

Henryk Jafernika)\*

<sup>a)</sup> Polish Air Force University / Instytut Nawigacji, Lotnicza Akademia Wojskowa

\* Corresponding author / Autor korespondencyjny: henrykj21@interia.pl

## The Safety of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Missions in Storm and Precipitation Areas

### Bezpieczeństwo lotów bezzałogowych statków powietrznych (BSP) w obszarach występowania opadów atmosferycznych i burz

#### ABSTRACT

**Objective:** The aim of the article is to present the state of the art on threats to UAVs posed by sudden changes of weather conditions, involving in particular storms and hail. Identifying such threats is likely to facilitate the development of hardware and software solutions aimed at improving the safety of the UAV missions.

**Introduction:** Severe weather phenomena strongly affect the safety of unmanned aerial vehicle (UAV) missions. The article describes in detail the implementation concept of atmospheric discharge and precipitation images using wireless Internet connections for an exemplary mobile application for multi-rotor flight control. The concept was developed to reduce risks associated with flights in storm and precipitation areas, and to maximise the performance of electric multi-rotor UAVs with a maximum take-off mass of no more than 25 kg. This is dealt with in the introductory section and in three substantive sections. UAV capabilities are discussed in the first section, while the second one analyses specific weather conditions which merit particular attention when constructing new UAVs, and the third one outlines some of the solutions employed in UAV steering systems control apps. A number of concluding remarks are presented in the end.

**Conclusions:** The analysis of usefulness has proven electric UAVs suitability for professional missions. However, these vehicles display a number of limitations, one of the most important being their high sensitivity to weather conditions. With no hermetically sealed hatch, on-board equipment is exposed to penetrating damp caused by various types of precipitation, including drizzle, rain and snow. These can cause a short-circuit and equipment damage, while hailstones can result in UAV mechanical damage. Severe turbulences and strong ascending or descending air currents, which are likely to occur during low-altitude flights, pose a threat of UAV's collision with overground objects. Using more resistant composite materials in the construction of hermetic UAVs could increase the application range of these vehicles. The wide range of possible uses of UAVs encourages further investigations aimed at ensuring their best possible working conditions.

**Keywords:** weather radar, atmospheric discharge, precipitation, UAV

**Type of article:** review article

---

Received: 10.06.2019; Reviewed: 21.08.2019; Accepted: 30.12.2019;

Author's ORCID ID: 0000-0001-5745-698X;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 194–204, <https://doi.org/10.12845/sft.53.2.2019.15>;

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 stanu wiedzy o zagrożeniach dla BSP, jakie niosą ze sobą gwałtowne zmiany warunków atmosferycznych, przede wszystkim takie jak burze czy grad. Identyfikacja tych zagrożeń może pomóc w wypracowaniu rozwiązań hardware'owych i software'owych mających na celu poprawę bezpieczeństwa realizacji zadań przez BSP.

**Wprowadzenie:** Gwałtowne zjawiska meteorologiczne mają zasadniczy wpływ na bezpieczne wykonywanie zadań przez BSP. W artykule przedstawiono szczegółowo koncepcję implementacji zobrażeń wyładowań oraz opadów atmosferycznych przy użyciu bezprzewodowego łącza internetowego do przykładowej mobilnej aplikacji kontrolującej lot wielowirnikowca. Koncepcja powstała w celu ograniczenia ryzyka związanego z wykonywaniem lotu w obszarach występowania burz i opadów atmosferycznych, a także w celu maksymalizacji funkcjonalności wielowirnikowych bezzałogowych statków powietrznych (BSP) o napędzie elektrycznym i masie startowej nieprzekraczającej 25 kilogramów. Treści te zawarto we wstępie i trzech rozdziałach merytorycznych. W pierwszej części artykułu omówiono możliwości BSP. Rozdział drugi to analiza szczególnych warunków atmosferycznych, na które należy zwrócić uwagę przy konstrukcji nowych BSP. W ostatniej części artykułu zwrócono uwagę na niektóre rozwiązania aplikacji pozwalających kontrolować systemy sterowania BSP. Całość artykułu podsumowano wnioskami.

**Wnioski:** Analiza przydatności elektrycznych BSP wykazała ich użyteczność do działań profesjonalnych. Posiadają one jednak szereg ograniczeń. Jednym z istotniejszych jest znaczna wrażliwość na warunki meteorologiczne. Brak hermetycznego luku technicznego naraża urządzenia pokładowe na penetrację wilgocią spowodowaną opadem mżawki, deszczu, śniegu, a w konsekwencji zwarcie elektryczne i zniszczenie urządzeń. Ponadto opady gradu mogą powodować uszkodzenia mechaniczne BSP. Występowanie silnej turbulencji, silnych prądów wstępujących/zstępujących w lotach na małych wysokościach stanowią niebezpieczeństwo kolizji z obiektami naziemnymi. Budowa hermetycznych BSP z bardziej wytrzymałych materiałów kompozytowych może poszerzyć zastosowanie tego typu produktów. Szerokie możliwości wykorzystania BSP skłaniają do dalszych badań nad zapewnieniem jak najlepszych warunków pracy tych urządzeń.

**Słowa kluczowe:** radar meteorologiczny, wyładowania atmosferyczne, opad atmosferyczny, BSP

**Typ artykułu:** artykuł przeglądowy

**Przyjęty:** 10.06.2019; **Zrecenzowany:** 21.08.2019; **Zatwierdzony:** 30.12.2019;

Identyfikator ORCID autora: 0000-0001-5745-698X;

**Proszę cytować:** SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 194–204, <https://doi.org/10.12845/sft.53.2.2019.15>;

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

## Introductory remarks

The article describes the concept of using data obtained, in particular, from foreign discharge detection systems (Blitzortung) and from the Polish weather radar network (POLRAD) in the planning and organisation of electric multi-rotor unmanned aerial vehicle (UAV) flights with a maximum take-off mass of no more than 25 kg. Such online data images could be easily used to that end. The article further outlines the impacts of selected weather factors, such as rain, storms, hail and strong ascending or descending air currents, on the use of electric UAVs.

## Wstęp

W artykule przedstawiono koncepcję wykorzystania w planowaniu oraz wykonywaniu lotów bezzałogowymi wielowirnikowcami z napędem elektrycznym o masie startowej do 25 kg danych pochodzących (przede wszystkim) z zagranicznych systemów detekcji wyładowań atmosferycznych Blitzortung, a także z sieci polskich radarów meteorologicznych POLRAD. Dostępne w Internecie zobrazowania tych danych mogą być w prosty sposób zastosowane w planowaniu oraz realizacji lotów bezzałogowymi statkami powietrznymi (BSP). W pracy opisano również wpływ wybranych czynników meteorologicznych, takich jak deszcz, burze, grad, silne prądy wstępujące i zstępujące, na eksploatację BSP o napędzie elektrycznym.

## Examples of electric UAVs suitable for professional use

UAVs have been used, *inter alia*, for protecting PKP Cargo trains. A special task force which makes use, *inter alia*, of quadcopters, i.e. four-rotor drones (Figure 1), has been operative all over the country. Its duties are performed in cooperation with the police, rail protection guards and even prison services.

## Przykładowe BSP o napędzie elektrycznym do zastosowań profesjonalnych

BSP znalazły zastosowanie m.in. w ochronie składów kolejowych przewoźnika PKP Cargo. Na terenie całego kraju działa specjalna grupa operacyjna, która wykorzystuje m.in. quadcoptery, czyli drony o czterech wirnikach (ryc. 1). Swoje zadania realizuje we współpracy ze służbami, takimi jak Policja, Straż Ochrony Kolei, a nawet Służba Więzienna.



