

Maciej Zawistowski^{a)*}, Mikołaj Car^{a)}, Tomasz Kłoczewiak^{b)}

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

^{b)} *Rescue and Firefighting Unit No. 15, Municipal Headquarters of the State Fire Service in Warsaw / Jednostka Ratowniczo-Gaśnicza nr 15, Komenda Miejska Państwowej Straży Pożarnej w Warszawie*

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

The Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Equipped with a Thermal Imaging Camera in the Activities of the Fire Service in Poland. Suggested Parameters and Settings

Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych (BSP) wyposażonych w kamerę termowizyjną w działaniach straży pożarnej. Sugerowane parametry i ustawienia

ABSTRACT

Purpose: The aim of this article is to present the current use and potential solutions for using unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with thermal imaging cameras in firefighting operations. In addition, the article suggests optimal parameters and settings for thermal imaging cameras, which can significantly increase the efficiency and safety of rescue operations.

Introduction: Modern technology is providing new tools to support emergency services. One of the latest developments is using unmanned aerial vehicles (UAVs), commonly known as drones, in firefighting operations. These advanced devices are revolutionising the methods by which firefighters assess and manage emergencies. Of great importance for the potential use of UAVs are the sensors mounted on them, such as thermal imaging cameras. They register the infrared radiation emitted by objects, allowing precise identification of heat sources even in conditions of limited visibility, such as smoke or darkness. Drones equipped in this manner are becoming an indispensable tool in rescue operations, searching for missing persons, assessing the condition and development of fires or inspecting hydraulic infrastructure.

Methodology: The article discusses technical issues related to the use of unmanned aerial vehicles in firefighting operations. In developing the article, the authors used their own experience, a review of literature sources on the subject and expert interviews.

Conclusions: The contemporary challenges of the Fire Service require modern solutions. The integration of drones with thermal imaging cameras creates opportunities to make rescues more efficient and safer. The article presents examples of how thermal imaging cameras are used in the fire service.

Keywords: termovisual camera, fire service, unmanned aerial vehicle

Type of article: review article

Received: 21.05.2024; **Reviewed:** 09.06.2024; **Accepted:** 12.06.2024;

Authors' ORCID IDs: M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376; M. Car – 0009-0004-8150-1786; T. Kłoczewiak – 0009-0007-6235-5711;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 63 Issue 1, 2024, pp. 44–56, <https://doi.org/10.12845/sft.63.1.2024.4>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie obecnego zastosowania oraz potencjalnych rozwiązań użycia bezzałogowych statków powietrznych (BSP) wyposażonych w kamery termowizyjne w działaniach straży pożarnej. Dodatkowo, w artykule zaproponowano optymalne parametry i ustawienia kamer termowizyjnych, które mogą znacznie zwiększyć efektywność i bezpieczeństwo działań ratowniczych.

Wprowadzenie: Współczesna technologia dostarcza nowych narzędzi wspierających działania służb ratunkowych. Jednym z najnowszych osiągnięć jest zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych (BSP), powszechnie znanych jako drony, w działaniach straży pożarnej. Te zaawansowane urządzenia rewolucjonizują metody, za pomocą których strażacy oceniają sytuacje kryzysowe i nimi zarządzają. Duże znaczenie dla potencjalnego zastosowania BSP mają montowane na nich sensory, takie jak kamery termowizyjne. Rejestrują one promieniowanie podczerwone emitowane przez obiekty, pozwalając na precyzyjną identyfikację źródeł ciepła nawet w warunkach ograniczonej widoczności, takich jak zadymienie czy ciemność. Tak wyposażone drony stają się niezastąpionym narzędziem w akcjach ratowniczych, poszukiwaniach zaginionych osób, ocenie stanu i rozwoju pożarów czy inspekcji infrastruktury hydrotechnicznej.

Metodologia: Artykuł omawia kwestie techniczne związane z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych w działaniach straży pożarnej. W trakcie prac nad artykułem autorzy korzystali z własnego doświadczenia, przeglądu źródeł literatury przedmiotu oraz wywiadów eksperckich.

Wnioski: Współczesne wyzwania stojące przed strażą pożarną wymagają nowoczesnych rozwiązań. Integracja dronów z kamerami termowizyjnymi stwarza możliwości, aby ratownictwo było bardziej efektywne i bezpieczne. W artykule przedstawiono przykłady wykorzystania kamer termowizyjnych w straży pożarnej.

Słowa kluczowe: kamera termowizyjna, bezzałogowy statek powietrzny, straż pożarna

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 21.05.2024; **Zrecenzowany:** 09.06.2024; **Zaakceptowany:** 12.06.2024;

Identyfikatory ORCID autorów: M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376; M. Car – 0009-0004-8150-1786; T. Kłoczewiak – 0009-0007-6235-5711;

Autorzy wnieśli równy udział merytoryczny w opracowanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 63 Issue 1, 2024, pp. 44–56, <https://doi.org/10.12845/sft.63.1.2024.4>;

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

Using UAV in firefighting operations

Modern technology is constantly providing new tools to support emergency services. One of the most recent developments is using unmanned aerial vehicles (UAVs), commonly known as drones, in fire service operations. These advanced devices are revolutionising the methods by which firefighters assess and manage emergencies. Of great importance for their potential use is not so much the performance of the individual machines as the sensors that are mounted on them. Given the specific nature of firefighters' work, the most valuable piece of UAV equipment at the moment in terms of usability is thermal imaging cameras. They register the infrared radiation emitted by objects and allow precise identification of heat sources even in conditions of limited visibility, such as smoke or darkness. Equipped in this way, drones are becoming an indispensable tool in rescue operations, searching for missing persons, assessing the condition and development of fires or inspecting hard-to-reach areas.

In 2024, there are 94 UAVs in the PSP's records. The majority of these (around 70%) are various DJI-branded serial designs, such as the DJI Matrice (210, 300, 30T, 350), Mavic, Mini and Phantom. The State Fire Service also has 15 Yuneec H520 drones and 13 UAVs from other manufacturers. Almost all designs (around 95%) are multirotors, of which more than 63% have a thermal imaging camera. In addition, PSP can assign drones belonging to volunteer fire brigades to operations. Currently, there are 148 UAVs in the national fire and rescue system belong to OSP and around 35 UAVs that do not belong to KSRG. These figures show the great potential of drones in the fire service.

The research problem raised in this article is the selection of parameters and settings of thermal imaging cameras mounted on UAVs and the identification of their possible applications in support of firefighting operations. To address this issue, the authors used data provided by KG PSP, a review of scientific literature, reports from the national press and interviewed pilots with extensive experience of using UAVs in the State Fire Service activities.

The first of these is junior captain Marcin Klecz – in the service since 2011, and in PSP since 2020 as a senior specialist in

Wykorzystanie BSP w działaniach straży pożarnej

Współczesna technologia nieustannie dostarcza nowych narzędzi wspierających działania służb ratowniczych. Jednym z najnowszych osiągnięć jest zastosowanie w działaniach straży pożarnej bezzałogowych statków powietrznych (BSP), powszechnie znanych jako drony. Te zaawansowane urządzenia rewolucjonizują metody, za pomocą których strażacy oceniają sytuacje kryzysowe i nimi zarządzają. Duże znaczenie dla ich potencjalnego zastosowania mają nie tyle osiągi poszczególnych maszyn, co sensory, które są na nich montowane. Biorąc pod uwagę specyfikę pracy straży pożarnej, aktualnie najbardziej wartościowym pod względem użyteczności elementem wyposażenia bezzałogowego statku powietrznego są kamery termowizyjne. Rejestrują one promieniowanie podczerwone emitowane przez obiekty oraz pozwalają na precyzyjną identyfikację źródeł ciepła nawet w warunkach ograniczonej widoczności, takich jak zadymienie czy ciemność. Tak wyposażone drony stają się niezastąpionym narzędziem w akcjach ratowniczych, poszukiwaniach zaginionych osób, ocenie stanu i rozwoju pożarów czy inspekcji trudno dostępnych miejsc.

