian guidelines, which do not take into account the specificity of the work and often do not discuss additional elements of UAV equipment, such as cameras and their settings.

Thermal imaging can detect human body heat regardless of lighting conditions, so even small drones equipped with a thermal imaging camera can be used to recognize human activity. Their use also allows to find hot spots, e.g. a wooden ceiling, due to which it is possible to withdraw firefighters from an area where a roof can collapse. The above considerations also show that while a thermal imaging camera can be a useful and even invaluable tool, its parameters are important. As mentioned, a camera with a resolution of 140x140 or 320x256 pixels will allow locating an object, but not identifying it (it will be impossible to determine whether, for example, an anthill or a human has been noticed).

odporność na warunki atmosferyczne takie jak opady i wiatr oraz odpowiednio długi czas pracy na baterii. Ostatni parametr może być pominięty przy założeniu, że dron zasilany jest z zewnętrznego źródła energii poprzez przewód (ang. *tethered*).

Ostatnim, przytoczonym we wstępie, możliwym wykorzystaniem drona jest użycie go do celów transportowych. Taka konstrukcja, ze względu na przeznaczenie, ma zbliżone wymagania do dronów gaśniczych, jednak nacisk na poszczególne parametry się zmienia. Podobnie jak dron gaśniczy, także dron transportowy musi charakteryzować się odpowiednim parametrem MTOM pozwalającym na przeniesienie ładunku o odpowiedniej masie. Bardzo ważne w tych konstrukcjach jest również umieszczenie ładunku jak najbliżej środka masy BSP, w celu jak najmniejszego wpływu na stabilność lotu. Duża masa umieszczona w odległości od środka ciężkości w trakcie zakrętów i podmuchów wiatru będzie działała podobnie do wahadła, powodując niestabilny lot. Inny parametr, który w przeciwieństwie do dronów gaśniczych jest istotny w konstrukcjach transportowych to zasięg transmisji danych (telemetrii i wideo) i czas lotu. Przenoszenie ładunków z reguły nie będzie odbywało się na krótkich odległościach, dlatego kluczowym jest zapewnienie odpowiedniego zasięgu i czasu lotu.

Drony cargo mogą być wykorzystywane przez straż pożarną do przenoszenia niewielkich ładunków takich jak AED (ang. *automated external defibrillator*), lekarstwa, czy próbki. Takie wykorzystanie BSP będzie miało szczególne zastosowanie w trudnym terenie np. obszarze dotkniętym powodzią, umożliwiając szybkie i łatwe dostarczenie lekarstw dla osób potrzebujących.

Podsumowanie i wnioski

W niniejszym artykule zawarto przegląd wybranych parametrów i ustawień BSP istotnych w pracy operacyjnej straży pożarnej. Tym samym wpisuje się on w nurt badań związanych z zastosowaniem operacyjnym BSP oraz z normalizacją, standaryzacją i certyfikacją BSP.

Warto zaznaczyć, że mimo iż jednostki PSP i OSP coraz chętniej wykorzystują BSP, nadal konieczne jest upowszechnianie wiedzy na temat wpływu poszczególnych parametrów i doboru ustawień na funkcjonalność oraz efektywność użycia BSP podczas działań ratowniczych. Przekazanie takiej wiedzy jest istotne, ponieważ większość funkcjonariuszy korzystających z BSP w trakcie akcji jest szkolona zgodnie z wytycznymi cywilnymi, które nie uwzględniają specyfiki pracy oraz często nie omawiają dodatkowych elementów wyposażenia BSP, takich jak kamery i ich ustawienia.