**Figure 1.** A UAV patrolling PKP Cargo trains

**Rycina 1.** Przykład BSP patrolującego składy kolejowe spółki PKP Cargo

**Source/Źródło:** [http://static.antyweb.pl/uploads/2015/12/150827PKPCargoDron\\_040-1280x720.jpg/](http://static.antyweb.pl/uploads/2015/12/150827PKPCargoDron_040-1280x720.jpg/) [6]

In 2018, PKP Cargo Group carried 119.1 million tonnes of cargo, its transport performance reaching 31.0 billion tkm. The share of Silesia in the total transport performance on the Polish market reached 51.6% [16], and this was the region from which most of the national and international cargo trains departed. For that reason, a decision was made to use UAVs to monitor PKP Cargo trains in Silesia, and the initial success encouraged PKP Cargo Group to use aerial platforms all over the country. In order to control crime, a decision was also made to intensify preventive measures. At present, mainly UAVs equipped with 4K cameras are used to monitor railway routes, and drones featuring thermal-imaging cameras are deployed for night patrols. They can survey the area within a few-kilometre distance from the operator. UAVs are capable of recording images close to the trains and transmit them in real time to the task force's headquarters, facilitating the collection of evidence to help the police identify potential thieves. Once they take off, the vehicles are hardly audible, and given their size and colour, they are almost invisible as well. These qualities significantly increase their efficiency. UAVs can also be operated in adverse weather conditions, including fog and smog [4], enabling detection of human presence from a distance of more than 1 km. This function has proven useful in identifying groups of thieves on many occasions, allowing prompt responses by, and good cooperation between, competent services, and usually resulting in perpetrators being arrested. Such operations have been conducted since 2014 with much success [13].

Electric UAVs with a maximum take-off mass of no more than 25 kg have also been used to measure air quality in selected cities. This involves, in particular, collecting data on entities violating restrictions on burning certain materials and substances, and on the emission of certain harmful pollutants. Such a solution is used, for instance, by the City Guard in Katowice, in collaboration with the Katowice City Office, the Institute for Chemical Processing of Coal and the technical support provider. They deploy a hexacopter (a six-rotor UAV) for preventive purposes. The device has been modified to move the measuring device to different locations to collect air samples and assess their chemical composition. Once it reaches the target spot, it records and measures the level of harmful substances in smoke.

The hexacopter is capable of scanning large urban areas, alerting the operator about the probable use of banned fuels. Along with detecting substances generated through the combustion of the most common fuels, the device also allows measurement of ethanol, ammonia, formaldehyde, hydrogen chloride, as well as PM1, PM2,5 and PM10 content in air samples. Based on the air pollution data thus obtained, the operator decides on sending a patrol to the pollution area in order to conduct routine inspections and verify environmental pollution reports, without the need to involve wardens [10], [13]. UAVs can be operated from a several-kilometre distance.

The model used by PKP Cargo is a four-rotor UAV with four electric engines effectively powering biplane propellers. Its maximum take-off mass is 1.22 kg. The UAV can move at a maximum altitude of 6 km, with a maximum speed of 16 m/s (approx. 58 km/h), with the wind speed close to 0 m/s. Such parameters, together with

W roku 2018 Grupa PKP CARGO przewiozła 119,1 mln ton towarów oraz wykonała pracę przewozową na poziomie 31,0 mld tkm. Jednocześnie udział Śląska pod względem wykonanej pracy przewozowej na rynku w Polsce wyniósł 51,6% [16]. To właśnie z tego województwa wyruszała większość przewozów krajowych i międzynarodowych. Dlatego też do kontroli składów pociągów przewoźnika PKP Cargo postanowiono wykorzystać tam BSP. Sukces grupy operacyjnej PKP Cargo wykorzystującej BSP na Śląsku spowodował, że spółka zaczęła stosować platformy latające na terenie całej Polski. Aby ograniczyć skalę przestępstw, została podjęta decyzja o zintensyfikowaniu działań prewencyjnych. Do monitorowania szlaków kolejowych wykorzystywane są przede wszystkim BSP wyposażone w kamerę 4K, a do nocnego patrolowania torów także drony z kamerą termowizyjną. Odlatują one od operatora na odległość kilku kilometrów. Bezzałogowe statki powietrzne rejestrują obraz w pobliżu składów i przesyłają go w czasie rzeczywistym do siedziby zespołu operacyjnego, co pozwala na skuteczne zdobycie materiału dowodowego, dzięki któremu np. Policja identyfikuje sprawców kradzieży. W powietrzu maszyny są praktycznie niesłyszalne, a z uwagi na niewielkie rozmiary i kolorystykę stają się prawie niewidoczne. Te aspekty zdecydowanie zwiększają ich skuteczność. BSP mogą być także wykorzystywane podczas niesprzyjających warunków atmosferycznych spowodowanych wystąpieniem mgieł lub smogu [4]. Możliwe jest wtedy wykrycie człowieka z odległości ponad kilometra. Funkcjonalność ta sprawdza się niejednokrotnie przy ujawnianiu grup złodziei. Dzięki szybkiej reakcji oraz dobrej współpracy pomiędzy służbami, zwykle udaje się sprawnie ująć sprawców. Tego typu działania prowadzone są od 2014 roku [13].

Kolejnym zastosowaniem bezzałogowych wielowirnikowców o napędzie elektrycznym i masie startowej do 25 kg jest badanie jakości powietrza w wybranych miastach. Mowa tutaj przede wszystkim o zebraniu danych o podmiotach łamiących zakazy dotyczące spalania materiałów i substancji oraz emisji szkodliwych zanieczyszczeń. Jednym z użytkowników stosujących w tym celu bezzałogowe wielowirnikowce jest Straż Miejska w Katowicach, działająca wraz z Urzędem Miasta Katowice, Instytutem Chemicznej Przeróbki Węgla oraz firmą odpowiadającą za technologiczne zaplecze projektu. Do działań prewencyjnych wykorzystywany jest heksacopter (BSP posiadający 6 wirników) [7]. Został on zmodyfikowany w ten sposób, aby przenosić urządzenie pomiarowe do pobierania oraz badania składu chemicznego powietrza. Dolatuje on w dowolnie wybrane miejsce, wykonuje zawis oraz pomiar szkodliwych substancji w dymie

Heksacopter skanuje znaczne obszary miasta, informując operatora o prawdopodobnym wykorzystaniu niedozwolonego paliwa. Zastosowana aparatura poza wykryciem substancji pochodzących z najczęściej spalanych odpadów pozwala na analizę zawartości w badanym powietrzu etanolu, amoniaku, formaldehydu, chlorku wodoru oraz pyłów PM1, PM2,5, PM10. Następnie dyspozytor – dysponując informacją o zanieczyszczeniu powietrza – podejmuje decyzję o wysłaniu funkcjonariuszy w rejon zanieczyszczeń bez konieczności przeprowadzania rutynowych kontroli oraz weryfikacji zgłoszeń o zanieczyszczeniu środowiska z udziałem strażników [10], [13]. Operator BSP ma możliwość sterowania dronem z odległości kilku kilometrów.

an S4 lithium polymer (LiPo) battery with a capacity of 4,480 mAh, allow the flight to continue for up to 25 minutes. The vehicle has automatic, operatorless take-off and landing functions. Using distance detectors, the UAV scans the area below and around it, and automatically determines whether it is safe to land on. That mode can be turned on using the flight control app, whereas automatic landing is activated independently from the operator once the battery is critically low. The air temperature suitable for UAV operation ranges from  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+40^{\circ}\text{C}$ , and position control is possible only via the Global Positioning System (GPS), as the model in question does not feature an efficiently-operating Global Navigation Satellite Systems (GLONASS). Stability and real-time image transmission are possible thanks to a 12-megapixel camera suspended on a 3-axis Gimbal stabiliser, enabling 27 K-resolution recordings.

