

## DESIGN AND CONSTRUCTION OF A UAV DEVICE WITH A FIXED WING FOR THE CONDITIONS OF RESCUE SERVICES

### NÁVRH A KONŠTRUKCIA UAV PROSTRIEDKU S PEVNÝM KRÍDLOM PRE PODMIENKY ZÁCHRANNÝCH ZLOŽIEK

**Nikolas Michael Petrik**  
Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
nikolaspetrik@outlook.sk

**Pavol Pecho**  
Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina  
pavol.pecho@fpedas.uniza.sk

#### Abstract

*The paper is focused on comprehensive design of an unmanned aerial vehicle with fixed wing, which would add efficiency to specific activities performed by rescue services. The current rapid development of unmanned aerial vehicles is slowly becoming part of many industries around the world. The aim of this paper is to design an unmanned aerial vehicle that could provide safe, reliable, and efficient operation. The overall design, construction, and installation of the proposed unmanned aerial vehicle should integrate several modern technologies. To make an ideal design of unmanned aerial vehicle it is required to possess the knowledge of current construction methods of additive manufacturing, understanding of legislation in operating conditions and, in addition to general knowledge of unmanned vehicles, also comprehensive skills in programming and configuration of autonomous control elements of autonomous unmanned systems. After the production of the unmanned aerial vehicle with fixed wing, very good technical properties were demonstrated during experimental ground tests. Achieved technical properties are comparable to those owned by the unmanned aerial vehicles that are currently on the market. The final design configuration using an infrared-sensitive optical device could perform activities such as: searching for missing persons in hard-to-reach and vast terrain or searching for forest fires.*

#### Keywords

*Unmanned aerial vehicle, unmanned aerial systems, configuration, control unit, optical device, sensors, Pixhawk 4, autonomous flight.*

## 1. Úvod

So zdokonaľujúcou sa technológiou sa stali bezpilotné lietadlové prostriedky súčasťou našich všedných dní. Implementácia bezpilotných prostriedkov do prevádzky prináša mnohé aspekty technického alebo legislatívneho smeru. Tieto aspekty sa preto stávajú veľmi zaujímavou a aktuálnou témou. Súčasná dostupnosť moderných a vyspelých technológií umožňuje navrhnúť a skonštruovať taký bezpilotný prostriedok, ktorý by účinne a spoľahlivo napomáhal pri činnostiach vykonávanými záchrannými zložkami.

## 2. Analýza súčasného stavu riešenej problematiky

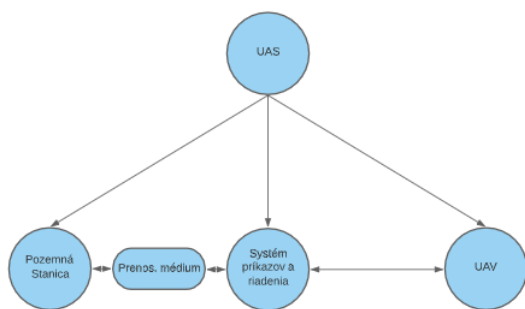
Bezpilotné lietadlá a bezpilotné lietadlové systémy sa v posledných rokoch stali bodom záujmu v mnohých odvetviach po celom svete. Tieto zariadenia začali plniť veľké množstvo činností od voľnočasových aktivít bežných užívateľov po komerčné využitia v podnikoch, priemysle, štátnych organizáciách, alebo v ozbrojených zložkách.

Koncept bezpilotných lietadiel začal čisto so zámerom vojenského využitia. V priebehu vývoja sa však vplyvom meniacej svetovej situácie a pokroku v technike sa koncept bezpilotných lietadiel vo veľkej miere zapracoval do civilného sektoru. Bezpilotné lietadlové systémy v súčasnosti zastrešujú veľké množstvo rôznych technológií, konfigurácií a prevedení.

### 2.1. Bezpilotné lietadlové systémy

Bezpilotné lietadlové systémy (UAS) znamenajú celý systém požadovaný pre operácie. Do kategórie bezpilotných lietadlových systémov patria také lietadlá a letecké systémy, ktoré dokážu vykonávať svoju činnosť bez prítomnosti pilota na palube. Štandardne sa tieto systémy skladajú z troch hlavných komponentov, ktorými sú:

- autonómny alebo človekom ovládaný riadiaci vysielač – pozemná stanica;
- bezpilotné lietadlo (UAV);
- systém príkazov a riadenia, ktorý slúži ako komunikačný kanál na vzájomné prepojenie vysielača a UAV. [1]

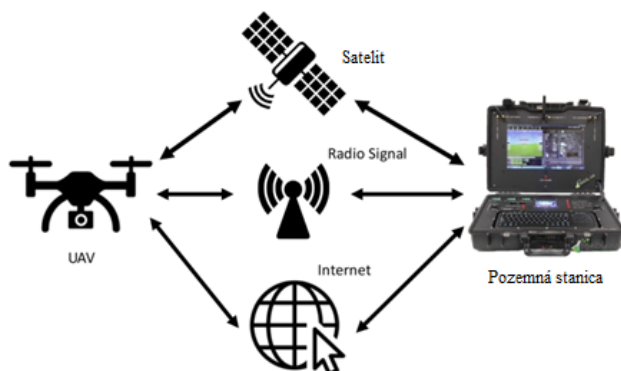


Obrázok 16: Diagram bezpilotných lietadlových systémov. Zdroj: Autori.

## 2.2. Systémy riadenia UAV

Spôsob riadenia UAV je delený do viacerých kategórií. Tieto kategórie sa odlišujú v úrovni autonómnosti UAV. UAV môžu byť na základe autonómnosti rozdelené na

- autonómne riadenie nie je súčasťou UAV a je riadené manuálne;
- UAV má čiastočnú autonómnosť;
- UAV je plne autonómne.



Obrázok 17: Systémy riadenia UAV. Zdroj: [2].

Najmodernejšiu a najvyspelejšiu formu autonómnych zariadení predstavuje systém rozpoznávania a vyhľadávania. UAV s takýmto riadiacim systémom musia byť okrem základných systémov riadenia, navigácie a telemetrie vybavené aj optickými alebo inými senzormi s vysokým rozpoznávacím rozlíšením. Okrem technického osadenia takýchto UAV musí byť použitá aj konfiguračná pozemná stanica. Takéto systémy v súčasnosti prechádzajú veľkým rozvojom. Logika a princíp ich činnosti spočíva v zadaní dvoch parametrov reprezentovaných otázkami: čo hľadať? a kde hľadať?. Tieto systémy dokážu bezpečne vykonávať plne automatizovaný pohyb v danej oblasti. [1] [3]



Obrázok 18: Pozemná stanica. Zdroj: Autori.