W 2024 r. w ewidencji PSP znajdują się 94 bezzałogowe statki powietrzne. Większość z nich (ok. 70%) to różne, seryjne konstrukcje marki DJI, takie jak: DJI Matrice (210, 300, 30T, 350), Mavic, Mini oraz Phantom. Państwowa Straż Pożarna dysponuje również 15 dronami Yuneec H520 oraz 13 BSP innych producentów. Prawie wszystkie konstrukcje (ok. 95%) są wielowirnikowcami, z czego ponad 63% posiada kamerę termowizyjną. Dodatkowo PSP może przydzielić do działań drony należące do ochotniczych straży pożarnych. Obecnie w krajowym systemie ratowniczo-gaśniczym widnieje 148 BSP należących do jednostek OSP i ok. 35 BSP z OSP nienależących do KSRG. Te dane wskazują na duży potencjał dronów w Straży Pożarnej.

Problemem badawczym podniesionym w niniejszym artykule jest dobór parametrów i ustawień kamer termowizyjnych montowanych na bezzałogowych statkach powietrznych oraz określenie ich możliwych zastosowań wspierających działania straży pożarnej. Do opracowania tego zagadnienia autorzy wykorzystali dane udostępnione przez KG PSP, przegląd literatury naukowej, doniesienia

the use of unmanned aerial vehicles in the fire service. Answers to the prepared questions were also provided by the co-author of this article, junior aspirant Tomasz Kłoczewiak, who has been involved in the promotion of drones in the services for many years – in service since 2015, he has been coordinating matters concerning UAV at the provincial level for four years as a rescuer of JRG 15. He is a member of the USAR Poland international group and has taken part in missions in Turkey and France.

This article aims to present the current use of UAV-mounted thermal imaging cameras in firefighting operations and to identify other possible directions for their use, as well as to present optimal flight parameters and thermal imaging camera settings that can significantly increase the efficiency and safety of rescue operations. Technical issues such as choosing the right camera resolution, temperature range, detector sensitivity, as well as practical operational aspects, i.e. flight procedures and data interpretation, will be addressed.

The article builds on earlier work described in a publication by M. Zawistowski and R. Fellner [1].

Examples of using thermal imaging cameras in firefighting

In an era of increasing demand for the participation of UAVs in rescue operations, three main applications of this type of reconnaissance tool have been noted. The first and main area of activity is to monitor and carry out reconnaissance of fire areas. The second area of use of this tool is in search operations, where the fire service has a supporting role in police operations. A third application of this technology is the monitoring of hydraulic infrastructure, such as flood embankments. These applications will be discussed in the following chapters.

Support in firefighting operations

Using UAVs gives firefighters the opportunity to be in a space that was previously inaccessible, i.e. directly above the scene of an incident. This is very important for a number of reasons – first and foremost, it gives a wide and high level situational view, allowing information not visible from ground level to be acquired. The first documented use of a drone equipped with a thermal imaging camera in firefighting operations took place in Manasterz, on 16 December 2019, during a warehouse fire in which door materials, including large quantities of polystyrene foam, were stored. As st. kpt. Marcin Lachnik mentioned in an interview with the nowiny24 portal, the use of the UAV made it possible to accurately locate the places where there were fire embers, as well as to take care of limiting the spread of the fire to neighbouring buildings [1].

z prasy krajowej oraz przeprowadzili wywiady z pilotami posiadającymi bogate doświadczenie z użyciem BSP w działaniach Państwowej Straży Pożarnej.

Pierwszym z nich jest młodszy kapitan Marcin Klecz – w służbie od 2011 roku, w PSP od 2020 roku pełni funkcję starszego specjalisty do spraw wykorzystania bezzałogowych statków powietrznych w straży pożarnej. Odpowiedzi na opracowane pytania udzielił też współautor niniejszego artykułu, młodszy aspirant Tomasz Kłoczewiak, który od wielu lat zajmuje się promowaniem dronów w służbach – w mundurze od 2015 roku, od 4 lat jako ratownik JRG 15 koordynuje sprawy dotyczące BSP na poziomie wojewódzkim. Jest członkiem międzynarodowej grupy USAR Poland, brał udział w misjach w Turcji i Francji.

Niniejszy artykuł ma na celu przedstawienie obecnego zastosowania kamer termowizyjnych montowanych na BSP w działaniach straży pożarnej oraz wskazanie innych możliwych kierunków ich wykorzystania, a także prezentację optymalnych parametrów lotu i ustawień kamer termowizyjnych, które mogą znacznie zwiększyć efektywność i bezpieczeństwo działań ratowniczych. Poruszone zostaną kwestie techniczne, takie jak wybór odpowiedniej rozdzielczości kamery, zakres temperatur, czułość detektora, a także praktyczne aspekty operacyjne, tj. procedury lotów i interpretacja danych.

Artykuł stanowi rozwinięcie wcześniejszych prac opisanych w publikacji autorstwa M. Zawistowskiego i R. Fellnera [1].

Przykłady wykorzystania kamer termowizyjnych w straży pożarnej

W dobie rosnącego zapotrzebowania na udział bezzałogowych statków powietrznych w działaniach ratowniczych zauważono trzy główne zastosowania tego typu narzędzi rozpoznawczych. Pierwszym i zarazem głównym polem działania jest monitorowanie i prowadzenie rozpoznania miejsc objętych pożarem. Drugim obszarem użycia tego narzędzia są akcje poszukiwawcze, w których straż pożarna pełni rolę wspierającą w działaniach policji. Trzecim zastosowaniem tej technologii jest monitorowanie infrastruktury hydrotechnicznej, m.in. wałów przeciwpowodziowych. Zastosowania te zostaną omówione w podrozdziałach poniżej.

Wsparcie w akcjach gaśniczych

Dzięki użyciu BSP strażacy zyskują możliwość znalezienia się w przestrzeni do tej pory niedostępnej, tj. bezpośrednio nad miejscem zdarzenia. To bardzo istotne z wielu względów – przede wszystkim daje szeroki i możliwie pełny ogląd sytuacji, pozwala pozyskać informacje niewidoczne z poziomu ziemi. Pierwsze udokumentowane użycie w działaniach gaśniczych drona wyposażonego w kamerę termowizyjną miało miejsce w Manasterzu, 16 grudnia 2019 roku, w czasie pożaru hal magazynowych, w których składowano materiały do produkcji drzwi, w tym duże ilości styropianu. Jak wspominał st. kpt. Marcin Lachnik w wywiadzie dla portalu nowiny24, wykorzystanie BSP umożliwiło dokładne zlokalizowanie miejsc, w których były zarzewia ognia, jak również zadbanie o ograniczenie rozprzestrzeniania się pożaru na sąsiednie budynki [1].