Obrazowanie termowizyjne potrafi wykryć ciepło ludzkiego ciała niezależnie od warunków oświetleniowych, dzięki czemu nawet małe drony wyposażone w kamerę termowizyjną mogą być wykorzystywane do rozpoznawania aktywności człowieka. Ich zastosowanie umożliwi także odnalezienie gorących punktów np. drewnianego stropu, dzięki czemu możliwe jest wycofanie strażaków z obszaru zagrożonego zarwaniem dachu. Z powyższych rozważań wynika także, że o ile kamera termowizyjna może być przydatnym, a nawet nieocenionym narzędziem, o tyle istotne są jej parametry. Jak wspomniano, kamera o rozdzielczości

It should be emphasized that the analyses, conclusions and recommendations presented in the article undoubtedly have a practical dimension, as they can serve not only as a guide when selecting UAVs and its configuration for the planned mission and activities, but also to determine its parameters for the needs of tenders and orders. They can also be useful in developing technical recommendations and recommendations increasing the reliability and performance of UAVs, as well as constitute a basis for further research and development works on the construction and application of UAVs in fire brigades.

There is no doubt that this article does not exhaust a wide range of issues on the matter. It requires further in-depth analyses and tests in order to maximize the benefits of using UAVs, as well as to increase the reliability and safety of the used devices. Moreover, it is also advisable to continue research work aimed at developing methodologies for UAV verification and their parameters in a repeatable, reliable and precise manner.

The results of these works may allow initial systematization of operational aspects related to the use of UAVs in rescue and firefighting operations. For the time being, no such analyses have been carried out. The results of this work can be used for further research and reflection. They should be treated as part of a very complex issue, which is undoubtedly the use of UAVs in rescue and firefighting operations.

The authors of the article would like to thank the firefighters from Niegoszowice Volunteer Fire Brigade (Małopolskie Voivodeship) for providing photographic materials, the possibility of practical verification of parameters during joint exercises, as well as valuable advice and tips.

140x140 czy 320x256 pikseli pozwoli na zlokalizowanie obiektu, ale już nie na jego identyfikację (niemożliwe będzie stwierdzenie, czy dostrzeżono np. mrowisko czy człowieka).

Należy podkreślić, że zestawione w artykule analizy, wnioski i rekomendacje mają niewątpliwie wymiar praktyczny, gdyż mogą posłużyć nie tylko jako wskazówka podczas doboru BSP i jego konfiguracji do planowanej misji i działań, ale także do określenia jego parametrów na potrzeby przetargów i zamówień. Mogą także okazać się przydatne przy opracowywaniu zaleceń technicznych i zaleceń zwiększających niezawodność i osiągi BSP, a także stanowić podstawę do dalszych prac badawczo-rozwojowych nad budową i zastosowaniem BSP w straży pożarnej.

Nie ulega wątpliwości, że niniejszy artykuł nie wyczerpuje bogatej problematyki. Wymaga ona dalszych pogłębionych analiz i badań, w celu maksymalizacji korzyści z zastosowania BSP, a także zwiększenia niezawodności i bezpieczeństwa wykorzystywanych urządzeń. Co więcej, wskazane jest również kontynuowanie prac badawczych ukierunkowanych na opracowanie metodyk weryfikacji BSP i ich parametrów w sposób powtarzalny, wiarygodny i precyzyjny.

Wyniki tych prac mogą pozwolić na wstępne usystematyzowanie aspektów operacyjnych dotyczących wykorzystania BSP w działaniach ratowniczo-gaśniczych. Do tej pory nie przeprowadzono takich analiz. Wyniki tej pracy mogą zostać wykorzystane do dalszych badań i refleksji. Należy je traktować jako część bardzo złożonego zagadnienia, jakim niewątpliwie jest wykorzystanie BSP w działaniach ratowniczo-gaśniczych.

Autorzy artykułu pragną złożyć serdeczne podziękowania strażakom-druhom z OSP Niegoszowice (woj. małopolskie) za udostępnienie materiałów zdjęciowych, możliwość praktycznej weryfikacji parametrów podczas wspólnych ćwiczeń oraz cenne rady i wskazówki.

List of abbreviations

AED	automatic external defibrillator – automatic, portable and easy-to-use defibrillator adapted to work outside
ATEX	atmosphere explosible – EU directive specifying the requirements for components intended for use in potentially explosive atmospheres
BSP	unmanned aerial vehicle – UAV – any aircraft in operation or intended to be operated without a pilot on board, which can operate autonomously or be remotely piloted
BVLOS	beyond visual line of sight – drone flight beyond the pilot's line of sight
cd/m ²	SI unit for defining brightness. The unit used in the past was the nit
ND grey filters	neutral density – filters that do not change the colour of the photographed image, which at the same time suppress the amount of incoming light.