The City Guard in Katowice use a different UAV model. It is also an electric multi-rotor aerial vehicle, but its maximum take-off mass is 15.1 kg (9.1 kg without GPS suspensions). This applies to a GPS equipped with standard TB47S LiPo batteries (six batteries mounted on the frame), each offering a capacity of 4500 mAh. With the robust air quality measurement apparatus suspended, the maximum UAV flight duration is around 26 min. When TB48S LiPo batteries are used instead, offering a much higher capacity (5700 mAh), the UAV mass reaches 9.6 kg, and its maximum flight duration with an additional apparatus is extended to nearly 30 min. The vehicle has six actively cooled dust-resistant electric engines and six biplane propellers, allowing it to reach a maximum speed of 18 m/s (approx. 65 km/h) with the wind speed close to 0 m/s, and a maximum altitude of 2,500 m. The air temperature suitable for UAV operation ranges from  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+40^{\circ}\text{C}$ , and position control is possible via the GPS. The vehicle's landing skids can be raised and lowered manually. The nominal operating radius of the UAV steering systems used for flight control in the described models is 500 and 3,500, respectively [8].

The operating radius can be further increased. Using the directional antenna Tracker FPV to follow the GPS signal [9] in a relatively open area allows for the radius in a given direction to be quite easily extended to 8 km [1], [14].

In both models under analysis, the GPS operates in frequency bands 5.725 – 5.825 GHz, and can cooperate with a tablet or a smartphone when placed in a special holder. This enables a remote UAV flight control, using a dedicated app operated through these mobile devices. The current app version, via its main screen (Figure 2), makes it possible to simultaneously view the images sent by the camera mounted on the UAV and the map (the bottom-left corner of the screen), with an arrow indicating the spatial positioning of the controlled UAV.

The two views can be enlarged interchangeably, but one of them, in the bottom-left corner of the screen, will always be downsized. The visualised map scale can be adjusted to mission-specific requirements. In addition, the map can be blocked in the northern direction, or aligned with the flight direction of the UAV, whose position can also be centred and blocked. The route already covered is also displayed on the map. Information displayed at the top includes the GPS range and satellite number, the control apparatus range, the remaining battery-based flight time and the battery level, the range of video transmission, and

Model wykorzystywany np. przez spółkę PKP Cargo to cztero-wirnikowy BSP napędzany czterema silnikami elektrycznymi, które umożliwiają skuteczny napęd przy pomocy śmigieł dwułopatowych. Dopuszczalna masa startowa modelu to 1,22 kg. Może on poruszać się na wysokości maksymalnej równej 6 km z prędkością 16 m/s (blisko 58 km/h) przy prędkości wiatru zbliżonej do wartości 0 m/s. Takie parametry wraz z baterią litowo-polimerową (LiPo) 4S o pojemności 4480 mAh pozwalają na lot do 25 minut. BSP posiada funkcję automatycznego startu i lądowania bez kontroli operatora. Na podstawie czujników odległości skanuje teren pod sobą i dookoła siebie, by stwierdzić czy jest on odpowiedni do lądowania. Tryb ten można włączyć z pozycji aplikacji kontrolującej lot, a automatyczne lądowanie aktywuje się niezależnie od działań operatora w momencie osiągnięcia przez baterię krytycznego poziomu naładowania. Temperatura powietrza, w której może pracować, wynosi od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$ . Kontrola nad jego pozycją jest możliwa wyłącznie przez system GPS (ang. Global Positioning System), gdyż model ten nie posiada wydajnego systemu GLONASS (ang. Global Navigation Satellite Systems). Kamera podwieszona na trzyosiowym stabilizatorze (gimbalu) pozwala na skuteczną stabilizację i przesyłanie obrazu w czasie rzeczywistym. Ma ona rozdzielczość 12 megapikseli, co umożliwia nagrywanie filmów w rozdzielczości 27 K.

Inny analizowany produkt wykorzystywany jest w służbie Straży Miejskiej w Katowicach. Jest on również wielowirnikowcem o napędzie elektrycznym, jednak jego dopuszczalna masa startowa to aż 15,1 kg (masa nieobciążonego podwieszeniami GPS równa się 9,1 kg). Masa ta dotyczy GPS ze standardowymi akumulatorami LiPo TB47S (sześć sztuk zamontowanych na ramie), z których każdy posiada pojemność 4500 mAh. Przy podwieszeniu masywnej aparatury służącej do pomiaru jakości powietrza, długość lotu BSP wynosi około 26 minut. Przy zastosowaniu akumulatorów LiPo TB48S o znacznie wyższej pojemności (5700 mAh) masa modelu rośnie do 9,6 kg, a maksymalny czas lotu z dodatkową aparaturą wydłuża się do blisko 30 minut. Maszyna posiada sześć aktywnie chłodzonych i pyłoodpornych silników elektrycznych oraz sześć dwułopatowych śmigieł. Daje to możliwość rozwinięcia maksymalnej prędkości równej 18 m/s (około 65 km/h) przy prędkości wiatru zbliżonej do 0 m/s oraz osiągnięcie maksymalnego pułapu lotu 2500 m. Kontrola jego pozycji odbywa się za pomocą systemu GPS, a temperatura otoczenia, w której pracuje, musi oscylować w zakresie  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$ . Jego płyty podwozowe są podnoszone i opuszczane ręcznie. Systemy sterowania służące do kontroli lotu analizowanych modeli posiadają nominalny zasięg działania odpowiednio 500 i 3500 m [8].

Zasięg działania systemu sterowania może zostać jednak zwiększony. Zastosowanie kierunkowej anteny do śledzenia sygnału GPS typu Tracker FPV [9] we względnie otwartym terenie pozwala na przyrost zasięgu na danym kierunku bez większych problemów maksymalnie do 8 km [1], [14].

W obu porównywanych modelach systemy sterowania GPS działają w zakresie częstotliwości 5,725–5,825 GHz. Posiadają one możliwość współpracy z tabletem lub smartfonem zamocowanym na specjalnym uchwycie. Umożliwia to zdalną kontrolę lotu każdego z opisywanych BSP poza zasięgiem wzroku przy pomocy dedykowanej aplikacji obsługiwanej na wspomnianych urządzeniach mobilnych. Obecna wersja aplikacji w głównym widoku

the multi-rotor working mode (GPS, ATTI) which can be activated using the icon on the left side of the screen.

ekranu (ryc. 2) pozwala przede wszystkim na jednoczesny widok z kamery zamontowanej na bezzałogowym statku powietrznym oraz widok mapy (dolny lewy róg aplikacji), na której znajdujemy znacznik odpowiadający pozycji pilotowanego BSP w przestrzeni.