Over the following years, drones were used sporadically in firefighting operations. According to data from KG PSP, drones were only dispatched to fires 78 times between 2020 and 2023, while drones have already been used 19 times in the ongoing year 2024 (only till April). Based on this statistic, it is clear that the awareness of dispatchers and emergency managers is slowly and steadily increasing. A good example of modern, effective action to support rescue managers is the May fire at the trade fair halls at ul. Marywilska 44 in Warsaw, where a fire completely burnt down approx. 50,000 m² of commercial space [3]. Based on a telephone interview with the provincial UAV coordinator, mł. asp. Tomasz Kłoczewiak, the authors obtained a range of detailed information on the course of action. On the first day of operations, more than a hundred firefighting teams were deployed, including six drones. The data was transmitted live to both the City Fire Service Headquarters in Warsaw and to the local command and communications vehicle used for tactical level operations. On the first day of operations, the main task of the pilots was to communicate the current tactical situation in order to guide the safe actions of rescuers on the ground and direct water currents. On the second day, the role of the drones was even more important. The applied coordination of pilots with combat section commanders at such a large burn proved to be an excellent solution. In the first phase, an orthophotomap of the burn area was drawn up, while in the second phase, pilots made scanning flights with thermal imaging cameras. The results, in the form of GPS coordinates and thermograms, were in turn relayed to fire section commanders in order to send out rotors with water jets to extinguish the fire. This resulted in a much shorter extinguishing operation (especially given the size of the facility).

Search for missing persons and local incidents

The second use of drones in PSP is to support police units in search operations for missing persons. Drones are increasingly playing a key role in search and rescue operations, as evidenced by numerous media reports [4–6]. Thermal imaging cameras make it possible to search in difficult terrain regardless of the time of day, thanks to their sensor (microbolometer), which – unlike RGB cameras – does not need visible light to function efficiently. Search and rescue operations are often carried out on a large scale, involving considerable forces and resources over large areas, often wasteland, woodland or grassland. Police operations usually require the support of firefighting units. This in turn offers opportunities to combine both human power and the tools used, including drones. According to the 2023 study, a very big problem in the search itself is the use of appropriate specialist tools available outside of the police structures themselves, including drones, which are held by units of the PSP and OSP [7]. It should be noted at this point that there are a growing number of applications supporting drone searches. In addition to programmes that analyse images from RGB cameras such as

Przez kolejne lata drony były wykorzystywane w akcjach gaśniczych sporadycznie. Według danych KG PSP w latach 2020–2023 do pożarów zadysponowano drony tylko 78 razy, podczas gdy w trwającym 2024 roku, tylko do kwietnia, dronów użyto już 19 razy. Na podstawie tej statystyki wyraźnie widać, że świadomość dyspozytorów i kierujących działaniami ratowniczymi w zakresie wykorzystania BSP powoli i systematycznie wzrasta.

Dobrym przykładem współczesnego, skutecznego działania wspierającego kierujących działaniami ratowniczymi jest choćby majowy pożar hal targowych przy ulicy Marywilskiej 44 w Warszawie, gdzie w pożarze doszczętnie spłonęło ok. 50 tys. m² powierzchni handlowej [3]. Na podstawie przeprowadzonego telefonicznego wywiadu z koordynatorem wojewódzkim ds. BSP mł. asp. Tomaszem Kłoczewiakiem autorzy uzyskali szereg szczegółowych informacji na temat przebiegu prowadzonych działań. Pierwszego dnia działań do akcji zadysponowano ponad sto zastępów straży pożarnej, w tym sześć dronów. Dane były przesyłane na żywo zarówno do Komendy Miejskiej PSP w Warszawie, jak i do lokalnego samochodu dowodzenia i łączności, wykorzystanego do działań na poziomie taktycznym. W pierwszym dniu akcji głównym zadaniem pilotów było przekazywanie bieżącej sytuacji taktycznej, w celu prowadzenia bezpiecznych działań ratowników na ziemi i kierowania prądów wodnych. Drugiego dnia rola dronów była jeszcze bardziej istotna. Zastosowana koordynacja pilotów z dowódcami odcinków bojowych przy tak dużym pogorzelisku okazała się doskonałym rozwiązaniem. W pierwszej fazie sporządzono ortofotomapę pogorzeliska, w drugiej zaś piloci dokonywali przelotów skanujących kamerami termowizyjnymi. Wyniki w postaci koordynatów GPS i termogramów przekazywano z kolei do dowódców odcinków gaśniczych w celu wysłania rot z prądami wodnymi, aby zgasić zarzewia ognia. Dzięki temu akcja dogaszania trwała o wiele krócej (zwłaszcza, biorąc pod uwagę rozmiar obiektu).

Poszukiwania osób zaginionych i zdarzenia miejscowe

Drugim sposobem wykorzystania dronów w PSP jest wsparcie jednostek policji w działaniach poszukiwawczych osób zaginionych. Drony coraz częściej odgrywają kluczową rolę w operacjach poszukiwawczo-ratowniczych, czego dowodem są liczne doniesienia medialne [4–6]. Kamery termowizyjne umożliwiają poszukiwania w trudnym terenie bez względu na porę dnia, a to dzięki zastosowaniu w nich sensora (mikrobolometr), który – w odróżnieniu od kamer RGB – do sprawnego działania nie potrzebuje światła widzialnego. Akcje poszukiwawczo-ratownicze prowadzone są często na szeroką skalę, długotrwałe angażując znaczne siły i środki na dużych obszarach, często nieużytkach, terenach lesistych bądź trawiastych. Działania policji zazwyczaj wymagają wsparcia jednostek straży pożarnej. To z kolei daje możliwości połączenia zarówno siły ludzkiej, jak i wykorzystywanych narzędzi, w tym dronów. Jak wynika z badań przeprowadzonych w 2023 roku, bardzo dużym problemem w samych poszukiwaniach jest zastosowanie odpowiednich narzędzi specjalistycznych dostępnych poza strukturami samej policji, w tym dronów, które są w posiadaniu jednostek PSP i OSP [7]. Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że istnieje

SARUAV [8] or Loc8 [9], among others, there are applications that allow the analysis of data collected from thermal imaging cameras installed in drones. An example of such a programme is the RDT application [10], which, on the basis of thermograms, searches for and provides the locations where a wanted person could potentially be located.

coraz więcej aplikacji wspierających prowadzenie poszukiwań za pomocą dronów. Poza programami analizującymi obrazy z kamer RGB jak m.in. SARUAV [8] czy Loc8 [9] istnieją aplikacje pozwalające na analizę danych zbieranych z kamer termowizyjnych zainstalowanych w dronach. Przykładem takiego programu jest aplikacja RDT [10], która na podstawie termogramów wyszukuje i podaje miejsca, gdzie potencjalnie może znajdować się osoba poszukiwana.

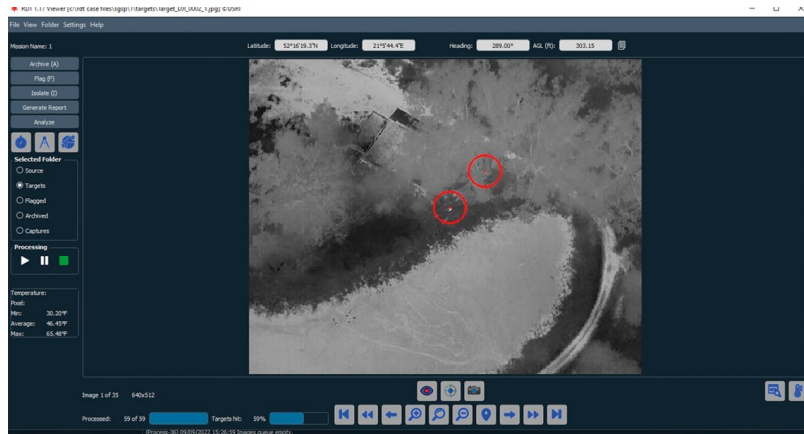


Figure 1. View of the RDT application
Rycina 1. Widok aplikacji RDT

Source / Źródło: <https://enterprise.dilectro.pl/wp-content/uploads/2022/09/RDT-Menu-3.png>, [access: 15.04.2024].