Wykaz skrótów

AED	(ang. <i>automatic external defibrillator</i>) – automatyczny, przenośny i prosty w obsłudze defibrylator przystosowany do pracy na zewnątrz
ATEX	(ang. <i>atmosphere explosible</i>) – dyrektywa UE określająca wymagania stawiane elementom przeznaczonym do użytku w strefach zagrożonych wybuchem
BSP	bezzałogowy statek powietrzny (ang. <i>unmanned aerial vehicle</i> – UAV) – dowolny statek powietrzny eksploatowany lub przeznaczony do eksploatacji bez pilota na pokładzie, który może działać autonomicznie lub być pilotowany zdalnie
BVLOS	(ang. <i>beyond visual line of sight</i>) – lot dronem poza granicą wzroku pilota
cd/m ²	jednostka SI definiująca jasność. Dawniej stosowaną jednostką był nit

	<p>Their proper application allows for a greater range of changes in the parameters responsible for the exposure</p>	Filtry szare ND	(ang. <i>neutral density</i>) – filtry niezmiennające barwy fotografowanego obrazu, które jednocześnie tłumią ilość wpadającego światła. Ich odpowiednie zastosowanie pozwala na większy zakres zmian parametrów odpowiedzialnych za ekspozycję
FOV	field of vision – the angle of the camera view specified in degrees	FOV	(ang. <i>field of vision</i>) – kąt widzenia kamery określany w stopniach
GCS	ground control station – any device or apparatus to control, data acquisition and communicate with the unmanned aerial vehicles by the pilot also allowing the monitoring of UAV parameters in any phase of flight. Usually includes control sticks and monitor enabling flight management and a preview of the image from the camera placed on the UAV	GCS	(ang. <i>ground control station</i>) – naziemna stacja kontroli – dowolne urządzenie lub aparatura do sterowania, pozyskiwania danych i komunikacji z bezzałogowymi statkami powietrznymi przez pilota, umożliwiająca również monitorowanie parametrów BSP w dowolnej fazie lotu. Zazwyczaj zawiera drążki sterowe i monitor umożliwiający zarządzanie lotem oraz podgląd obrazu z kamery umieszczonej na BSP
Geocaching	a security system aimed at preventing the UAV from leaving the mission area	Geocaching	system bezpieczeństwa mający na celu uniemożliwienie opuszczenia danego obszaru misji przez BSP
Geofencing	a safety system used in UAV that prevents the aircraft from entering a specific (e.g. forbidden) area of the airspace	Geofencing	system bezpieczeństwa stosowany w BSP uniemożliwiający wlecenie statkowi powietrznemu w określony (np. zabroniony) obszar przestrzeni powietrznej
ISO	in photography, it is a parameter that defines a uniform sensitivity of the matrix in a camera	ISO	w fotografii jest to parametr definiujący ujednoliconą czułość matrycy w aparacie fotograficznym
MTOM	maximal take-off mass – the maximum take-off mass that the UAV can bear together with its unladen mass	MTOM	(ang. <i>maximal take-off mass</i>) – maksymalna masa startowa, jaką jest w stanie unieść BSP razem z masą własną
NETD	noise equivalent temperature difference – sensitivity of the thermal camera or minimum detectable temperature difference that takes into account the noise signal from the thermal sensor of the thermal camera. It describes how well the infrared detector is able to distinguish very small differences in thermal radiation in an image and is usually expressed in millikelvins [mK]	NETD	(ang. <i>noise equivalent temperature difference</i>) – czułość kamery termowizyjnej lub minimalna wykrywalna różnica temperatur, która uwzględni sygnał szumu z czujnika termicznego kamery termowizyjnej. Określa ona, jak dobrze detektor termowizyjny jest w stanie rozróżnić bardzo małe różnice w promieniowaniu cieplnym na obrazie i jest wyrażana zazwyczaj w milikelwinach [mK]
Orthophotomap	a map made on the basis of a photograph, e.g. from the UAV	Ortofotomapa	mapa wykonana na podstawie fotografii zdjęciowej np. z BSP
OSP	Volunteer Fire Brigade – a volunteer uniform rescue formation, intended in particular to fight fires, natural disasters or other local threats	OSP	Ochotnicza Straż Pożarna – ochotnicza umundurowana formacja ratownicza, przeznaczona w szczególności do walki z pożarami, klęskami żywiołowymi lub innymi miejscowymi zagrożeniami
PSP	State Fire Service – a professional uniformed rescue formation, intended in particular to fight fires, natural disasters or other local threats	PSP	Państwowa Straż Pożarna – zawodowa umundurowana formacja ratownicza, przeznaczona w szczególności do walki z pożarami, klęskami żywiołowymi lub innymi miejscowymi zagrożeniami
RTH	return to home – UAV safety function which is an emergency return to the starting point at a certain height	RTH	(ang. <i>return to home</i>) – funkcja bezpieczeństwa BSP polegająca na awaryjnym powrocie do punktu startu na określonej wysokości
GNSS systems	global navigation satellite systems – systems enabling navigation on the ground using data obtained from geostationary satellites	Systemy GNSS	(ang. <i>global navigation satellite systems</i>) – systemy umożliwiające nawigację na ziemi za pomocą danych uzyskiwanych z satelit geostacjonarnych
UV	ultraviolet – range of electromagnetic radiation with a wavelength from 10nm to 400nm invisible to humans	UV	(ang. <i>ultraviolet</i>) – zakres promieniowania elektromagnetycznego o długości fali od 10nm do 400nm niewidzialnego dla człowieka
VLOS	visual line of sight – flight with a drone in sight of the pilot for the entire duration of the operation	VLOS	(ang. <i>visual line of sight</i>) – lot z dronem w zasięgu wzroku pilota przez cały okres trwania operacji