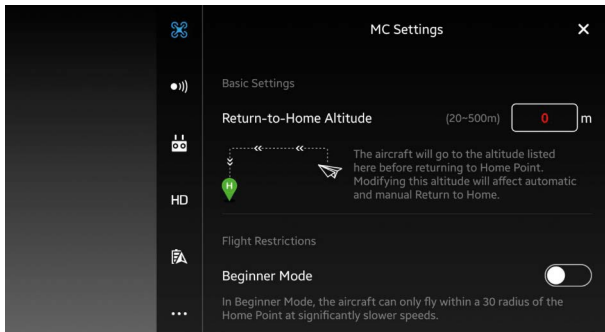
**Figure 2.** The main screen of the UAV operation app (an example)

**Rycina 2.** Przykładowy ekran główny aplikacji do obsługi BSP

**Source/ Źródło:** [https://phantompilots.com/attachments/img\\_0110-png.69432/](https://phantompilots.com/attachments/img_0110-png.69432/)

Automatic take-off or landing mode icons are also displayed there, depending on whether the UAV is airborne or on the ground, along with the Return-to-Home (RTH) mode which makes the vehicle return from any point in space to an automatically memorised take-off point. At the bottom of the screen, basic pilotage information is displayed, including forward speed, vertical speed and flight altitude. Extensive descriptions of camera functions, including basic photographic and video-recording settings, can be found on the right, together with fast-recording and image-stabilisation settings. The app, thanks to an embedded planner, also offers a possibility to plan the UAV flight along as many as several dozen predefined points, which should be set at relatively even distances from one another. In addition, the app features a range of setting options – from the most basic to the most advanced ones. Such complex settings (Figures 3 and 4) enable extensive personalisation and optimisation of the UAV, its flight, cameras, maps and the app itself, making its use highly efficient.

Każdy z widoków można naprzemiennie powiększać, jednak zawsze jeden z nich będzie w postaci zmniejszonej w lewym dolnym rogu ekranu. Wizualizowana skala mapy może być ustawiana w zależności od wymogów misji. Mapę można zablokować względem północy lub może być ona zorientowana zgodnie z kierunkiem lotu BSP, którego pozycja może być również wycentrowana i zablokowana. Na mapie wyświetlana jest także linia przebytej drogi. W górnej części głównego ekranu znajduje się szereg informacji np. o zasięgu GPS i liczbie satelitów, zasięgu aparatury sterującej, pozostałym czasie lotu na baterii i procencie jej naładowania, zasięgu transmisji video i trybie pracy wielowirnikowca (GPS, ATTI), który może być wybrany przy pomocy ikony po lewej stronie ekranu. W tym miejscu znajdują się także ikony trybu automatycznego startu lub lądowania, w zależności od tego czy BSP jest w powietrzu, czy na ziemi oraz trybu „powrotu do domu” RTH (ang. *Return-to-Home*) czyli samoczynnego lotu z dowolnego miejsca w przestrzeni do automatycznie zapamiętanego miejsca startu). Dolna część ekranu prezentuje podstawowe informacje pilotażowe, takie jak prędkość postępową i pionową oraz wysokość lotu. Po prawej stronie znajdują się bardzo rozbudowane opisy funkcji kamery wraz z podstawowymi parametrami fotograficzno-filmowymi oraz możliwością szybkiego włączenia nagrywania i ustawienia stabilizatora obrazu. Aplikacja, dzięki wbudowanemu plannerowi, ma także możliwość zaplanowania lotu po uprzednio wyznaczonych punktach drogi. Program oferuje możliwość wyboru kilkudziesięciu punktów, które powinny być oddalone od siebie stosunkowo równomiernie. Oprócz tego aplikacja daje dostęp do szeregu ustawień począwszy od podstawowych do wysoce zaawansowanych. Rozbudowane ustawienia (ryc. 3 i 4) dają możliwość bardzo szerokiej personalizacji i optymalizacji BSP, jego lotu, kamery, mapy oraz samej aplikacji i pozwalają na korzystanie z niej w jak najbardziej wydajny sposób.



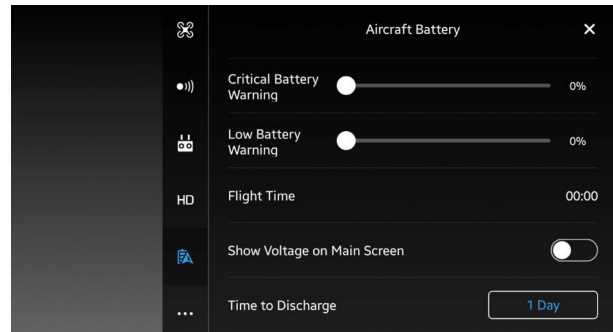
**Figure 3.** An example of advanced settings of the UAV operation app – main controller settings

**Rycina 3.** Przykładowe ustawienia zaawansowane aplikacji do obsługi BSP – ustawienia główne kontrolera

**Source/Źródło:** <https://www.droney.net/matrice-600-dji.html/>

### The impact of selected weather factors on the use of electric UAVs

Precipitation exerts a key impact on the selected electric multi-rotor UAVs described in the previous section of the article. These vehicles do not display sufficient waterproofness. According to the manufacturer's manual [17], they cannot be exposed to drizzle, rain or snow, as these weather phenomena, when occurring during the UAV flight, can cause water to penetrate into the integrated circuit board inside the vehicle structure. This can result in a short-circuit and a more-or-less severe damage to the steering unit. In consequence, the UAV steering in the air can be hindered or – most likely – impossible. Hail, in turn, can cause mechanical damage not only to the vehicle structure but (especially) to the delicate propellers, which can be easily broken given the high rotating speed. Hailstorms are often accompanied by strong winds, including gusts from various directions (turbulences, wind shears), their speed frequently exceeding 30 m/s [2]. Even during storms with lower vertical extend the wind can reach up to 25 m/s. These values exceed the maximum speed allowed for the analysed UAVs, which renders the flight and any task performance impossible. Together with the vertical speed of the ascending or descending air currents, which exceeds 20 m/s in *Cumulonimbus* clouds, such weather conditions involve an extremely high risk of the loss of maneuverability and, in consequence, UAV damage. The specifications for each UAV model under analysis prescribe a maximum vertical (climbing) speed of 5 m/s. It is, therefore, extremely dangerous for the vehicle to enter a storm cloud where the speed of the ascending or descending air currents is four times higher. Due to the high