## 2.3. Bepilotné lietadlá

Neoddeliteľnú súčasť bezpilotných lietadlových systémov tvoria samotné UAV. Vo všeobecnosti sa primárne používajú na pozorovanie a taktické plánovanie, pri ktorých nesú jednoduchý náklad napríklad vo forme kamery. Hlavnými klasifikujúcimi parametrami pre UAV sú maximálny dosah, váha a dolet/operačný čas. V minulosti sa vývoj a použitie UAV vyskytovali hlavne vo vojenskom sektore. Zariadenia dokázali poskytovať taktické informácie a vykonávať iné operácie bez toho, aby boli piloti v ohrození. Nedávny rýchly pokrok a rozvoj zariadení umožnil ich rozšírenie aj do oblasti civilného sektora. Majoritná časť zariadení UAV používaných v civilnom sektore operuje pod minimálnou letovou výškou tradičných letúnov. Bežné operácie v civilnom sektore zahŕňajú aktivity ako napríklad:

- monitorovanie bezpečnosti,
- pátranie a záchrana,
- pomoc pri komunikácií a tvorba vysielča,
- preprava pošty a drobných balíkov,
- vizuálne a termálne pozorovanie,
- monitorovanie lineárnej infraštruktúry (elektrické vedenia, potrubia a železničné trate),
- fotografovanie a katastrálny prieskum,
- voľnočasové aktivity (závody a prehliadky UAV),
- vonkajšia údržba a kontrola letúnov,
- atmosférický výskum a
- poľnohospodárske práce.

Aj napriek tomu, že sú zariadenia nazývané ako bezpilotné je na ich obsluhu nutný personál. Pri jednoduchých UAV personál pozostáva z jediného operátora letu. Pri väčších a pokročilejších zariadeniach vzniká personálna požiadavka aj na obsluhu kamerových systémov, či iný špecializovaný personál. V súčasnosti vývoj týchto zariadení smeruje k všestrannejšiemu využitiu a k zvyšovaniu spoľahlivosti daných zariadení. [1]

### 2.3.1. *Typy UAV*

Zariadenia UAV sú vyrábané a distribuované v rôznych prevedeniach a konfiguráciách. Tieto konfigurácie väčšinou vyplývajú z účelu ich využitia. Medzi používané konfigurácie patria:

- mnoho-motorové UAV,
- UAV s pevným krídlom,
- vrtuľník s jedným nosným motorom a
- hybridné UAV s pevným krídlom a možnosťou vertikálneho vzletu. [4] [5]

### 2.4. *Systémy príkazov a riadenia UAV*

Systémy príkazov a riadenia zariadení UAV slúžia ako komunikačný kanál medzi vysielačom a zariadením UAV. Okrem toho vytvárajú určitú logiku alebo hierarchiu podľa, ktorej je presne definovaný spôsob vstupných a výstupných parametrov UAV. Táto logika je zadefinovaná pod skratkou C2 („command and control“ - velenie a riadenie). Je to súbor organizačných a technických atribútov a procesov, ktorý využíva ľudské, fyzické a informačné zdroje na plnenie úloh a dosiahnutie cieľov. Má za úlohu zjednotiť rozličné funkcie aby boli schopné spolupracovať a dosiahnuť konkrétny cieľ. Táto logika bola zadefinovaná v americkej armáde v 90-tych rokoch minulého storočia a je implementovaná do množstva technológií.

Pri technológií UAV je v praxi používané prevedenie C3, ktoré navyše pridáva prvok komunikácie. Reálnym príkladom zavedenia tejto logiky do praxe je moment, kedy operátor vydá príkaz, aby UAV dosiahlo určitý cieľový bod. Na strane UAV riadenie vykoná všetky nevyhnutné kroky ku splneniu príkazu. Podobne je to aj pri manuálnom riadení, pohyb riadiaceho zariadenia vpravo vyvolá na strane UAV prislúchajúci pohyb na riadiacich plochách. [1] [6]

### 3. **Analýza aktuálnych požiadaviek na prevádzku uav podľa platnej legislatívy v podmienkach záchranných zložiek**

Navrhnuté UAV by malo predstavovať nástroj, pomocou ktorého je možné efektívnejšie vykonávať špecifické úkony záchranných, alebo iných zložiek. Medzi takéto úkony patrí vyhľadávanie osôb v ťažko dostupnom teréne, alebo vyhľadávanie lesných požiarov. Okrem technických aspektov navrhovaného UAV je nutné zamerať sa na legislatívu. Vzhľadom na prevádzku UAV v záchranných zložkách a fakt, že samotné UAV je typ lietadla, na ktoré sa viažu legislatívne práva a povinnosti, musí byť braný ohľad na to, aby činnosť UAV nebola v rozpore s právnym rámcom.

Právny rámec upravujúci činnosť záchranných zložiek na území Slovenskej republiky tvorí zákon č. 129/2002 o integrovanom záchrannom systéme z 15.02. 2002.

Prevádzka leteckých prostriedkov na Slovensku vychádza zo zákona č. 143/1998 Z. z. o civilnom letectve (letecký zákon). Tento zákon však nie je konkrétne zameraný na úpravu legislatívy o bezpilotných prostriedkoch. S rozvojom UAV musel prísť aj právny predpis, ktorý by stanovoval podmienky prevádzky týchto zariadení. Prvým takýmto predpisom bolo Rozhodnutie č. 1/2015 zo dňa 19.08. 2015, ktoré bolo vydané

Dopravným úradom Slovenskej republiky. Toto rozhodnutie dostatočne neupravovalo podmienky prevádzky bezpilotných prostriedkov v podmienkach Slovenskej republiky a bolo nahradené Rozhodnutím Dopravného úradu č. 2/2019 zo dňa 14.11. 2019. Toto rozhodnutie je v súčasnosti v platnosti a určuje podmienky vykonávania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota a zakazuje vykonanie letu určených kategórií lietadiel vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky. [7] [8] [9]

### 4. **Analýza a stanovenie parametrov a technologického postupu konštrukcie, ovládania a pohonu uav prostriedku**

Pri navrhovaní konštrukcie, ovládania a pohonu je nutné stanoviť ciele, ktoré by malo navrhované UAV splniť. Takéto ciele môžu byť vymedzené stanovením prevádzkových parametrov. Na základe vytvoreného zoznamu činností, s ktorými by sa malo UAV stretnúť v prevádzke, je možné následne zostaviť technologický postup výroby, výbavy a osadenia. Pri návrhu je vhodné, aby bol zostavený taký zoznam prevádzkových požiadaviek, ktorý je možné celý naplniť a zároveň počítať s možnosťou úpravy alebo vylepšenia do budúcnosti. Navyše ak výsledné technické parametre aspoň čiastočne prevyšujú počiatočné požiadavky môže to do finálneho produktu priniesť priaznivú dodatočnú bezpečnosť a efektívnosť.