Since 2021, the presence of drones in the resources of the fire service has been steadily increasing, thus translating into increasing search capabilities. At the same time, we can see a steady increase in the number of trained pilots. The state of training as of May 2024 is 373 pilots (of which more than half have NSTS mission ratings). The exact values are shown in the table below and in Figure 2.

Od 2021 roku obecność dronów w zasobach straży pożarnej systematycznie rośnie, przekładając się tym samym na coraz większe możliwości poszukiwawcze. Jednocześnie możemy zaobserwować stały wzrost liczby przeszkolonych pilotów. Stan wyszkolenia na maj 2024 wynosi 373 pilotów (w tym ponad połowa posiada uprawnienia do wykonywania misji NSTS). Dokładne wartości przedstawiono w poniższej tabeli oraz na rycinie 2.

Table 1. Number and type of ratings held by pilots in PSP
Tabela 1. Liczba i rodzaj uprawnień posiadanych przez pilotów w PSP

UAV pilot training in PSP / Wyszkolenie pilotów BSP w PSP	
Category / Kategoria	Number of pilots / Liczba pilotów
A1/A3	373
A2	191
NSTS - 01	172
NSTS - 02	142
NSTS - 03	2

UAV pilot training in PSP / Wyszkolenie pilotów BSP w PSP	
Category / Kategoria	Number of pilots / Liczba pilotów
NSTS - 04	1
NSTS - 05	118
NSTS - 06	203
STS - 01	28
STS - 02	16

Source: Own elaboration based on data from KG PSP.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z KG PSP.

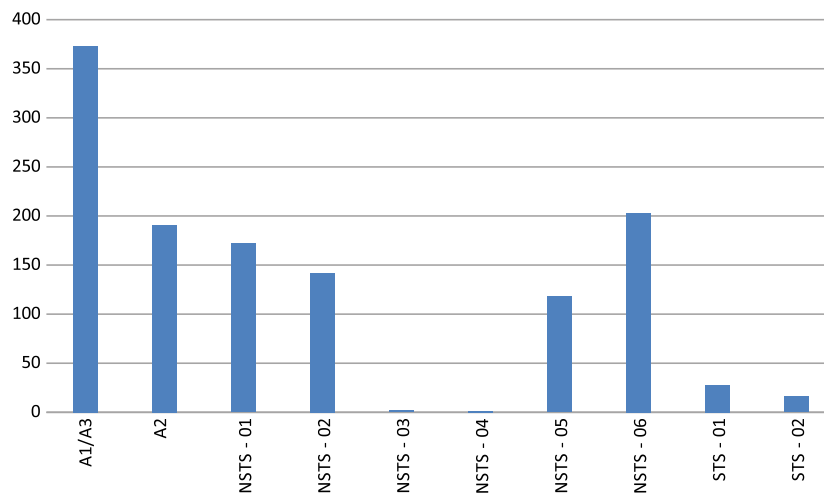


Figure 2. Number and type of qualifications held by PSP pilots
Rycina 2. Liczba i rodzaj uprawnień posiadanych przez pilotów PSP
Source: Own elaboration based on data from KG PSP.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z KG PSP.

According to statistics from KG PSP, drones were dispatched to local incidents 437 times between 2020 and 2023, and as many as 107 till April 2024. It is an increase that shows the increasing awareness of dispatchers. Drones were not only used during search operations. Monitoring of critical infrastructure (e.g. flood embankments) was also carried out.

Według statystyk KG PSP w latach 2020–2023 do działań przy zdarzeniach miejscowych drony zadysponowano 437 razy, zaś do kwietnia 2024 roku – aż 107. To wzrost, który świadczy o coraz większej świadomości dyspozytorów. Drony użyto nie tylko podczas akcji poszukiwawczych. Dokonywano również monitorowania infrastruktury krytycznej (m.in. wałów przeciwpowodziowych).

Monitoring the state of flood embankments

Another application of thermal imaging is the identification of dike leaks and hydraulic penetrations using thermal imaging cameras. The above can be seen when cold water begins to seep through the embankment, at which point significant temperature differences can be seen. Such cases are well described in the articles *Automatic recognition of earth embankment leaks based on UAV passive infrared thermography and deep learning* [11] and *Detection and identification of earth embankment leaks based on visible and infrared UAV images* [12]. The figure below shows an example of seepage through an earth embankment.

Monitorowanie stanu wałów przeciwpowodziowych

Kolejnym zastosowaniem termowizji jest identyfikowanie za pomocą kamer termowizyjnych przecieków wałów przeciwpowodziowych i przebić hydraulicznych. Powyższe można zaobserwować w momencie, gdy zimna woda zaczyna przesiąkać przez wał, wówczas widać znaczne różnice temperatur. Takie przypadki dobrze opisują artykuły pt. *Automatic recognition of earth rock embankment leakage based on UAV passive infrared thermography and deep learning* [11] oraz *Detect and identify earth rock embankment leakage based on UAV visible and infrared images* [12]. Poniższa rycina przedstawia przykładowy przesięk przez wał ziemny.

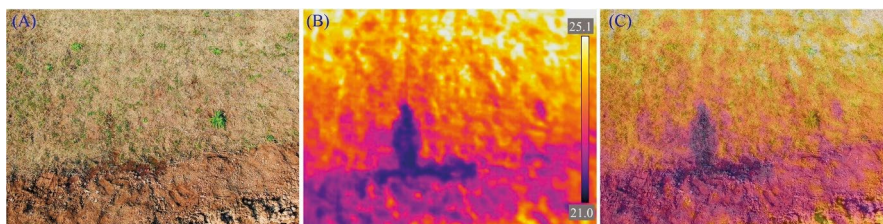


Figure 3. Actual view of the seepage: A – RGB camera view; B – thermal imaging camera view; C – combined view
Rycina 3. Rzeczywisty widok przesięku: A – widok z kamery RGB; B – widok z kamery termowizyjnej; C – widok kombinowany
Source / Źródło: R. Zhou, Z. Wen, H. Su, *Automatic recognition of earth rock embankment...* [12].

Please note that for a thermal imaging camera to locate a leak, there must be at least partial physical permeate of water through the flood embankment. It is worth noting that the use of UAV allows the condition of the flood embankment to be monitored from a safe place, reducing the risk to firefighters and other services. In addition, the use of drones in monitoring the condition of flood embankments saves considerable effort, resources and time, as active monitoring includes tens of kilometres of hydraulic structures that have to be traversed on foot to achieve adequate accuracy.

The most important parameters and settings of a thermal imaging camera and their impact on the effects of its use in firefighting operations

The effective use of thermal imaging cameras mounted on unmanned aerial vehicles (UAVs) in firefighting operations is largely linked to the correct selection of flight parameters, which are influenced by the technical parameters of the camera, weather conditions and the optimal settings of the device. These in turn depend on the pilot's current situation and habits. The key parameters of thermal imaging cameras and their relevance to the effectiveness of rescue operations are outlined below.

The most important technical parameters of the thermal imaging camera include:

- resolution of the detector,
- temperature range,
- noise equivalent temperature difference (NETD),
- spot size ratio (SSR),
- spectral range.

The most important settings for thermal imaging cameras include:

- sharpness and resolution of the image,
- frame rate,
- colour modes and colour palettes.