**Figure 4.** An example of advanced settings of the UAV operation app – battery settings

**Rycina 4.** Przykładowe ustawienia zaawansowane aplikacji do obsługi BSP – ustawienia baterii

**Source/Źródło:** <https://www.droney.net/matrice-600-dji.html/>

### Wpływ wybranych czynników meteorologicznych na eksploatację BSP o napędzie elektrycznym

Kluczowy wpływ na wybrane bezzałogowe wielowirnikowce o napędzie elektrycznym, opisywane w poprzedniej części artykułu, ma opad atmosferyczny. Maszyny te nie posiadają stosownej klasy wodoodporności i zgodnie z instrukcją producenta [17] nie mogą być narażone na opad mżawki, deszczu czy śniegu. Tego typu zjawiska mogą podczas lotu powodować przenikanie wody do płyty scalonej znajdującej się we wnętrzu konstrukcji, doprowadzić do zwarcia obwodów i mniej lub bardziej rozległych uszkodzeń jednostki sterującej. W konsekwencji sterowanie BSP w powietrzu może być utrudnione lub – co można stwierdzić z dużym prawdopodobieństwem – niemożliwe. Opad gradu może spowodować z kolei uszkodzenia mechaniczne nie tylko konstrukcji, ale przede wszystkim delikatnych śmigieł, które przy dużej prędkości obrotowej mogą zostać połamane. Zjawisku burzy z gradem zwykle towarzyszą bardzo silne porywy wiatru wiążącego ze zmiennych kierunków (turbulencje, uskoki wiatru). Ich prędkość niejednokrotnie przekracza 30 m/s [2]. Przy burzach o mniejszej rozbudowie pionowej porywy wiatru dochodzą do 25 m/s. Taka prędkość przewyższa prędkość maksymalną analizowanych BSP, co uniemożliwia lot i wykonywanie jakichkolwiek zadań. Wraz z prędkością pionową prądu wstępującego/zstępującego, przekraczającą w chmurze *Cumulonimbus* 20 m/s, stwarza skrajnie wysokie ryzyko utraty sterowności i w konsekwencji zniszczenie BSP. Przy parametrach technicznych BSP, które mówią o maksymalnej prędkości wznoszenia, dla każdego z omawianych BSP wynosi ona 5 m/s. Przebywanie BSP w chmurze burzowej, gdzie prędkość prądów wstępujących/zstępujących jest czterokrotnie większa, jest niebezpieczne. Na skutek wysokiej wilgotno-

humidity and low air temperature in the storm cloud, entering it can result in icing, which then leads to the loss of buoyancy and maneuverability. Along with the increasing mass and erroneous readings of some parameters (e.g. no information on air pressure and altitude from the barometric altimeter, GPS disturbances, or no distance sensor readings), the atmospheric discharge actually proves the most damaging phenomenon for UAVs in the storm area. Given the small size and mass, UAVs are instantly damaged when struck by a lightning. Current values from 30,000 A to 300,000 A, with voltage exceeding 1,000,000 V, cause an immediate and irreversible melting of some elements, such as integrated circuit boards, GPS flight controllers, signal receivers, engines, and ESC engine circuits and regulators, which, in the case of the described UAVs, are suitable for a voltage of up to 40 A, i.e. 750-times lower than the ones encountered during the weakest negative electrical discharge [18]. Lightning strikes also cause mechanical damage to the frame and the delicate propellers of multi-rotor aircraft [1], [7]. The only element that can sustain such high current and voltage values is the battery, with its metal casing and Faraday cage providing protection against the electrostatic field. Moreover, every atmospheric discharge generates strong electromagnetic field which results in a faulty performance of GPS receivers, magnetometers and steering apparatus signal receivers. Finally, the electromagnetic field generated by multi-rotor unmanned aircraft, e.g. by the GPS antenna, the internal measurement unit (IMU), the magnetometer or the receiver, can induce increased ionisation (the so-called ionisation channels), thus causing reduced resistance, hindering the discharge of the accumulated cloud potential [4]. This, in turn, increases the likelihood of the UAV being struck by a lightning. All in all, organising an electric multi-rotor UAV flight in storm areas puts the operator at risk of losing vehicle maneuverability and poses an immediate threat of its being struck by a lightning.

### **A concept of implementing selected weather factors in an exemplary mobile flight control app for professional-use UAVs**

The data implementation concept, developed on the basis of the Blitzortung discharge detection system and the POLRAD precipitation detection system, is assumed to be used in the mobile flight control app [18], by means of a wireless Internet connection, to display the location of atmospheric discharges and to map radar data. The data presentation method was partly modelled on the Lightning Maps interface (for atmospheric discharges) [12] and the IMGW *Pogodynka* weather forecast website (for precipitation) [19]. The implementation proposal would be suitable for a flight control app intended for the multi-rotor aerial vehicles as described above, which are used by PKP Cargo and the City Guard in Katowice. Given its planning character, the concept is primarily focused on functional and ergonomic aspects, with the aim of reducing to the minimum

ści oraz niskiej temperatury powietrza w chmurze burzowej wlot w nią może doprowadzić do powstania oblodzenia prowadzącego do utraty siły nośnej i sterowności. Ponadto oprócz zwiększenia masy, błędnych odczytów niektórych parametrów (np. brak informacji o ciśnieniu atmosferycznym i wysokości z czujnika barometrycznego, zakłócenia GPS, brak odczytu z czujników odległości) najbardziej niszczycielskim zjawiskiem dla BSP w obszarze występowania burz są jednak wyładowania elektryczne [4], [18]. Ze względu na niewielkie rozmiary i masę BSP w wyniku uderzeń pioruna zostaje natychmiast zniszczony. Natężenie prądu rzędu od 30 000 A do 300 000 A o wartości napięcia przekraczającej 1 000 000 V powoduje niezwłoczne i nieodwracalne przepalenie elementów takich jak: płyty scalone, kontrolery lotu z GPS, odbiorniki sygnału aparatury, silniki czy przewody i regulatory silników ESC wytrzymujące w przypadku opisywanych BSP prąd o natężeniu 40 A czyli 750 razy mniejszy niż natężenie prądu w najłagodniejszym ujemnym wyładowaniu elektrycznym [18]. Uderzenie pioruna powoduje także uszkodzenia mechaniczne ramy oraz delikatnych śmigieł wielowirnikowców [1], [7]. Jedynym elementem mogącym przetrwać takie wartości natężenia i napięcia prądu jest akumulator, posiadający metalową obudowę i jednocześnie właściwości klatki Faradaya, co sprawia, że jest chroniony przed polem elektrostatycznym. Każde wyładowanie atmosferyczne wytwarza również w swoim pobliżu silne pole elektromagnetyczne, które skutkuje błędnym działaniem odbiorników GPS, magnetometrów i odbiorników sygnału aparatur sterujących. Ponadto pole elektromagnetyczne wytwarzane przez bezzałogowy wielowirnikowiec np. antena GPS, IMU (ang. *Inertial Measurement Unit*), magnetometr, odbiornik może tworzyć w atmosferze miejsca o większej jonizacji, czyli tzw. kanały jonizacji, przez które rezystancja utrudniająca rozładowanie potencjału nagromadzonego w chmurze burzowej jest mniejsza [4]. To zwiększa prawdopodobieństwo uderzenia piorunem. Wykonywanie zatem lotu bezzałogowymi wielowirnikowcami o napędzie elektrycznym w obszarach występowania burz naraża operatora na utratę kontroli nad nim, a także bezpośrednie porażenie go przez piorun.