#### 4.1. *Stanovenie požadovaných prevádzkových parametrov*

Navrhované UAV by v záverečnej konfigurácii malo slúžiť ako prostriedok, ktorý by zefektívnil činnosti spojené s prieskum a prehľadávaním. UAV musí byť navrhnuté tak, aby bolo počas svojej prevádzky účinné, funkčné a spoľahlivé. Okrem požiadaviek na vykonávanie letov musí UAV splniť požiadavky spojené s relatívne nízkymi vstupnými a prevádzkovými nákladmi. Navrhované UAV predstavuje zariadenie, ktorého vznik, konštrukcia a prevádzka sú kombináciou viacerých moderných technológií.

Je vhodné aby navrhované UAV bolo schopné preskúmať dostatočne rozsiahlu oblasť za čo najkratší možný čas. Počas letu sú na navrhované UAV kladené požiadavky súvisiace so zberom údajov. Zozbierané informácie musia byť v reálnom čase odosielané operátorovi letu, alebo inej zúčastnenej osobe. Hlavným aspektom, ktorý ovplyvňuje dolet a rýchlosť letu, je vhodný výber konfigurácie UAV. Výber vhodnej konfigurácie na vykonávanie stanovených činností je len prvý krok pri návrhu optimálneho UAV.

Medzi ďalšie parametre, ktoré je nutné zohľadniť patria napríklad:

- výrobný materiál,
- výrobný postup,
- osadenie pohyblivých komponentov (motor, servá),
- osadenie nepohyblivých komponentov (batéria, regulátor),
- systémy elektrických obvodov a
- výber logickej a riadiacej jednotky.

#### 4.2. Výber konfigurácie UAV

Na účely efektívneho vykonávania stanovených činností je najviac vhodná konfigurácia UAV s pevným krídlom. Oproti ostatným konfiguráciám ponúka hlavne vyššiu rýchlosť letu a väčší dolet respektíve poskytuje väčšie množstvo času, ktoré môže UAV stráviť vo vzduchu bez nutnosti pristátia a dobitia batérií. Charakter konfigurácie UAV s pevným krídlom umožňuje vykonávať pátraciu činnosť v oveľa väčšej oblasti ako pri iných konfiguráciách. Možnosti získavania vztlaku pomocou svojich aerodynamických charakteristík predstavuje oblasť návrhu, na ktorú je možné sa zamerať pri správnom prevedení navýšiť celkovú efektívnosť navrhovaného UAV. [4] [5]

#### 4.3. Konštrukcia navrhovaného UAV

Vzhľadom na charakter rozličných aditívnych výrobných metód a technické vlastnosti výrobkov je vhodné použiť na výrobu navrhnutého UAV metódu Material Extrusion. Výrobná metóda Material Extrusion patrí medzi aditívne výrobné procesy a označuje sa aj ako Fuse deposition modelling. Pri výrobe navrhovaného UAV bol použitý materiál s názvom kyselina polymliečna (PLA).

#### 4.4. Technický popis navrhovaného UAV

Navrhované UAV je klasifikované ako samonosný hornoplošník s motýlikovými chvostovými plochami. Podvozok UAV má klasické usporiadania a teda hlavný podvozok a predná podvozková noha. Na pohon UAV slúži vrtuľový tlačný elektromotor FOX Y G2 C2826-750. Na motore je osadená dvojlistá vrtuľa so schopnosťou automatického sklápania pre prípad pristátia „na brucho.“ Pevnosť konštrukcie navrhovaného UAV je zabezpečená niekoľkými karbónovými nosníkmi. Trup UAV je navrhnutý ako škrupinová konštrukcia, nakoľko vnútro trupu je vyhradené pre elektrické riadiace prvky a zaťaženie musí byť prenášané pomocou plášťa.

Rozmery UAV:

- Dĺžka: 134 cm
- Šírka: 233 cm
- Výška: 36 cm



Obrázok 19: Navrhované UAV spredu. Zdroj: Autori.



Obrázok 20: Navrhované UAV z boku. Zdroj: Autori.

#### 4.5. Osadenie navrhovaného bezpilotného lietadla

Konštrukcia bezpilotného lietadla je dôležitou súčasťou celého konceptu a definuje rôzne technické možnosti a obmedzenia v prevádzke. To, čo zabezpečuje presný rozsah funkcií a nasadenie v praxi je technické vybavenie UAV. Takéto vybavenie je označené ako osadenie bezpilotného lietadla a pozostáva z rôznych komponentov ako sú napríklad vybavenie optickým zariadením, riadiacou jednotkou alebo inými riadiacimi a dodatočnými zariadeniami.

##### 4.5.1. Optické zariadenia

Okrem požiadaviek na pevnosť, spoľahlivosť a efektívnosť navrhovaného UAV počas letu, je nutné zabezpečiť a vybaviť UAV technológiou, ktorá by dokázala spoľahlivo zbierať údaje o prehľadávanej oblasti. Najpraktickejším riešením tohto problému je osadiť navrhované UAV optickým kamerovým zariadením. Takéto osadenie je v súčasnosti bežnou praxou a v mnohých odvetviach sú UAV využívané práve na snímkovanie pomocou optických zariadení.

Pri reálnom nasadení je UAV navrhované tak, aby bolo vybavené optickým zariadením s citlivosťou na infračervené žiarenie. Použitie tejto technológie poskytuje veľmi presné snímky prehľadávanej oblasti so zameraním na predpokladané body záujmu. Navyše použitie tejto technológie umožňuje nasadenie UAV aj v podmienkach jemne nepriaznivého počasia a aj pri prevádzke v noci.