Resolution of the detector

The resolution of the detector [13–14] is one of the key parameters affecting the quality of the image generated by a thermal imaging camera mounted on a drone. In the context of firefighting operations, the resolution of the thermal camera's detector, which determines the number of pixels of which the thermal image is composed, is particularly important for the precise location of heat sources, hazard identification and real-time assessment of the situation. It is usually expressed as the number of horizontal pixels per number of vertical pixels. Currently, the most developed thermal imaging cameras for mounting on UAVs have a resolution of 640x480 pixels. Each pixel records the temperature of a specific point in the camera's field of view, and this parameter will therefore affect the precision of detection

Należy zaznaczyć, że aby kamera termowizyjna mogła zlokalizować wyciek, konieczne jest chociaż częściowe fizyczne przesiąknięcie wody przez wał przeciwpowodziowy. Warto zwrócić uwagę na fakt, że zastosowanie bezzałogowego statku powietrznego pozwala na monitorowanie stanu wału przeciwpowodziowego z bezpiecznego miejsca, ograniczając zagrożenie dla strażaków i innych służb. Dodatkowo zastosowanie dronów w monitorowaniu stanu wałów przeciwpowodziowych umożliwia zaoszczędzenie znacznych sił i środków oraz czasu, gdyż w zakres aktywnego monitorowania wchodzi dziesiątki kilometrów budowli hydrotechnicznych, które trzeba przemierzyć pieszo, aby uzyskać odpowiednią dokładność.

Najważniejsze parametry i ustawienia kamery termowizyjnej oraz ich wpływ na efekty jej wykorzystania w działaniach straży pożarnej

Efektywne wykorzystanie kamer termowizyjnych zamontowanych na bezzałogowych statkach powietrznych (BSP) w działaniach straży pożarnej powiązane jest w dużej mierze z właściwym doбором parametrów lotu, na które wpływ mają parametry techniczne kamery, warunki atmosferyczne oraz optymalne ustawienia urządzenia. Te zaś zależą od aktualnej sytuacji i nawyków pilota. Poniżej przedstawiono kluczowe parametry kamer termowizyjnych oraz ich znaczenie dla skuteczności operacji ratunkowych.

Do najważniejszych parametrów technicznych kamery termowizyjnej należy zaliczyć:

- rozdzielczość detektora,
- zakres temperatur,
- czułość termiczna (ang. *noise equivalent temperature difference*, NETD),
- wskaźnik wielkości plamki (ang. *spot size ratio*, SSR),
- zakres spektralny.

Do najważniejszych ustawień kamer termowizyjnych należy zaliczyć:

- ostrość i rozdzielczość obrazu,
- szybkość odświeżania obrazu,
- tryby kolorów i palety barw.

Rozdzielczość detektora

Rozdzielczość detektora [13–14] jest jednym z kluczowych parametrów wpływających na jakość obrazu generowanego przez kamerę termowizyjną zamontowaną na dronie. W kontekście działań straży pożarnej, rozdzielczość detektora kamery termowizyjnej, określająca liczbę pikseli, z których składa się obraz termiczny, ma szczególne znaczenie dla precyzyjnej lokalizacji źródeł ciepła, identyfikacji zagrożeń oraz oceny sytuacji w czasie rzeczywistym. Wyraża się ją zazwyczaj jako liczbę pikseli w poziomie na liczbę pikseli w pionie. Obecnie, najbardziej rozwinięte kamery termowizyjne przeznaczone do montowania na BSP posiadają rozdzielczość 640x480 pikseli. Każdy piksel rejestruje temperaturę określonego punktu w polu widzenia kamery, w związku z tym parametr ten będzie rzutował na precyzję wykrywania i identyfikacji oraz analizę

and identification, as well as thermal analysis. A higher resolution of the detector means more pixels, which translates into a more detailed thermal image. In the context of rescue operations, the higher resolution enables more accurate identification of hotspots, such as fire embers or the bodies of injured people in difficult conditions. In addition, high-resolution detectors can cover larger areas while maintaining satisfactory image detail. This aspect is particularly important in large-scale firefighting operations, such as warehouse or forest fires, where monitoring of extensive areas is crucial.

Temperature range

Temperature range [15] is one of the most important parameters of thermal imaging cameras, especially those mounted on drones used by the fire service. Temperature range is one of the most important parameters for thermal imaging cameras, especially those mounted on drones used by the fire service. It determines the minimum and maximum temperatures that the camera is able to measure and display. In the context of rescue and firefighting operations, an adequate temperature range is essential for effective monitoring and analysis of the situation. Thermal imaging cameras mounted on drones generally have two temperature measurement ranges – an accurate one, measuring around -20°C – 150°C , and a general one around 0°C – 500°C . It is crucial that the UAV pilot correctly selects the right temperature range depending on the type of operation to be performed. This has a significant impact on the effective use of thermal cameras and subsequent data analysis.

Noise equivalent temperature difference (NETD)

Noise equivalent temperature difference (NETD) [16] is one of the most important parameters of thermal imaging cameras, especially when mounted on drones used by the fire service. The lower the NETD value, the greater the sensitivity of the camera, which means it can capture very subtle temperature differences. This parameter is generally expressed in milli Kelvin (mK) and in most cameras it is 50 mK. This means that the thermal imaging camera is able to detect temperature changes of 0.05°C . As can be observed, the sensitivity of the thermal imaging camera will be crucial for detecting hot spots during fires, but also during the search for injured persons.

Spot size ratio

Spot size ratio (SSR) which is the ratio of the spot size to the distance [18], is another of the key technical parameters in thermal imaging cameras, especially those mounted on drones. The SSR defines the minimum size of the area from which the camera can accurately measure the temperature at a given distance. Understanding and properly managing this parameter is

termiczną. Wyższa rozdzielczość detektora oznacza więcej pikseli, co przekłada się na bardziej szczegółowy obraz termiczny. W kontekście działań ratunkowych, wyższa rozdzielczość umożliwia dokładniejszą identyfikację gorących punktów, takich jak zarzewia pożaru czy ciała poszkodowanych osób w trudnych warunkach. Dodatkowo detektory o wysokiej rozdzielczości mogą pokrywać większe obszary przy zachowaniu zadowalającej szczegółowości obrazu. Ten aspekt jest szczególnie ważny w akcjach gaśniczych na dużą skalę, takich jak pożary hal magazynowych czy lasów, gdzie monitorowanie rozległych terenów jest kluczowe.

Zakres temperatur

Zakres temperatur [15] jest jednym z najważniejszych parametrów kamer termowizyjnych, zwłaszcza tych zamontowanych na dronach używanych przez straż pożarną. Określa on minimalne i maksymalne wartości temperatur, które kamera jest w stanie zmierzyć i wyświetlić. W kontekście operacji ratunkowych i gaśniczych, odpowiedni zakres temperatur jest niezbędny do skutecznego monitorowania i analizy sytuacji. Kamery termowizyjne montowane na dronach z reguły posiadają dwa zakresy pomiaru temperatury – dokładny, mieszający się w wartościach ok. -20°C – 150°C , oraz ogólny ok. 0°C – 500°C . Kluczowe jest właściwe dobranie odpowiedniego zakresu temperaturowego przez pilota BSP w zależności od rodzaju operacji do wykonania. Ma to znaczący wpływ na efektywne wykorzystanie kamer termowizyjnych i późniejszą analizę danych.