### **Koncepcja implementacji czynników meteorologicznych do przykładowej aplikacji mobilnej służącej do kontroli lotu BSP znajdujących profesjonalne zastosowanie**

Koncepcja implementacji danych, która powstała w oparciu o system detekcji wyładowań atmosferycznych Blitzortung oraz system detekcji opadów atmosferycznych POLRAD, zakłada uwzględnienie w gotowej aplikacji [18] za pośrednictwem bezprzewodowego łącza internetowego lokalizacji wyładowań atmosferycznych oraz zobrazowanie danych radarowych. Sposób prezentacji tych danych został częściowo pobrany z interfejsu Lightning Maps (wyładowania atmosferyczne) [12] oraz z serwisu IMGW *Pogodynka* (opad atmosferyczny) [19]. Propozycja implementacji powstała na przykładzie aplikacji kontrolującej lot wielowirnikowców, takich jak analizowane wcześniej urządzenia wykorzystywane w służbie jednostki operacyjnej spółki PKP Cargo czy Straży Miejskiej w Katowicach. Ma ona charakter planistyczny i koncentruje się

the risk for selected UAVs when moving across precipitation and storm areas. It does not involve software modifications of ready-to-use apps. As already noted, the underlying idea is to represent the locations of atmospheric discharges on a satellite map accessed through the app, and to visualise radar reflections from the above-mentioned interfaces. As regards atmospheric discharge data, the app would display yellow-spot markers on the map to indicate discharge areas, in a manner resembling the Lightning Maps interface. For one minute following the discharge, the discharge area would have a red frame, which would be visible for 59 minutes, gradually changing its colour into brown, in order to indicate how much time has passed since the discharge. Previous-hour data would certainly facilitate flight planning by identifying the nature and direction of the storm movement. Every discharge visible on the map would generate a discreet sound alert, and the app would visualise grey dotted circles with a radius of 10 km, and grey solid circles with a radius of 2 km, around the discharge areas displayed on the map. These circles would altogether form an all-round distancing area, visible for all the atmospheric discharges which occurred within the preceding 15 minutes. If the UAV entered the circle with a radius of 10 km during the flight, the app would activate a 10-second-long warning message (audible each time the UAV entered a discharge area), together with a warning icon at the top of the main screen of the app. In addition, if the UAV entered the circle with a radius of 2 km during the flight, the app would activate – together with the loud two-tone warning signal (audible each time the UAV entered a discharge area) and the 10-second-long message at the top of the main screen – an automatic RTH mode to make the aircraft return to the take-off point by following the shortest straight route visualised on the map. At the same time, an appropriate warning icon would be displayed at the top of the main screen (Figures 5 and 6).



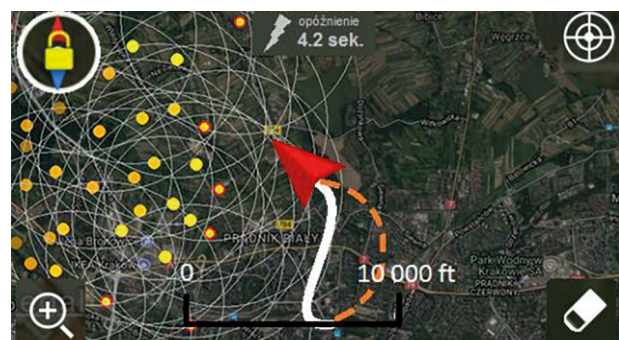
**Figure 5.** A concept of using images from the Blitzortung discharge detection system on the map – the main screen (an exemplary app)

**Rycina 5.** Przykładowe ustawienia zaawansowanej aplikacji do obsługi BSP – ustawienia głównego kontrolera

**Source:** Own elaboration based on [3], [12], [9].

**Źródło:** Opracowanie własne na podstawie [3], [12], [9].

przede wszystkim na aspekcie funkcjonalności i ergonomii obsługi, dla możliwie maksymalnego ograniczenia ryzyka związanego z wykonywaniem lotu wybranymi wcześniej BSP w obszarach występowania opadów atmosferycznych i burz. Nie dotyczy ona programistycznego modyfikowania gotowej aplikacji. Jak już wspomniano, głównym założeniem jest naniesienie na obecną w aplikacji mapę satelitarną miejsc wyładowań atmosferycznych oraz zobrazowania odbić radarowych ze wspomnianych interfejsów. W przypadku danych dotyczących wyładowań atmosferycznych nanosi się znaczniki w postaci żółtej kropki, w miejscu na mapie, w którym wystąpiły wyładowania, analogicznie jak w interfejsie Lightning Maps. Przez pierwszą minutę od wystąpienia posiadałyby zmniejszające się czerwone obramowanie, które następnie byłoby widoczne przez 59 minut, zmieniając z czasem płynnie swój kolor na brązowy, by dostarczyć informacji jak dawno wystąpiły wyładowania. Dane dostępne z poprzedzającej godziny z pewnością pomogłyby w planowaniu lotu na podstawie identyfikacji charakteru burzy i kierunku jej przemieszczania. Każde z wyładowań widoczne w zasięgu mapy generowałoby cichy alert dźwiękowy, a aplikacja wizualizowałaby przerywane szare okręgi o promieniu 10 km oraz ciągłe szare okręgi o promieniu 2 km wokół miejsc wyładowań zobrazowanych na mapie. Okręgi te tworzyłyby dookólny obszar dystansujący i byłby widoczne dla wyładowań, które wystąpiły w przeciągu minionych 15 minut. Jeśli dron znalazłby się podczas lotu w okręgu o promieniu 10 km, aplikacja uruchomiłaby dziesięciosekundowy komunikat ostrzegawczy (jednokrotny przy wlocie w każdy z obszarów wyładowań) oraz ikonę ostrzegawczą na górnym pasku informacyjnym w widoku głównym ekranu aplikacji. Jeśli z kolei BSP znalazłby się podczas lotu w okręgu o promieniu 2 km, oprócz dwutonowego głośnego sygnału ostrzegawczego (jednokrotnego przy wlocie w każdy z obszarów wyładowań) i dziesięciosekundowego komunikatu w górnej części ekranu głównego, automatycznie uruchomiony zostałby tryb powrotu do pozycji startowej RTH po najkrótszej drodze w linii prostej, wizualizowanej na mapie, wyświetlając również na górnym pasku informacyjnym stosowną ikonę ostrzegawczą (ryc. 5 i 6).



**Figure 6.** An enlarged view of the concept map with images from the Blitzortung discharge detection system (the bottom-left corner of the main screen)

**Rycina 6.** Powiększony widok koncepcyjnej mapy z naniesionymi z obrazowaniami z systemu detekcji wyładowań atmosferycznych Blitzortung (lewy dolny róg głównego okna aplikacji)

**Source:** Own elaboration based on [12], [9].

**Źródło:** Opracowanie własne na podstawie [12], [9].



Should it prove impossible for the UAV to return to the take-off point with the "Meteo RTH" mode (Figure 7) activated, due to the formation of new storm cells, the app would update the return route accordingly. It would take into consideration the need to avoid the atmospheric discharge area with an additional 1 km clearance (the total radius from each discharge equalling 3 km). The preferred return route would be visualised with an orange dotted line, or the automatic emergency landing mode would be activated. This would, in turn, launch a separate 10-second-long message and an additional warning icon of the automatically activated "Meteo RTH" mode. Typically, the automatic emergency landing mode would be activated if the battery level during the return flight reached a critical value. The app would be programmed to disable engine start if the distance between the drone, when placed on the ground, and the nearest atmospheric discharge was smaller than 2 km. This action would also be accompanied by a 10-second-long message appearing at the top of the screen, and a warning icon identical as for the activation of the "Meteo RTH" mode. That mode, however, together with the engine start blockade, could be disabled by the operator at any time. The flight route could also be cancelled at the planning stage if it ran through an area of detected storms. In the event of planning a return flight, after rejecting the proposed route, the GPS would switch to automatic hovering [15], and the operator would be notified of this fact only by an appropriate 10-second-long message, but without the dedicated icon. In the case of atmospheric precipitation, radar data would be displayed on the map in the bottom-left corner of the screen, accurately representing the intensity, distribution and area of precipitation [2], using different colours – from navy blue (weak precipitation) to claret (strong precipitation). In line with the operating mode of the POLRAD precipitation detection system, updated information would appear automatically at 10-minute intervals, with images covering only the preceding hour. The images obtained for each 10-minute interval within the preceding hour would refresh automatically every 0.5 second in order to enable a relatively smooth animation and efficient display of radar signals. The modes and performance of both the UAV and the app, as well as the warning and alerting messages, would be identical as in the case of atmospheric discharges, the only difference being the absence of the all-round distancing area on the map, resulting from an irregular shape of the precipitation area and the fact that, generally, entering a precipitation area is far less dangerous for the UAV than flying across a storm area. For practical reasons, the app would only be suitable for detecting situations of the UAV location marker being found within the radar reflectivity zone, with values exceeding 8.5 dBZ (dark blue). This would activate a loud (one-time) two-tone alert upon entering the precipitation or storm area. The "Meteo RTH" mode, the emergency landing mode and the engine start blockade would be activated in a similar manner if the UAV entered the intensive precipitation or storm area, together with the corresponding warning message and icon at the top of the screen (Figures 7 and 8).