##### 4.5.2. Riadiaca jednotka UAV – Pixhawk 4

Elektronická riadiaca jednotka má za úlohu koordinovať činnosť všetkých komponentov. Riadiaca jednotka integruje všetky činnosti spojené s diaľkovým ovládaním navrhovaného UAV. Navyše okrem riadiacich funkcií má za úlohu správnu distribúciu elektrickej energie do všetkých pohyblivých aj nepohyblivých častí UAV. Pri navrhovaní takto komplexného UAV je vhodné, aby všetky spomínané funkcie riadila jediná riadiaca jednotka. V takomto prevedení by mala byť zabezpečená dostatočná

spoľahlivosť a kompatibilita jednotlivých komponentov, ale aj ich správne a rýchle fungovanie.

Riadiaca jednotka vytvára premostenie medzi signálmi z pozemnej stanice a odpovedajúcimi činnosťami UAV. Okrem takéhoto premostenia pri vykonávaní plne manuálnych letov riadiaca jednotka navrhovaného UAV slúži aj ako hlavný komponent autopilota.

Riadiaca jednotka navrhovaného UAV sa nazýva Pixhawk 4 od spoločnosti Holybro v spolupráci s tímom PX4. Spoločnosť Holybro vystupuje na trhu s UAV už od roku 2014 a prezentuje sa svojimi výrobkami, ktoré sú zamerané na UAV technológie s autonómnou schopnosťou letu.

Zariadenie Pixhawk 4 (PX4) je pokročilý systém autopilota pre lietadlá a iné prostriedky bez prítomnosti posádky na palube. PX4 pôvodne vychádza zo softvéru ArduPilot. Vývoj PX4 začal v roku 2009 a jeho prvá verzia bola vydaná v marci 2012. Program autopilota je napísaný v programovacom jazyku C++.

PX4 je licencovaný ako softvér s otvoreným zdrojovým kódom (open-source softvér). Užívateľom poskytuje flexibilitnú sadu nástrojov na zdieľanie technológií, ktoré prispievajú k riešeniu problémom spojenými s prevádzkou zariadení UAV. Celý projekt PX4 si zachováva vysoký štandard v poskytovaní a vylepšovaní softvérovej aj hardvérovej časti v svojich produktoch. PX4 je vyvíjaný spolu s globálnou vývojovou komunitou. Zariadenie nenapĺňa potreby len jedného odvetvia, ale pôsobí na trhu ako všeobecná sada nástrojov so širokým uplatnením.

Architektúra PX4 je vysoko modulárna. Vďaka tejto vlastnosti môžu byť zariadenia rozširiteľné z pohľadu hardvéru aj softvéru. Modularita je zabezpečená portovou architektúrou. V prípade pridania nového zariadenia, alebo dodatočných komponentov nie je ovplyvnený pôvodný výkon a spoľahlivosť systému.

Pre bežných používateľov poskytuje komplexný set nástrojov k štandardne vyžadovanej prevádzke. Náročnejším subjektom však garantuje veľmi dobre spracované vývojárske prostredie na úpravu zdrojového kódu alebo pridanie a úpravu rozličných funkcií. Takéto nové funkcie je možné jednoducho do zariadenia nasadiť a prekonfigurovať. Celá licencia PX4 je zadarmo na používanie a úpravy, čo umožňuje aj chránené použitie a začlenenie do chránených produktov. Samotné zariadenie je navyše veľmi kompatibilné so širokým spektrom rôznych dodatočných systémov a komponentov.

Zariadenie je od vzniku navrhnuté tak aby poskytovalo vysokú mieru autonómnosti riadeného zariadenia. Stupeň autonómnosti sa odvíja od pridaných komponentov, ale všetky základné predpoklady a automatizácia sú súčasťou základného vybavenia zariadenia. Zariadenie navyše nesie základné vstupy pre vývojárov, ktorí pracujú na algoritmoch lokalizácie a detekcie prekážok. Lokalizácia a detekcia prekážok a spracovanie tejto informácie je v súčasnosti najvyšší stupeň autonómnosti UAV.

Okrem súčasného širokého nasadenia týchto zariadení vo svete vývojársky tím neustále pracuje na vylepšeniach a inováciách zariadenia PX4. Tím vývojárov mesačne uskutočňuje tisíce letových hodín, počas ktorých sú vykonávané hardvérové aj softvérové testy tak, aby bola zabezpečená bezpečnosť a spoľahlivosť kódovej základne.

Jednou z najväčších výhod používania zariadenia PX4 je fakt, že pri zakúpení sú súčasťou balíčka všetky spomínané aktualizácie. Tým je zabezpečená vysoká technická podpora aj po dlhšej dobe od zakúpenia zariadenia. Aj vďaka tejto výhodnej ponuke, je toto zariadenie široko využívané.

Samozrejmosťou je, že prioritou celého projektu je bezpečnosť zariadenia a používateľov. Systém ponúka široké spektrum bezpečnostných prvkov, vrátane automatizovaného správania pri zlyhaní, podpory rôznych režimov vrátenia, pristátia a padákov. Všetky bezpečnostné prvky sú súčasťou základnej výbavy a rovnako ako celý systém, sú konfigurovateľné a opraviteľné pre osobitné nasadenie. [10] [11] [12] [13]



Obrázok 21: Riadiaca jednotka autopilota Pixhawk 4. Zdroj: [13].

## 5. Návrh, konštrukcia a experimentálna prevádzka uav prostriedku v simulovaných podmienkach záchranných zložiek

Priebeh návrhu, konštrukcie a výber osadenia je len jednou časťou zavedenia bezpilotného lietadla do praxe. Keďže je navrhované lietadlo zostavené od základu a je vybavené riadiacou jednotkou a systémami, ktoré majú široké spektrum využitia, je nutné všetky tieto súčasti správne nakonfigurovať a prispôsobiť navrhovanému UAV a stanoveným prevádzkovým podmienkam. Až po vykonaní všetkých technických úkonov a správnom nastavení, môže byť navrhované UAV podrobené experimentálnym skúškam v podmienkach, na ktoré bolo navrhnuté.