Czułość termiczna (NETD)

Czułość termiczna, znana również jako NETD (ang. *noise equivalent temperature difference*) [16], jest jednym z ważniejszych parametrów kamer termowizyjnych, zwłaszcza gdy są zamontowane na dronach używanych przez straż pożarną. NETD określa najmniejszą różnicę temperatur, którą kamera jest w stanie wykryć. Im niższa wartość NETD, tym większa czułość kamery, co oznacza, że może ona rejestrować bardzo subtelne różnice temperatur. Parametr ten z reguły wyrażany jest w mili Kelvinach (mK) i w większości kamer wynosi on 50 mK. Oznacza to, że kamera termowizyjna jest w stanie rozpoznać zmiany temperatury na poziomie $0,05^{\circ}\text{C}$. Jak widać, czułość kamery termowizyjnej będzie miała kluczowe znaczenie dla wykrywania punktów gorących w trakcie pożarów, ale także podczas poszukiwań osób poszkodowanych.

Wskaźnik wielkości plamki

Wskaźnik wielkości plamki (ang. *spot size ratio*, SSR), czyli stosunek wielkości plamki pomiarowej do odległości [18], to kolejny z kluczowych parametrów technicznych w kamerach termowizyjnych, szczególnie tych zamontowanych na dronach. SSR określa minimalną wielkość obszaru, z którego kamera może dokładnie zmierzyć temperaturę na określonej odległości.

essential for effective and accurate monitoring and assessment of the situation by the fire service. This works in such a manner that, at a certain distance from an object, a thermal imaging camera with a high SSR can measure the temperature of smaller areas more precisely (e.g. with an SSR of 300:1, from a distance of 300 metres, the camera will be able to accurately measure the temperature over an area 1 metre in diameter). In the context of firefighting operations, a thermal imaging camera mounted on a drone must be able to accurately measure temperature from long distances, which is extremely important – especially during fires. SSR can be determined using the below formula [20]:

$$SSR_{3 \times 3} = 3 * \pi \left(\frac{FOV[^{\circ}]}{180N} \right) * D[m] \quad (1)$$

where:

FOV (field of view) – field of view of the camera, using the parameter HFOV (horizontal field of view) for calculations in the horizontal axis or VFOV (vertical field of view) for the vertical axis of the camera;

N – number of camera pixels in a specific axis;

D – distance between object and UAV expressed in metres [m].

Spectral range

The spectral range of a thermal imaging camera refers to the specific range of infrared wavelengths that the camera is able to detect. Thermal imaging cameras used in drones for rescue and firefighting operations need to be adapted to the specific operational conditions, making the choice of the appropriate spectral range critical to their effectiveness.

Thermal imaging cameras typically operate in three main spectral ranges:

- short-wave infrared (SWIR) with a range from 0.9 to 1.7 μm ;
- mid-wave infrared (MWIR) with a range of 3 to 5 μm ;
- long-wave infrared (LWIR) with a range from 7 to 14 μm .

The different spectral ranges are characterised by certain features that facilitate correct observation and identification. The SWIR short-wave range has high heat detection performance in low-light conditions and night missions. Cameras operating in the MWIR mid-wave range are excellent for monitoring fires, due to their ability to monitor a fire through smoke.

The most common spectral range in the fire service is the long-wave LWIR range. Cameras using this spectral range are characterised by the greatest versatility of applications, plus they are less sensitive to atmospheric conditions such as humidity.

Zrozumienie i właściwe zarządzanie tym parametrem jest niezbędne dla skutecznego i precyzyjnego monitorowania oraz oceny sytuacji przez straż pożarną. Działa to w ten sposób, że przy określonej odległości od obiektu, kamera termowizyjna z wysokim SSR może mierzyć temperaturę mniejszych obszarów bardziej precyzyjnie (np. przy SSR 300:1, z odległości 300 metrów kamera będzie mogła dokładnie zmierzyć temperaturę na obszarze o średnicy 1 metra). W kontekście działań straży pożarnej, kamera termowizyjna zamontowana na dronie musi być w stanie precyzyjnie mierzyć temperaturę z dużych odległości, co jest niezwykle istotne – szczególnie w trakcie pożarów. SSR możemy wyznaczyć za pomocą poniższego wzoru [20]:

$$SSR_{3 \times 3} = 3 * \pi \left(\frac{FOV[^{\circ}]}{180N} \right) * D[m] \quad (1)$$

gdzie:

FOV – pole widzenia kamery (ang. *field of view*), przy czym należy stosować parametr HFOV (ang. *horizontal field of view*) dla obliczeń w osi horyzontalnej lub VFOV (ang. *vertical field of view*) dla osi wertykalnej kamery;

N – liczba pikseli kamery w określonej osi;

D – dystans pomiędzy obiektem a BSP wyrażony w metrach [m].

Zakres spektralny

Zakres spektralny kamery termowizyjnej odnosi się do specyficznego zakresu długości fal podczerwonych, które kamera jest w stanie wykryć. Kamery termowizyjne wykorzystywane w dronach do działań ratunkowych i gaśniczych muszą być dostosowane do szczególnych warunków operacyjnych, co czyni wybór odpowiedniego zakresu spektralnego decydującym o ich skuteczności.

Kamery termowizyjne zazwyczaj operują w trzech głównych zakresach spektralnych:

- krótkofalowym (ang. *short-wave infrared*, SWIR) o zakresie od 0,9 do 1,7 μm ;
- średniofalowym (ang. *mid-wave infrared*, MWIR) o zakresie od 3 do 5 μm ;
- długofalowym (ang. *long-wave infrared*, LWIR) o zakresie od 7 do 14 μm .

Poszczególne zakresy spektralne charakteryzują się pewnymi cechami ułatwiającymi poprawną obserwację i identyfikację. Zakres krótkofalowy SWIR ma wysoką skuteczność wykrywania ciepła w warunkach słabego oświetlenia i misjach nocnych. Kamery działające w zakresie średniofalowym MWIR świetnie sprawdzają się podczas monitorowania pożarów, ze względu na możliwość monitorowania pożaru przez dym.

Najczęściej spotykanym zakresem spektralnym w straży pożarnej jest zakres długofalowy LWIR. Kamery korzystające z tego zakresu spektralnego charakteryzują się największą uniwersalnością zastosowań, a dodatkowo są mniej wrażliwe na warunki atmosferyczne jak np. wilgotność powietrza.

Sharpness of the image

Sharpness of the image in the use of a thermal imaging camera is very important for several reasons, including enabling precise identification of heat sources and reducing detection and analysis errors in the camera image. Sharpness is directly related to the resolution of the camera [18]. When measuring in the camera's near field, it is possible to obtain more precise readings and colour temperature distribution. This is all achievable thanks to the higher resolution mentioned earlier in this article. The same will be true for image sharpness in the wide field of view. If we zoom in digitally, a camera with a low resolution will only show us an unreadable cloud of pixels, whereas by using a camera with a higher resolution, it is possible to see details and often important nuances (e.g. heat transfer between individual elements of the structure being monitored).

Frame rate

The frame rate – measured in Hertz (Hz) – is very important from a pilot's point of view during dynamic events, such as fires. This parameter determines how many times the thermal imaging camera will update its image every second. As a rule, cameras with a refresh rate of 30 Hz are used. The higher the frame rate, the clearer and sharper the image, making it easier to interpret the thermal data.

Colour modes and colour palettes

The setting of the colour modes and colour palette is strictly dependent on the preference of the pilot or the person analysing the thermal imaging data. The appropriate choice of colour palette helps to improve the interpretation of thermal images by visually representing temperature differences and also enables the rapid and efficient detection of thermal anomalies, which is crucial in rescue and firefighting operations. The most commonly used colour palettes include:

- white hot – warm areas are displayed in white and cold areas in black. It is one of the most intuitive palettes, often used in military and emergency applications;
- black hot – warm areas are displayed in black and cold areas in white. It is particularly useful in high-contrast scenarios such as night rescue operations;
- iron – shows warm areas in colours ranging from red through yellow to white, while cold areas are blue and black. It is inspired by heated iron;
- rainbow – a palette that uses a broad spectrum of colours to represent temperature differences, with red and yellow areas for warm areas and blue and green for cold areas;
- arctic – warm areas are displayed in cold colours (blue, green) and cold areas in white;
- lava – hot areas are depicted in red and orange, resembling lava.