Literature / Literatura

- [1] Akhloufi M.A., Couturier A., Castro N.A., *Unmanned aerial vehicles for wildland fires: Sensing, perception, cooperation and assistance*, „Drones” 2021, 5(1), 15, <https://doi.org/10.3390/drones5010015>.
- [2] Roldán-Gómez J.J., González-Girona E., Barrientos A., *A Survey on Robotic Technologies for Forest Firefighting: Applying Drone Swarms to Improve Firefighters' Efficiency and Safety*, „Applied Sciences” 2021, 11(1), 363, <https://doi.org/10.3390/app11010363>.
- [3] Konrad R., Serrano D., Strupler P., *Unmanned Aerial Systems – Chapter 3*, [w:] *Search and Rescue Robotics – From Theory to Practice*, IntechOpen, Chorwacja 2017, 3840, <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.68449>.
- [4] Jurecka M., Niedzielski T., *Poszukiwanie osób zaginionych w terenach otwartych: przegląd stosowanych metod*, Rozprawy Naukowe Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego 47, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław 2020, 6990.
- [5] <https://www.gov.pl/web/kmpsp-plock/konferencja-prasowa-podsumowujaca-dzialania-przeciwpowodziowe-w-plocku> [dostęp: 23.09.2021]; https://www.sadyogrody.pl/logistyka_i_opakowania/107/portugalia_straz_pozarna_uzywa_dronow_w_walce_z_pozarami_lasow,26856.html [dostęp: 23.09.2021]; <http://www.sdis78.fr/les-interventions/40-feu/2148-intervention-victor-5-ans-sauve-sa-famille-des-flammes> [dostęp: 23.09.2021].
- [6] Akhloufi M.A., Couturier A., Castro N.A. (2021), *UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM (UAS) SEARCH AND RESCUE* – Addendum to the National Search and Rescue Supplement to the International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual, National Search and Rescue Committee, Version 1.0, 2016, 2–8.
- [7] <https://www.facebook.com/Pompierdsdu13/posts/2758222150878836> [dostęp: 23.09.2021].
- [8] Vanderhorst H.R., Suresh S., Renukappa S., Heesom D., *Strategic framework of Unmanned Aerial Systems integration in the disaster management public organisations of the Dominican Republic*, „International Journal of Disaster Risk Reduction” 2021, 56, 5, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102088>.
- [9] Rabajczyk A., Zboina J., Zielecka M., Fellner R., *Monitoring of Selected CBRN Threats in the Air in Industrial Areas with the Use of Unmanned Aerial Vehicles*, „Atmosphere” 2020, 11(12), 1373, 2020, 11–12, <https://doi.org/10.3390/atmos11121373>.
- [10] Schierbeck S., et al., *Automated external defibrillators delivered by drones to patients with suspected out-of-hospital cardiac arrest*, „European Heart Journal” 2021, 2–4, <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab498>.
- [11] Hayat S., Yanmaz E., Muzaffar R., *Survey on unmanned aerial vehicle networks for civil applications: A communications viewpoint*, „IEEE Communications Surveys & Tutorials” 2016, 18(4), 2624–2627.