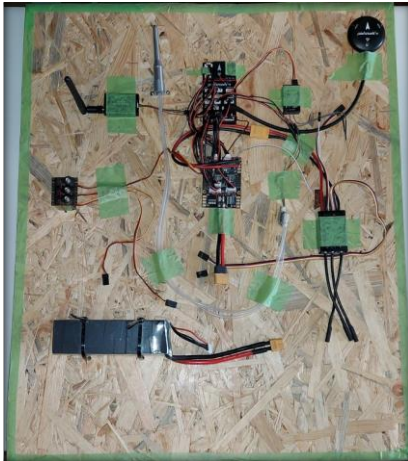
### 5.1. Finálne napojenie všetkých komponentov

Zapojenie všetkých základných elektrických a riadiacich súčastí bolo uskutočnené na samostatnej prenosnej doske. Vo finálnej konfigurácii sú do riadiacej jednotky autopilota a dosky pre distribúciu energie napojené tieto komponenty:

- komunikačná jednotka FUTABA,
- GPS modul,
- zariadenie snímajúce rýchlosť obtekajúceho vzduchu (pitot),



- telemetrická jednotka,
- regulátor motora,
- motorová jednotka,
- servá pre pohon riadiacich plôch (4x),
- dodatočné servo na riadenie prednej podvozkovej nohy a
- LI-PO batéria.



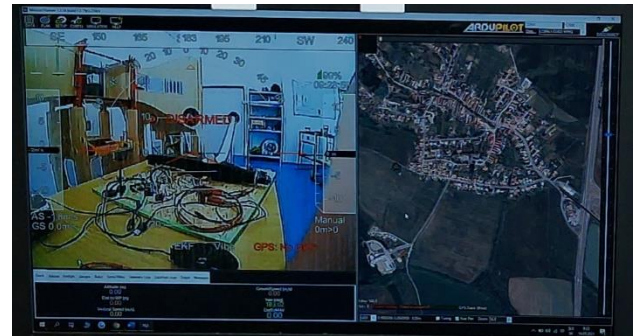
Obrázok 22: Finálne napojenie všetkých komponentov. Zdroj: Autori.

### 5.2. Nastavenie pozemnej jednotky

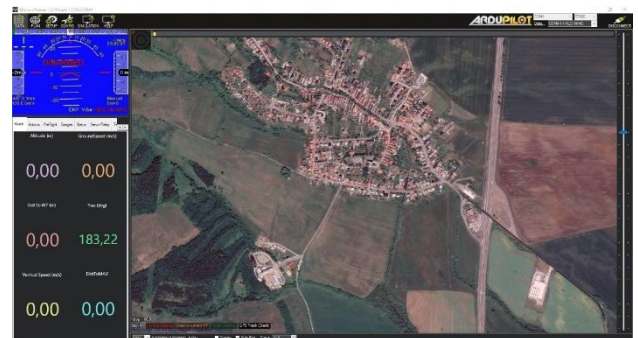
Na účely konfigurácie riadiacej jednotky UAV je pozemná stanica vybavená softvérom QGroundControl (QGC). Tento softvér poskytuje dostatočné množstvo funkcií na vykonávanie stanovených činností navrhovaného UAV. Avšak tento koncept je možné vylepšiť a poskytnúť operátorovi prepracovanejšie užívateľské prostredie.

Veľmi kvalitnou formou takéhoto integrovaného užívateľského prostredia je softvér s názvom MissionPlanner (MP). Tento program je voľne dostupný pre všetkých užívateľov zariadení Pixhawk 4. Pri správnom zostavení a nakonfigurovaní riadiacej jednotky navrhovaného UAV je možné jednoducho prepojiť pozemnú stanicu, v ktorej sa nachádza program MP s UAV.

Toto prepojenie je zabezpečené telemetrickou jednotkou podobne ako pri použití QGC. Všetky údaje a parametre letu sú prehľadne zobrazené na hlavnej karte programu MP. Po následnom pripojení zariadenia, ktoré prijíma video signál z optického zariadenia, je možné na túto hlavnú kartu priviesť aj aktuálny záber z kamery. [14]



Obrázok 23: Hlavné užívateľské prostredie so zameraním na snímkovanie v programe MP. Zdroj: Autori.



Obrázok 24: Hlavné užívateľské prostredie so zameraním na hlavné parametre letu a mapu v programe MP. Zdroj: Autori.

### 5.3. Prevádzka UAV v podmienkach záchranných zložiek

Navrhnuť, skonštruovať a osadiť funkčne a spoľahlivé zariadenie je súčasťou každého technického predmetu. Až v praxi a reálnych podmienkach sú však preukázané jeho kvality. Naopak v mnohých prípadoch môže nastať situácia kedy sa aj počiatočne dobre navrhnutý projekt v praxi ukáže ako nepoužiteľný a zbytočný. Z tohto dôvodu je nutné dopredu poznať zameranie, prevádzkový potenciál a limity návrhu.

Navrhované UAV bolo navrhnuté a zostrojené tak aby zefektívňovalo činnosti záchranných zložiek. Zariadenie nedokáže nahradiť, alebo zastúpiť zavedené a praxou odskúšané postupy a pri návrhu sa s tým ani nikdy nepočítalo. Zariadenie však umožňuje efektívne zavedenie relatívne modernej technológie do technickej výbavy záchranných zložiek. Pri správnom použití a nasadení môže zariadenie značnou mierou prispieť k najdôležitejším úkonom, a to záchrane ľudských životov.

Prevádzkové výhody a schopnosti navrhovaného UAV je možné prezentovať v modelových situáciách. Modelové situácie opisujú prípady, ku ktorým v našej krajine relatívne často dochádza, a ku ktorým sú privolané zložky integrovaného záchranného systému.

#### 5.3.1. Modelová situácia

Zložkám záchranného systému bola nahlásená nezvestná osoba. Spolu s touto správou im bola oznámená aj informácia o poslednej známej polohe. Táto informácia však bola stará už niekoľko hodín a preto mohla nezvestná osoba prejsť veľkú vzdialenosť. Navyše sa v okolí miesta poslednej známej polohy nachádza rozsiahla husto zalesnená oblasť a viditeľnosť je

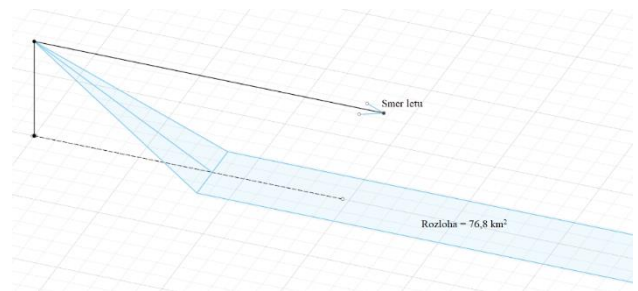
značne obmedzená v dôsledku hmly. Kvôli problematickému terénu nie je možné použitie pozemnej mobilnej techniky. Toto je jedna zo situácií, kedy je viac ako vhodné nasadenie navrhovaného UAV, ktoré by bolo vybavené optickým zariadením s citlivosťou na infračervené žiarenie.