Jeżeli dla tego trybu, zwanego „Meteo RTH” (ryc. 7), na skutek wytworzenia się nowych komórek burzowych powrót do miejsca startu nie byłby możliwy w linii prostej, aplikacja na bieżąco obliczałaby inną drogę powrotu. Uwzględniałaby ona ominięcie rejonu wyładowań atmosferycznych z dodatkowym zapasem 1 km (łącznie promień wyniósłby 3 km od każdego wyładowania), wizualizując przerywaną linią koloru pomarańczowego, ukazującą preferowaną drogę powrotu lub zainicjowałaby tryb automatycznego lądowania awaryjnego. Działanie to uruchomiłoby stosowny odrębny dziesięciosekundowy komunikat oraz dodatkową ikonę ostrzegawczą aktywowanego automatycznie trybu „Meteo RTH”. Tryb awaryjnego lądowania standardowo uruchomiony zostałby wówczas, gdy w locie powrotnym poziom baterii spadłby do wartości krytycznej. Aplikacja zaprogramowana zostałaby w ten sposób, aby uniemożliwić uruchomienie silników wówczas, gdy dron znajdowałby się na ziemi w promieniu 2 km od najbliższego wyładowania atmosferycznego. Takie działanie zostałoby również zasygnalizowane stosownym dziesięciosekundowym komunikatem w górnej części ekranu i ikoną ostrzegawczą, identyczną jak w przypadku trybu powrotu do pozycji startowej „Meteo RTH”. Tryb ten wraz z blokadą uruchomienia silników mógłby zostać wyłączony przez operatora w dowolnym momencie. Również na etapie planowania trasa lotu może być odrzucona, gdy przebiega przez rejon występowania burz. W przypadku, gdy planujemy lot powrotny po odrzuceniu zaplanowanej trasy GPS przeszedłby do automatycznego zawisu [15], informując o tym operatora wyłącznie odpowiednim dziesięciosekundowym komunikatem za pośrednictwem aplikacji, bez dedykowanej ikony. W przypadku opadów atmosferycznych na mapie w dolnym lewym rogu ekranu prezentowane byłyby dane radarowe będące bezpośrednim zobrazowaniem natężenia, rozkładu i powierzchni występującego opadu [2], ukazywanego w postaci odcieni barw od barwy granatowej (opad słaby) do barwy bordowej (opad silny). Ze względu na sposób pracy systemu detekcji opadów POLRAD, zaktualizowane dane pojawiałyby się automatycznie co 10 minut, a ich wizualizacja obejmowałaby wyłącznie poprzedzającą godzinę. Zobrazowania z każdych 10 minut mieszczących się w poprzedzającej godzinie byłyby automatycznie przełączane co 0,5 sekundy, by umożliwić stosunkowo płynną animację i skuteczny odczyt sygnałów radarowych. Sposoby postępowania i działanie BSP oraz aplikacji, a także sposób ostrzegania i alarmowania byłyby analogiczne jak w przypadku wyładowań atmosferycznych, z tym że z racji swoich nieregularnych kształtów strefa opadów nie posiadałaby na mapie w aplikacji dookólnego obszaru dystansującego. Ponadto wlot bezzałogowym statkiem powietrznym w strefę opadów jest daleko mniej groźny od wlotu w obszar występowania burzy. Aplikacja ze względów praktycznych przystosowana byłaby wyłącznie do wykrywania sytuacji, w której znacznik lokalizacji BSP na mapie znajduje się w strefie odbiciowości radarowej o wartości przekraczającej 8,5 dBZ (kolor ciemny niebieski), pojawi się głośny dwutonowy alert (jednokrotny), występujący przy wlocie do strefy opadów lub burz. Tryb automatycznego powrotu do miejsca startu „Meteo RTH”, tryb awaryjnego lądowania czy blokada uruchomienia silników analogicznie aktywowałyby się, gdy BSP znajdowałby się w strefie intensywnego opadu lub burz. Wyświetlałyby się wtedy komunikat ostrzegawczo-informacyjny oraz bliźniacza ikona ostrzegawcza na górnym pasku informacyjnym (ryc. 7 i 8).



**Figure 7.** A concept of the warning message in the “Meteo RT” mode activated automatically upon atmospheric discharge and precipitation detection (an exemplary camera view)

**Rycina 7.** Koncepcja wykorzystania zobrazowań z systemu detekcji wyładowań atmosferycznych Blitzortung na mapie w widoku głównym przykładowej aplikacji

**Source:** Own elaboration based on [3], [12], [9].

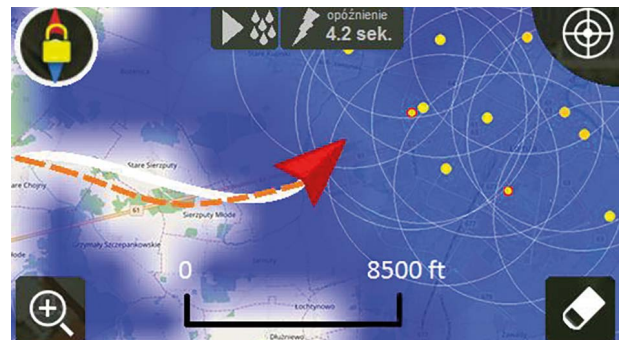
**Źródło:** Opracowanie własne na podstawie [3], [12], [9].

## Conclusions

The analysis of usefulness has proven that electric UAVs are suitable for professional missions. However, these vehicles display a number of limitations, most importantly including their high sensitivity to weather conditions. With no hermetically sealed hatch, on-board equipment is exposed to damp penetration caused by various types of precipitation, including drizzle, rain and snow. These can cause a short-circuit and equipment damage, while hail can result in UAV mechanical damage. Severe turbulences and strong ascending or descending air currents, which are likely to occur during low-altitude flights, pose a threat of UAV's collision with overground objects. Using more resistant composite materials in the construction of hermetic UAVs could increase the usability of these vehicles. A wide range of possible uses of UAVs encourages further investigations aimed at ensuring their best possible working conditions. Studies aimed at facilitating the use of new materials in the production of UAVs, including composites, power supply sources or steering systems, are also likely to extend the usability of these types of aircraft. Software development appears an equally important matter, which may be crucial for UAV reliability and measurement accuracy.