- [12] Sprawozdanie za rok 2020 z pracy badawczej pn. „Określenie metodyk badawczych bezzałogowych platform latających mających zastosowanie w działaniach PSP”, nr 083/CD/CNBOP-PIB/MNISW/2020, Józefów 2021, 30–31.
- [13] <https://www.uavfordrone.com/product/fire-fighting-drone-with-dry-powder-fire-extinguishing-boom/> [dostęp: 20.09.2021].
- [14] https://www.youtube.com/watch?v=U0VFWyviLio&ab_channel=IntelligentSystemsSIA [dostęp: 20.09.2021].
- [15] https://www.ospkety.pl/2021-09-22-poszukiwania-bobrek/?fbclid=IwAR0rwwljjzbpMgMbCDXRfrmRq5D0-0WWD8jxWqob2PoxNP_wkl2M5X9QASKXA [dostęp: 23.09.2021]; <http://www.swiatdronow.pl/saruav-w-akcji-poszukiwania-35-latka-w-nowogrodzcu> [dostęp: 23.09.2021].
- [16] <https://www.youtube.com/watch?v=Gmf4oBenlY8> [dostęp: 23.09.2021].
- [17] <https://www.youtube.com/watch?v=D3BWpoJ6ijs> [dostęp: 23.09.2021].
- [18] <https://www.facebook.com/NiegoszowiceOSP/posts/1319313458484391> [dostęp: 23.09.2021].
- [19] https://enterprise.dji-ars.pl/produkty/matrice-300-rtk/?gclid=Cj0KCQjw18WKBhCUARIsAFiW7Jzhjrf0leq23I7k0y-ubM8iEBdt_Y7YQlJrU9RI9IGkjCcqTFNOH60gaAg7SEALw_wcB [dostęp: 27.09.2021].
- [20] https://www.youtube.com/watch?v=Ebe_BXXk49kv [dostęp: 27.09.2021].
- [21] https://pl.wikipedia.org/wiki/Obiektyw_standardowy [dostęp: 27.09.2021].
- [22] Pruss W., *Zastosowanie kamer termowizyjnych w działaniach ratowniczych*, SUPRON, 2016, 28.
- [23] Gallego A.J., Pertusa A., Gil P., Fisher R.B., *Detection of bodies in maritime rescue operations using unmanned aerial vehicles with multispectral cameras*, Wiley Online Library, [dok. elektr.] <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rob.21849>.
- [24] Blondel P., Potelle A., Pégard C., Lozano R., *Fast and viewpoint robust human detection for sar operations*, IEEE International Symposium on Safety Security, and Rescue Robotics (SSRR), Hokkaido, Japan, 2014, 1–6.
- [25] Zare A., Bolton J., Gader P., Schatten M., *Vegetation mapping for landmine detection using long-wave hyperspectral imagery*, „IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.” 2008, vol. 46, 172–178.
- [26] Eismann M.T., Stocker A.D., Nasrabadi N.M., *Automated Hyperspectral Cueing for Civilian Search and Rescue*, „Proceedings of the IEEE” 2009, 97(6), 1031–1055.
- [27] Brandon M., Niemann L. and J.D., *Controls on Spatial Patterns of Soil Moisture in a Semiarid Montane Catchment with Aspect-Dependent Vegetation*, Konferencja Hydrology Days 2009.
- [28] Cygański A., *Metody spektroskopowe w chemii analitycznej*, WNT, Warszawa 1993.
- [29] Fernández-Guisuraga J.M., Sanz-Ablanedo E., Suárez-Seoane S., Calvo, L., *Using unmanned aerial vehicles in postfire vegetation*