Po udelení príkazu a povolenia na využitie UAV je navrhované UAV prinesené blízko miesta poslednej známej polohy. Konštrukčne je UAV navrhnuté tak, aby ho bolo možné jednoducho dopraviť na miesto zásahu pomocou väčšieho osobného auta alebo menšej dodávky. V prípade, že je pozemnou stanicou laptop nakonfigurovaný tak ako je uvedený v návrhu a záložným ovládacím prvkom je vysielacia, tak aj tieto komponenty je možné jednoducho dopraviť na miesto zásahu. Pred uvedením UAV do prevádzky je nutné vybrať správne miesto určené na vzlet. Je vhodné aby sa toto miesto nachádzalo na vyvýšenine bez blízkej prítomnosti vysokých objektov, ako sú stromy alebo elektrické vedenia. Do rýchlej a správnej predletovej kontroly je vhodné zapojiť viacero osôb (2 a viac).

Po rýchlej technickej obhliadke lietadla sa vykoná konfigurácia. Táto konfigurácia spočíva v kontrole funkčnosti senzorov, radiacích plôch, motorovej jednotky, napojenia na pozemnú stanicu, funkčnosť kamery a zamerania GPS signálu. Väčšina z týchto činností prebieha automaticky a je možné ju bezpečne vykonať v priebehu 10-tich minút. Počas tejto konfigurácie môže byť zhotovený letový plán. Letový plán sa stanoví pomocou prechodových bodov. Prechodové body sú vypočítané na základe GPS súradníc. Riadiaca jednotka samostatne načíta počiatočnú pozíciu a operátor môže rýchlo a jednoducho zostrojiť letový plán pomocou mapy, ktorá je súčasťou konfiguračného programu v pozemnej stanici. Pri tvorení letového plánu je nutná znalosť výškového reliéfu prehľadávanej oblasti. Na efektívne prehľadávanie danej oblasti by malo byť UAV v 100 metrovej výške nad zemou. Nakoľko UAV nemá rádiovýškomer, ktorý by túto informáciu počas letu poskytoval musí operátor manuálne túto výšku prepočítať na výšku nad morom, ktorá je zadaná do prechodových bodov letového plánu. Po dokončení predletovej konfigurácie je možné s bezpilotným lietadlom vzlietnuť. Tento vzlet je odporúčané vykonať manuálne pomocou vysielacky. Vďaka svojej nízkej hmotnosti a vysokému aerodynamickému potenciálu je možné vykonať vzlet „z ruky.“ Krátko po vzlete sa UAV prepne do automatického letového módu, ktorý bol zadefinovaný v predletovej kontrole.

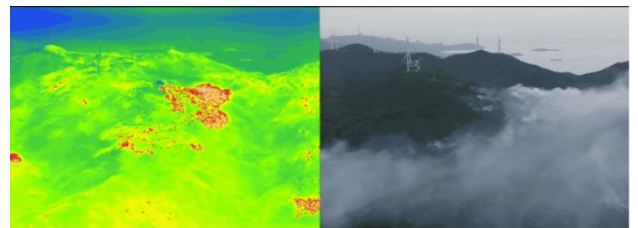
Výpočet veľkosti pokrytej oblasti závisí od nastavenia kamery a letových parametrov. V návrhu zvolené infračervené optické zariadenie zavesené pod lietadlom pod uhlom  $60^\circ$  má rozpoznávaciu dohľadnosť 200 metrov ak sa lietadlo nachádza vo výške 100 metrov. Zorné pole zvolenej kamery je stanovené na  $25^\circ$ . Priemerná rýchlosť letu navrhovaného UAV je 20 km/h a batéria dokáže zásobovať motor na režime najvyššej efektivity pod dobu 30-tich minút. Na základe týchto parametrov dokáže navrhované UAV prehľadať oblasť o rozlohe 76.8 km<sup>2</sup>. Počas letu je záznam z optického zariadenia v reálnom čase prenášaný na pozemnú stanicu a môže byť okamžite vyhodnotený operátom. Po vykonaní prieskumu zvolenej oblasti je s UAV nutné pristáť. Tento postup by mal byť tiež uskutočnený pomocou manuálneho ovládania aby sa predišlo poškodeniu lietadla. Vďaka svojej nízkej hmotnosti a schopnosti letieť veľmi nízkou rýchlosťou bez straty vztlaku nie je nutné vykonať pristátie na špeciálnu infraštruktúru. Na vykonanie bezpečného pristátia stačí relatívne krátka a rovná plocha. Po pristátí môže

byť UAV v priebehu 5-tich minút opäť pripravené na vzlet s novou batériou. Tento postup sa opakuje až do momentu kedy nie je objavená nezvestná osoba, alebo nebolo ukončené pátranie.



Obrázok 25: Teoretický výpočet rozlohy prehľadanej oblasti. Zdroj: Autori

Rovnaký postup je možné vykonať s UAV pri podobných situáciách ako sú napríklad vyhľadávanie lesných požiarov, pri povodniach, alebo pri záchrane ľudí, ktorých zasiahla lavína a iné. Spomenuté pátranie po lesných požiaroch, je činnosť pri, ktorej sú nasadzované UAV zariadenia po celom svete. Je to presne ten typ činnosti kedy je nutné vo veľmi krátkom čase získať práve jednu dôležitú informáciu. Touto informáciou je ohnisko požiaru a navrhnuté UAV s osadenou infračervenou kamerou ju dokáže spoľahlivo získať.



Obrázok 26: Ohnisko lesného požiaru z pohľadu UAV. Zdroj: [15].