## Literature / Literatura

- [1] Adamski M., *Bezzałogowe statki powietrzne. Cz. II. Konstrukcja, wyposażenie i eksploatacja*, WSOSP, Dęblin 2015, 28–49.
- [2] Jaferník H., Wilczek Z., Ziarko J., *Meteorologiczna osłona działań lotnictwa*, Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 2000.
- [3] Szczepaniak P., *Wykorzystanie zobrazowań danych pochodzących z wybranych systemów detekcji wyładowań atmosferycznych oraz radarów meteorologicznych do planowania i bezpiecznego wykonywania lotu BSP*, Dęblin 2018.



**Figure 8.** An enlarged view of the concept map with images from the Blitzortung discharge detection system and the POLRAD precipitation detection system

**Rycina 8.** Powiększony widok koncepcyjnej mapy z naniesionymi zobrazowaniami z systemu detekcji wyładowań atmosferycznych Blitzortung (lewy dolny róg głównego okna aplikacji)

**Source:** Own elaboration based on [12], [9].

**Źródło:** Opracowanie własne na podstawie [12], [9].

## Wnioski

Analiza przydatności elektrycznych BSP wykazała ich użyteczność do działań profesjonalnych. Posiadają one jednak szereg ograniczeń. Jednym z istotniejszych jest znaczna wrażliwość na warunki meteorologiczne. Brak hermetycznego luku technicznego naraża urządzenia pokładowe na penetrację wilgocią spowodowaną opadem mżawki, deszczu, śniegu, które w konsekwencji mogą doprowadzić do zwarcia elektrycznego i zniszczenia urządzeń. Ponadto opady gradu mogą powodować uszkodzenia mechaniczne BSP. Występowanie silnej turbulencji, silnych prądów wstępujących/zstępujących podczas lotów na małych wysokościach stanowią niebezpieczeństwo kolizji z obiektami naziemnymi. Budowa hermetycznych BSP z materiałów kompozytowych bardziej wytrzymałych może poszerzyć zastosowanie tego typu produktów. Szerokie możliwości zastosowań BSP składają się do dalszych badań nad zapewnieniem jak najlepszych warunków pracy tych urządzeń. Badania mające na celu zastosowanie nowych materiałów do produkcji BSP, między innymi takich jak kompozyty, nowe źródła zasilania, systemy sterowania przyczynią się ponadto do rozszerzenia zastosowania tego typu urządzeń. Równie istotną kwestią jest doskonalenie oprogramowania, które może zadecydować o niezawodności, BSP i dokładności ich wskazań.

- [4] Jaferník H., Fellner A., Fellner R., *Meteorologia w transporcie*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2016.
- [5] <https://www.lightningmaps.org/> [dostęp: 21.02.2018].
- [6] [http://static.antyweb.pl/uploads/2015/12/150827PKPCargoDron\\_040-1280x720.jpg/](http://static.antyweb.pl/uploads/2015/12/150827PKPCargoDron_040-1280x720.jpg/) [dostęp: 16.02.2018].

- [7] <http://bi.gazeta.pl/im/2a/e1/15/z22944298V,W-Katowicach-dron-pomaga-walczyć-ze-smogiem.jpg> [dostęp: 17.02.2018].
- [8] <http://visionfly.pl/?product=aparatura-pilot-do-phantom-3/> [dostęp: 13.01.2018].
- [9] [http://www.mxzdy.com/img\\_sub/rc\\_img/12/05/8833-t1.jpg](http://www.mxzdy.com/img_sub/rc_img/12/05/8833-t1.jpg) [dostęp: 11.02.2018].
- [10] [https://phantompilots.com/attachments/img\\_0110-png.69432/](https://phantompilots.com/attachments/img_0110-png.69432/) [dostęp: 23.02.2018].
- [11] <https://www.spidersweb.pl/2015/12/drony-pkp-cargo.html/> [dostęp: 18.02.2018].
- [12] <http://rad1.imgw.pl/> [dostęp: 19.02.2018].
- [13] <http://katowice.wyborcza.pl/katowice/7,35063,22944264,w-katowicach-dron-pomaga-walczyć-ze-smogiem-pierwszy-mandat.html?disableRedirects=true/> [dostęp: 17.02.2018].
- [14] <https://www.drony.net/matrice-600-dji.html/> [dostęp: 19.02.2018].
- [15] Gareth D. Padfield, *Dynamika lotu śmigłowców: teoria i wykorzystanie właściwości lotnych i modeli symulacyjnych*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1998, s. 458.
- [16] <https://www.pkpcargo.com.jednostkowy-raport-roczny-pkp-cargo> [dostęp: 15.03.2018].
- [17] <https://www.drony.net, Phantom 3 Professional, Instrukcja Użytkowania PL.>
- [18] Bodzyk P., *Detekcja i Lokalizacja Wylądowań Atmosferycznych*, Warszawa 2006, [http://gopssomonino.zetokoszalin.pl/092\\_detekcja\\_lokalizacja\\_wyladowan\\_%20atmosferycznych.pdf](http://gopssomonino.zetokoszalin.pl/092_detekcja_lokalizacja_wyladowan_%20atmosferycznych.pdf) [dostęp: 15.03.2018].
- [19] <https://www.pogodynka.pl> [dostęp: 15.03.2018].

**PIL. HENRYK JAFERNIK, PH.D. ENG.** – In 1972, he graduated from the Air Force Officer School in Dęblin. After graduating from the School, he served in the aviation section of the front-line units as a pilot. In 1983, he completed a graduate programme at the General Staff Academy in Warszawa-Rembertów. In 1984, he started working as a teacher at the Air Force Officer School. He worked as Lecturer and Extraordinary Professor, and held the functions of Department Head and Manager of the Research Division at the Polish Air Force University. In 1990, he was awarded a doctoral degree. He has published around 230 articles and research papers, including 9 monographs. In 2012, he completed a national research project related to land vehicle and aircraft monitoring for the purposes of the Armed Forces, the Border Guards and the Police. Between 2006 and 2019, he worked as a lecturer, and then as an associate professor, at the State School of Higher Education in Chełm. Between 2008 and 2017, he worked at the Silesian University of Technology, first in the position of Senior Lecturer, and then (from 2012) in the position of Associate Professor. He supervised 157 engineer and master's theses, and acted as an auxiliary supervisor for 3 doctoral theses.

**DR INŻ. PIL. HENRYK JAFERNIK** – w 1972 r. ukończył Wyższą Oficerską Szkołę Lotniczą w Dęblinie. Po ukończeniu studiów przez kilkanaście lat pełnił służbę wojskową w pionie lotniczym jednostek liniowych jako pilot. W 1983 ukończył studia II stopnia w Akademii Sztabu Generalnego, Warszawa-Rembertów. W 1984 roku rozpoczął pracę dydaktyczną w Wyższej Oficerskiej Szkole Lotniczej. Pełnił m.in. funkcje Kierownika Katedry i Szefa Wydziału Naukowo-Badawczego WSOSP. W 1990 roku uzyskał stopień doktora. Opublikował około 230 artykułów i prac badawczych, 9 monografii. W 2012 roku ukończył prace nad ogólnokrajowym projektem badawczym związanym z monitorowaniem pojazdów lądowych i statków powietrznych na potrzeby Wojska, Straży Granicznej i Policji. W latach 2006–2019 pracował na stanowisku wykładowcy, a później docenta w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Chełmie. W 2008 roku rozpoczął pracę na Politechnice Śląskiej. Był promotorem 157 prac inżynierskich i magisterskich oraz promotorem pomocniczym 3 prac doktorskich.