survey campaigns through large and heterogeneous areas: Opportunities and challenges, „Sensors” 2018, 18 (2), 586, <https://doi.org/10.3390/s18020586>.

- [30] Zboina J., Zawistowski M., Sowa T., *Ocena jakości powietrza z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych*, „Przemysł Chemiczny” 2020, 99 (7), 988993, <https://doi.org/10.15199/62.2020.7.4>.
- [31] <https://emag.directindustry.com/flying-with-the-first-atex-drone/> [dostęp: 08.09.2021]. <https://www.atexshop.com/explosion-proof-drone-intrinsically-safe.html> [dostęp: 08.09.2021].

[com/explosion-proof-drone-intrinsically-safe.html](https://www.atexshop.com/explosion-proof-drone-intrinsically-safe.html) [dostęp: 08.09.2021].

- [32] Marques M.M., Teles D., Rodrigues A.V., Lobo V., Gouveia-Carvalho J., Antunes W., Duarte F., *Chemical and radiological detection using UAV's with ATEX compliance: Proof of concept in port and maritime incident-based scenarios*, OCEANS 2018 MTS/IEEE, Charlest, 2018, s. 1–5.
- [33] <https://assistance-project.eu/> [dostęp: 08.09.2021].

MACIEJ ZAWISTOWSKI, M.SC. ENG – pilot of unmanned aerial vehicles, graduate of the Faculty of Electrical Engineering at the Warsaw University of Technology, in 2013-2018 he worked at Electrotechnical Institute in Międzyzlesie in the Department of Measurement and Diagnostic Systems and the Department of Electrical Drives and Controls. Since 2018, he has been working at Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów in the Drone Center Department. Head of the international project “ASSISTANCE – Adapted Situation Awareness tools and tailored training scenarios for increasing capabilities and enhancing the protection of First Responders” (Horizon 2020). Member of Niegoszowice Volunteer Fire Brigade.

RADOSŁAW FELLNER, M.SC. – between 2018–2021, senior engineering and technical specialist at Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, from 2021 a senior specialist at the Institute of Internal Security at the Main School of Fire Service. Instructor and pilot of unmanned aerial vehicles, participant in exercises and research projects using drones for: the State Fire Service, Police, Border Guard, airports. Co-organizer of the DroneTech World Meeting in Toruń – the largest cyclical international event in Poland devoted to unmanned technologies and systems.

MGR INŻ. MACIEJ ZAWISTOWSKI – pilot bezzałogowych statków powietrznych, 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 Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie w dziale Centrum Dronów. Kierownik międzynarodowego projektu “ASSISTANCE – Adapted Situation Awareness tools and tailored training scenarios for increasing capabilities and enhancing the protection of First Responders” (Horyzont 2020). Druh OSP Niegoszowice.

MGR RADOSŁAW FELLNER – w latach 2018–2021 starszy specjalista inżynierjno-techniczny w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowym Instytucie Badawczym, od 2021 r. starszy specjalista w Instytucie Bezpieczeństwa Wewnętrznego w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Instruktor i pilot bezzałogowych statków powietrznych, uczestnik ćwiczeń i projektów badawczych z wykorzystaniem dronów dla: Państwowej Straży Pożarnej, Policji, Straży Granicznej, portów lotniczych. Współorganizator DroneTech World Meeting w Toruniu – największego w Polsce, cyklicznego międzynarodowego wydarzenia poświęconego technologiom i systemom bezzałogowym.