Ostrość obrazu

Ostrość obrazu w wykorzystaniu kamery termowizyjnej jest bardzo ważna z kilku powodów, m.in. umożliwia precyzyjną identyfikację źródeł ciepła oraz redukcję błędów wykrycia i analizy obrazu z kamery. Ostrość obrazu jest bezpośrednio związana z rozdzielczością kamery [18]. W przypadku pomiaru w bliskim polu kamery możemy uzyskać bardziej precyzyjne odczyty i kolorystyczny rozkład temperatur. To wszystko jest osiągalne dzięki większej rozdzielczości, o której wspominamy we wcześniejszej części artykułu. Podobnie będzie przy ostrości obrazu w szerokim polu widzenia. Jeśli przybliżymy obraz cyfrowo, kamera z niewielką rozdzielczością pokaże nam tylko nieczytelną chmurę pikseli, natomiast używając kamery o wyższej rozdzielczości, możliwe będzie dostrzeżenie szczegółów i często istotnych niuansów (np. propagacji ciepła pomiędzy poszczególnymi elementami monitorowanej konstrukcji).

Szybkość odświeżania obrazu

Szybkość odświeżania obrazu – mierzona w hercach (Hz) – z punktu widzenia pilota jest bardzo istotna w trakcie dynamicznych zdarzeń, m.in. pożarów. Parametr ten określa, ile razy kamera termowizyjna zaktualizuje swój obraz co sekundę. Z reguły stosowane są kamery z szybkością odświeżania 30 Hz. Im wyższa szybkość odświeżania, tym bardziej wyraźny i ostry jest obraz, co ułatwia interpretację danych termicznych.

Tryby kolorów i palety barw

Ustawienie trybów kolorów i palety barw jest ściśle uzależnione od preferencji pilota lub osoby zajmującej się analizą danych termowizyjnych. Odpowiedni dobór palety barw pomaga w lepszej interpretacji obrazów termicznych poprzez wizualne przedstawienie różnic temperatur, umożliwia także szybkie i efektywne wykrywanie anomalii termicznych, co jest kluczowe w operacjach ratunkowych i gaśniczych. Do najczęściej stosowanych palet barw należą:

- *white hot* – ciepłe obszary są wyświetlane na biało, a zimne na czarno. Jest to jedna z najbardziej intuicyjnych palet, często używana w aplikacjach wojskowych i ratunkowych;
- *black hot* – ciepłe obszary są wyświetlane na czarno, a zimne na biało. Jest szczególnie użyteczna w scenariuszach z dużym kontrastem, takich jak nocne operacje ratunkowe;
- *iron* – przedstawia ciepłe obszary w kolorach od czerwonego przez żółty do białego, podczas gdy zimne obszary są niebieskie i czarne. Jest ona wzorowana na nagrzewanym żelazie;
- *rainbow* – paleta, która używa szerokiego spektrum kolorów do przedstawienia różnic temperatur z czerwonymi i żółtymi obszarami dla ciepłych miejsc oraz niebieskimi i zielonymi dla zimnych;
- *arctic* – ciepłe obszary są wyświetlane w zimnych kolorach (niebieskie, zielone), a zimne w białych;
- *lava* – gorące obszary są przedstawiane w czerwonych i pomarańczowych kolorach, co przypomina lawę.

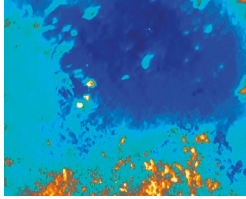
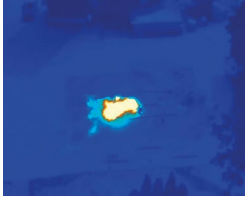

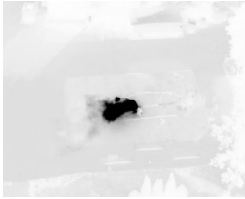


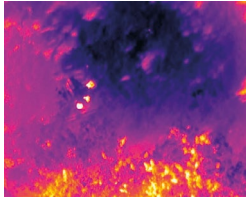

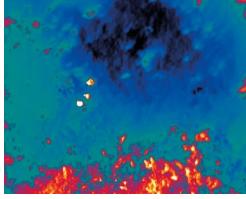

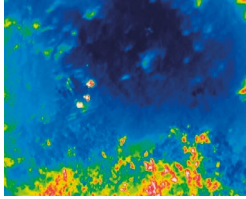
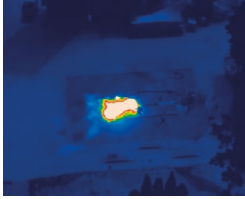
It is worth noting that, depending on the manufacturer of the software, the names of the colour palettes may have different designations and slightly different colour parameters, but are usually similar.

The table below shows views of the different colour palettes for two cases – a car fire and a human search.

Warto zwrócić uwagę, że w zależności od producenta oprogramowania nazwy palet barw mogą mieć inne nazwy i nieznacznie różnić się parametrami kolorów, jednak zazwyczaj są do siebie zbliżone.

W poniższej tabeli przedstawiono widoki różnych palet barw dla dwóch przypadków – pożaru samochodu i poszukiwania człowieka.

Table 2. View of a car and human fire on a thermal imaging camera using different colour palettes
Tabela 2. Widok pożaru samochodu i człowieka w kamerze termowizyjnej przy zastosowaniu różnych palet barw

Colour palette / Paleta barw	Searching for a missing person / Poszukiwanie człowieka	Car fire / Pożar samochodu
Arctic		
Black		
White		
Iron		
Lava		
Rainbow		

Source: Own elaboration (DJI Matrice 300RTK drone with Zenmuse H20T module, image taken from an altitude of 30 m AGL).

Źródło: Opracowanie własne (dron DJI Matrice 300RTK z modułem Zenmuse H20T, zdjęcie wykonane z wysokości 30 m AGL).

Summary and conclusions

Using unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with thermal imaging cameras represents a breakthrough in firefighting operations, offering new opportunities for monitoring, assessing and managing emergency situations. Drones with thermal imaging cameras enable the rapid and precise detection of heat sources, the search for missing persons in hard-to-reach areas and the location of leaks and hydraulic penetrations. The effective use of these technologies depends on the correct selection of camera parameters and settings, such as temperature range, emissivity, spectral range, image sharpness and resolution, frame rate, thermal sensitivity and appropriate colour modes and colour palettes.

It is reasonable to assume that the use of drones equipped with thermal imaging cameras in the fire service, will increase. It is therefore essential that current and future pilots, on the one hand, have access to this technology and, on the other, have the appropriate training to acquire the knowledge and skills to use these tools correctly. It should be noted that in order to ensure that the use of UAVs in the fire service continues to increase, efforts must be made to raise the awareness of both rescue managers and KSRG dispatchers of the added value of using UAVs during rescue operations.

The very issue of using and improving the use of thermal imaging cameras in the fire service can be further explored by, among other things, creating algorithms to facilitate the analysis of thermograms and by identifying procedures to improve the speed and accuracy of the raid performed.