## 6. Ekonomicko-technické zhodnotenie

Okrem všetkých procesov, ktoré sú spojené s návrhom, konštrukciou, osadením, testovaním a implementáciou do praxe, je nutné zhodnotiť celkový návrh UAV z viacerých hľadísk. Okrem zhodnotenia všetkých technických vlastností a funkcií navrhovaného UAV je potrebné zohľadniť aj výrobné a prevádzkové náklady celého návrhu.

Po zakonštruovaní a zhotovení UAV je možné skonštatovať, že spĺňa všetky prvotné očakávania a požiadavky na prevádzku. V prípade navrhovaného UAV je naplno využitý potenciál radiacej jednotky aj použitého materiálu. Výber motorovej jednotky zabezpečuje dostatočný výkon na danú hmotnosť UAV tak, aby dokázalo bezpečne vykonávať stanovené činnosti aj v náročnejších podmienkach.

Kvalitné zhodnotenie návrhu však vyžaduje porovnávací prvok. Na účely porovnávania navrhovaného UAV bolo zvolené také bezpilotné lietadlo, ktoré má podobné technické a účelové charakteristiky. Do porovnávania bolo zvolené bezpilotné lietadlo s pevným krídlom ALBATROSS UAV RTF od spoločnosti APPLIED AERONAUTICS. Dôvodom výberu tohto UAV bolo nasimulovanie situácie možného záujemcu. Po prehľadaní niekoľko internetových portálov bolo niekoľkokrát ponúknuté práve UAV ALBATROSS. Parametre vyhľadávania boli totožné s

navrhovaným UAV a teda UAV s pevným krídlom na účely vyhľadávania a prehľadávania s možnosťou autonómnych letov a s možnosťou osadenia optickým zariadením s citlivosťou na infračervené žiarenie.



Obrázok 27: ALBATROSS UAV RTF. Zdroj: [16].

Porovnanie nájdeného a navrhovaného UAV je rozdelené do troch kategórií. Týmto kategóriami sú: ponúkané funkcie, technické parametre a cena.

Z hľadiska ponúkaných funkcií, schopností a možností nasadenia sú nájdené a navrhované UAV takmer totožné. Aj v prípade UAV ALBATROSS sú hlavné systémy riadenia zabezpečené pomocou riadiacej jednoty Pixhawk 4. Rovnako ako pri navrhovanom UAV môže byť pozemná stanica tvorená klasickým počítačom a na účely manuálneho záložného riadenia je využívaný široký rad vysielaciek, alebo iný napríklad pákový ovládač. Taktiež rovnako ako pri navrhovanom UAV je možné osadenie klasickou aj infračervenou kamerou, ktorých záznam je na pozemnú stanicu prenášaný v reálnom čase.

Pri pohľade na technické parametre je možné pozorovať viaceré podobnosti, ale aj mnohé odlišnosti, ktoré vyzdvihujú jeden alebo druhý porovnávaný model. Podobnosti týchto modelov sú zjavné v ich rozmeroch. UAV ALBATROSS je väčší len o niekoľko málo centimetrov. Taktiež obidva modely využívajú ako hlavný zdroj energie elektriku uskladnenú v batériách. Výrazne sa však tieto modely odlišujú v použitom materiáli, hmotnosti a v letových vlastnostiach.

Základným konštrukčným materiálom UAV ALBATROSS je hliník, sklenené a uhlíkové vlákna. Vďaka týmto materiálom vykazuje jeho konštrukcia väčšiu pevnosť avšak za cenu zvýšenej hmotnosti. Tento prírastok na hmotnosti nedovoľuje uskutočniť veľmi krátky vzlet, alebo vzlet „z ruky.“ Práve z toho dôvodu je toto UAV ďaleko náročnejšie na pozemnú infraštruktúru. Čo sa týka letových parametrov je UAV ALBATROSS v každom ohľade niekoľko krát výkonnejšie. Letová výdrž môže byť oproti navrhovanému UAV predĺžená až na 2 hodiny pri trojnásobnej rýchlosti letu.

Na druhej strane je však nutné spomenúť aj náklady na údržbu a opravu. Oprava UAV ALBATROSS si vyžaduje špecializované pracovisko s prístupom k veľkému množstvu náhradných dielov. Naopak navrhované UAV je možné jednoducho opraviť tým, že sa poškodená časť opätovne vytlačí na 3D tlačí. Elektrické obvody vo vnútri navrhovaného UAV sú zapojené tak, že diagnostiku prípadného problému dokáže vykonať

splnomocnená osoba, ktorá má aspoň základné znalosti elektriky.

Poslednou porovnávacou kategóriou je cena jednotlivých UAV. V prípade navrhovaného UAV sa jedná o výrobnú cenu, ktorá zahŕňa všetky komponenty potrebné na splnenie požadovaných prevádzkových parametrov. Nájdené UAV je zastúpené nákupnou cenou priamo od výrobcu. Výrobca UAV dovoľuje pri nákupe výber konfigurácie a osadenie. Pri stanovení nákupnej ceny boli do konfiguračných parametrov zadané také komponenty aby boli porovnateľné s navrhovaným UAV.

Pri stanovení ceny jednotlivých modelov nebola zohľadnená riadiaca záložná vysielacia nakoľko táto môže byť zastúpená širokým spektrom zariadení s výrazne odlišnou cenou.

V Tabuľke sa nachádza zoznam jednotlivých použitých komponentov pri stavbe a osadení navrhovaného UAV spolu s ich súčasnou trhovou cenou.

Tabuľka 6: Zoznam a cena jednotlivých komponentov navrhovaného UAV. Zdroj: Autori.

Položka	Približná cena
Výrobný materiál na konštrukciu UAV	50,00 €
Pixhawk 4	185,00 €
GPS modul	42,00 €
Telemetrický modul	60,00 €
Pitot zariadenie	15,00 €
FUTABA prijímač	80,00 €
LI-PO batéria	67,00 €
Regulátor	70,00 €
Motorová jednotka	38,00 €
Servo 5x	28,00 €
FPV kamera	7,00 €
Kamera prijímač	20,00 €
Kamera vysielateľ	32,00 €
Dodatočná kabeláž	10,00 €
Malá batéria 2x	30,00 €
Infračervená kamera	2 700,00 €
Súčet:	3 434,00 €

Z tabuľky je možné vidieť, že z ďaleka najdrahšou položkou celého navrhovaného UAV je optické zariadenie s citlivosťou na infračervené žiarenie. Cenu tejto položky nie je možné ovplyvniť.