Podsumowanie i wnioski

Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych (BSP) wyposażonych w kamery termowizyjne stanowi przełomowe rozwiązanie w działaniach straży pożarnej, oferując nowe możliwości w zakresie monitorowania, oceny i zarządzania sytuacjami kryzysowymi. Drony z kamerami termowizyjnymi umożliwiają szybkie i precyzyjne wykrywanie źródeł ciepła, poszukiwania zaginionych osób w trudno dostępnych terenach oraz lokalizację wycieków i przebić hydraulicznych. Efektywne wykorzystanie tych technologii zależy od właściwego doboru parametrów i ustawień kamer, takich jak zakres temperatur, emisyjność, zakres spektralny, ostrość i rozdzielczość obrazu, szybkość odświeżania, czułość termiczna oraz odpowiednie tryby kolorów i palety barw.

Należy założyć, że wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych wyposażonych w kamery termowizyjne w straży pożarnej, będzie coraz większe. W związku z tym konieczne jest, aby obecni i przyszli piloci z jednej strony mieli dostęp do tej technologii, a z drugiej – do odpowiednich szkoleń, umożliwiających pozyskanie wiedzy oraz umiejętności poprawnego korzystania z tych narzędzi. Należy zwrócić uwagę na fakt, że aby wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych w straży pożarnej nadal wzrastało, trzeba podnosić świadomość zarówno kierujących działaniami ratowniczymi, jak również dyspozytorów KSRG w zakresie wartości dodanych, które niesie ze sobą zastosowanie BSP w trakcie prowadzenia działań ratowniczych.

Samo zagadnienie wykorzystania i usprawnienia użycia kamer termowizyjnych w straży pożarnej może być dalej rozwijane, m.in. przez stworzenie algorytmów, które ułatwią analizę termogramów oraz przez wskazanie procedur mających na celu poprawę szybkości i dokładności wykonywanego nalotu.

Literature / Literatura

- [1] Zawistowski M., Fellner R., *Important Parameters and Settings in Unmanned Aerial Vehicles (UAV) in Operational Work of the Fire Brigade*, "Safety & Fire Technology" 2021, 58, 2, 92–118, <https://doi.org/10.12845/sft.58.2.2021.6>.
- [2] <https://nowiny24.pl/pozar-magazynu-w-manasterzu-z-ogniem-walczylo-100-strazakow-z-pieciu-powiatow-dwoch-pracownikow-zostalo-poszkodowanych-zdjecia/ar/c1-14659355>, [dostęp: 30.04.2024].
- [3] <https://www.gov.pl/web/kmpsp-warszawa/pozar-hali-handlowej-na-ul-marywilskiej-44>, [dostęp: 12.05.2024].
- [4] <https://polishnews.co.uk/a-sick-man-got-lost-in-the-woods-he-was-found-by-a-drone-with-a-thermal-imaging-camera/>, [dostęp: 15.04.2024].
- [5] <https://abc7ny.com/lost-hikers-dutchess-county-found-sheriffs-office/13358613/>, [dostęp: 15.04.2024].
- [6] <https://www.expressandstar.com/news/local-hubs/walsall/2022/10/27/drone-thermal-camera-helps-find-vulnerable-missing-person-in-walsall/>, [dostęp: 16.04.2024].
- [7] Mieszkalska P., *Ocena funkcjonowania systemu poszukiwania osób zaginionych w Polsce*, „Prokuratura i Prawo” 2023, 9, 143.
- [8] <https://enterprise.dilectro.pl/saruav/>, [dostęp: 15.04.2024].
- [9] <https://enterprise.dilectro.pl/loc8/>, [dostęp: 15.04.2024].
- [10] <https://enterprise.dilectro.pl/rdt/>, [dostęp: 14.05.2024].
- [11] Sun X., Hu L., Zhang X., Yang Y., Ren F., Fang X., Wang K., Lu H., *Temperature evolution and external flame height through the opening of fire compartment: Scale effect on heat/mass transfer and revisited models*, "International Journal of Thermal Sciences" 2021, 164, 106849, <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2021.106849>.
- [12] Zhou R., Wen Z., Su H., *Automatic recognition of earth rock embankment leakage based on UAV passive infrared thermography and deep learning*, "ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing" 2022, 191, 85–104, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.07.009>.
- [13] <https://dronedecoded.com/thermal-drone-camera-essentials/>, [dostęp: 12.05.2024].

- [14] Lyu M., Yibo Z., Chao H., Hailong H., *Unmanned Aerial Vehicles for Search and Rescue: A Survey*, "Remote Sensing" 2023, 15, no. 13: 3266, <https://doi.org/10.3390/rs15133266>.
- [15] Gładysz P., Parczewski R., Borucka A., *Assessing The Possibility Of Improving Rescue Operations With The Use Of Uavs. Case Studies From Wielkopolskie Province*, "Zeszyty Naukowe SGSP" 2023, 86, 191–203, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.7154>.
- [16] Jiacheng Z., Zhicheng Z., Shen S., Ding Sh., *Analysis on NETD of Thermal Infrared Imaging Spectrometer*, w: *5th International Symposium of Space Optical Instruments and Applications*, Springer, 2020, 1–9, https://doi.org/10.1007/978-3-030-27300-2_1.
- [17] Burke C., McWhirter P.R., Veitch-Michaelis J., McAree O., Pinton H.A.G., Wich S., Longmore S., *Requirements and Limitations of Thermal Drones for Effective Search and Rescue in Marine and Coastal Areas*, "Drones" 2019, 3, 78, <https://doi.org/10.3390/drones3040078>.
- [18] <https://www.flir.eu/discover/professional-tools/understanding-distancesize-ratio/>, [dostęp: 05.05.2024].
- [19] <https://www.termocert.com/index.php/rozdzielczosc-kamery/>, [dostęp: 18.04.2024].
- [20] Zawistowski M., Górecki W., Fellner A., *Termowizja i monitoring systemów bezzałogowych statków powietrznych podczas operacyjnego działania straży pożarnej w ćwiczeniach „Rybna 2022”*, w: *Prakseologia współdziałania podmiotów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo w sytuacjach kryzysowych* J. Wołeszo (red.), Wydawnictwo Naukowe Akademii Kaliskiej im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego, 2023.

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 Electro-technical 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.

MIKOŁAJ CAR – employee of the Drone Center at CNBOP-PIB, active volunteer firefighter of the Józefów Volunteer Fire Department, civilian drone pilot. Aviation avionics technician specializing in aviation avionics and internal equipment of passenger aircraft, photographer and filmmaker for 14 years, dealing with lighting of film sets, production and editing of audio and video materials. Modern firefighting technologies enthusiast, adherent of the use of unmanned machines in rescue operations.

TOMASZ KŁOCZEWIAK, JUN. ASP. – rescuer of JRG 15, provincial coordinator for the UAV issues, a member of the international USAR Poland group, participant of the international mission in Turkey and France, in service since 2015.

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 Przeciwpowodziowej 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.

MIKOŁAJ CAR – pracownik Centrum Dronów w CNBOP-PIB, czynny strażak ochotnik OSP Józefów, pilot dronów cywilnych. Technik awionik lotniczy w specjalizacji awionika lotnicza i wyposażenie wewnętrzne samolotów pasażerskich, fotograf oraz filmowiec od 14 lat, zajmujący się oświetleniem planów filmowych, produkcją i montażem materiałów audio i video. Pasjonat nowoczesnych technologii pożarniczych oraz zastosowania bezzałogowych maszyn w działaniach ratowniczych.

MŁ. ASP. TOMASZ KŁOCZEWIAK – ratownik JRG 15, koordynator wojewódzki do spraw BSP, członek międzynarodowej grupy USAR Poland, uczestnik misji międzynarodowej w Turcji i Francji, w służbie od 2015 roku.