Kúpna cena UAV ALBATROSS v konfigurácii RTF (ready to fly – pripravená na okamžité použitie) a po zvolení jednotlivých komponentov je stanovená na približne 13 000 dolárov, čo je v prepočte približne 10 600 €. [16]

Na základe porovnania jednotlivých modelov je možné stanoviť, že navrhnuté UAV poskytuje rovnaké funkcie a prevádzkové využitie ako reálne a široko využívaný model za tretinovú cenu. Z technického aspektu je možné v tomto prípade pozorovať priamu úmeru, a teda koľko násobne vyššia cena toľko násobne lepšie parametre letu ako sú výdrž, alebo rýchlosť. Do úvahy však vstupuje aj fakt, že aspektom ako sú hmotnosť, praktickosť, údržba a náročnosť na pozemnú infraštruktúru je vo výhode práve navrhované UAV.



## 7. Záver

Aj napriek relatívne vysokým požiadavkám na prevádzkovú schopnosť, skonštruované UAV vykazuje vysoký potenciál. Prvotné testy preukázali vysokú presnosť senzorov, rýchlu odozvu jednotlivých riadiacich funkcií, výbornú kompatibilitu a možnosť rozsiahleho uplatnenia.

Zo spomínaných kvalít je nutné vyzdvihnúť práve kompatibilitu. Zvolená riadiaca jednotka sa dokáže veľmi rýchlo nastaviť na nové prostredie a prevádzku. Okrem nastaviteľnej riadiacej jednotky navrhnuté UAV ponúka širokú voľnosť vo výbere riadiacich prvkov. Možnosť konfigurácie a riadenia z takmer akéhokoľvek počítača znamená pre navrhnuté UAV určitú atraktivitu z pohľadu možného užívateľa. To isté platí aj pre záložnú vysielačku manuálneho ovládania.

Následným krokom v postupnom zavedení navrhnutého UAV do praxe je vykonanie praktických letových skúšok na manuálnom, ale aj automatickom režime letu. Na základe doteraz zozbieraných údajov sa predpokladá, že sa v nich navrhované UAV ukáže ako veľmi efektívny a kvalitný nástroj. V budúcnosti by sa navrhnuté UAV mohlo výrazne podieľať na zefektívnení špecifických činností záchranných zložiek.

## Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Výskum a vývoj využiteľnosti autonómnych lietajúcich prostriedkov v boji proti pandémie spôsobenej COVID-19, kód ITMS 313011ATR9, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Referencie

- [1] SKYbrary, „Unmanned Aerial Systems (UAS),“ SKYbrary, 2020. [online]. Dostupné na internete: [https://www.skybrary.aero/index.php/Unmanned\\_Aerial\\_Systems\\_\(UAS\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Unmanned_Aerial_Systems_(UAS))
- [2] M. Aljehani, M. Inoue, A. Watanbe, T. Yokemura, F. Ogyu a H. Iida, „UAV communication system integrated into network traversal with mobility,“ Springer Nature Switzerland, 2020. [online]. Dostupné na internete: [https://www.researchgate.net/publication/341296640\\_UAV\\_communication\\_system\\_integrated\\_into\\_network\\_traversal\\_with\\_mobility](https://www.researchgate.net/publication/341296640_UAV_communication_system_integrated_into_network_traversal_with_mobility)
- [3] A. Avitan, „The Differences Between UAV, UAS, and Autonomous Drones,“ PERCEPTO, 2019. [online]. Dostupné na internete: <https://percepto.co/what-are-the-differences-between-uav-uas-and-autonomous-drones/>
- [4] CIRCUITS TODAY, „Types of Drones – Explore the Different Models of UAV's,“ CIRCUITS TODAY, 2018. [online]. Dostupné na internete: <https://www.circuitstoday.com/types-of-drones>
- [5] A. Chapman, „DRONE TYPES: MULTI-ROTOR VS FIXED-WING VS SINGLE ROTOR VS HYBRID VTOL,“ Australian UAV, 2016. [online]. Dostupné na internete: <https://www.auav.com.au/articles/drone-types/>
- [6] Federation of American Scientists, „Chapter 1 The Nature of Command and Control,“ Federation of American Scientists, 2021. [online]. Dostupné na internete: <https://fas.org/irp/doddir/usmc/mcdp6/ch1.htm>
- [7] Ministerstvo vnútra, „Zákon č. 129/2002 Z. z. o integrovanom záchrannom systéme,“ 2002. [online]. Dostupné na internete: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2002/129/>
- [8] Ministerstvo dopravy, „Zákon č. 143/1998 Z. z. o civilnom letectve (letecký zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov,“ 1998. [online]. Dostupné na internete: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/1998/143/>
- [9] Ministerstvo dopravy, „Rozhodnutie č. 2/2019 zo 14.11. 2019,“ Bratislava: Dopravný úrad, Bratislava, 2019. [online]. Dostupné na internete: <http://nsat.sk/wp-content/uploads/2019/11/R2-2019.pdf>
- [10] ArduPilot Dev Team, „ArduPilot,“ ArduPilot Dev Team, 2020. [online]. Dostupné na internete: <https://ardupilot.org/ardupilot/>
- [11] Holybro, „About Us,“ Holybro, 2019. [online]. Dostupné na internete: <http://www.holybro.com/>
- [12] PX4, „Software Overview,“ Holybro, 2021. [online]. Dostupné na internete: <https://px4.io/software/software-overview/>
- [13] PX4, „Pixhawk 4,“ Holybro, 2020. [online]. Dostupné na internete: [https://docs.px4.io/master/en/flight\\_controller/pixhawk4.html](https://docs.px4.io/master/en/flight_controller/pixhawk4.html)
- [14] ArduPilot Dev Team., „Mission Planner Home,“ ArduPilot Dev Team., 2020. [online]. Dostupné na internete: <https://ardupilot.org/planner/index.html>
- [15] DJI Enterprise, „4 Ways Drones Fight Forest Fires,“ DJI Enterprise, 2021. [online]. Dostupné na internete: <https://enterprise-insights.dji.com/blog/drones-in-forest-fire-response>
- [16] APPLIED AERONAUTICS, „ALBATROSS UAV RTF,“ APPLIED AERONAUTICS, 2021. [online]. Dostupné na internete: <http://store.appliaedaeronautics.com/albatross-uav-rtf/>