

Využití dronů v krizovém řízení a požární ochraně

Bc. Michal Kraus

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav elektroniky a měření

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Michal Kraus
Osobní číslo: A23363
Studijní program: N1032A020003 Bezpečnostní technologie, systémy a management
Specializace: Bezpečnostní management
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Využití dronů v krizovém řízení a požární ochraně
Téma práce anglicky: Use of Drones in Crisis Management and Fire Protection

Zásady pro vypracování

- Vypracujte teoretický úvod do krizového řízení a požární ochrany.
- Popište právní rámec bezpilotních prostředků.
- Provedte literární rešerši současných technologií bezpilotních systémů používaných v krizovém řízení a požární ochraně.
- Popište typy krizových situací s možností využití dronů.
- Provedte srovnávací analýzu vybraných dronů.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. MAREŠ, Miroslav. *Krizový management*. Management Press, 2013. ISBN 9788086929927.
2. ANTUŠÁK, Emil a VILÁŠEK, Josef. *Základy teorie krizového managementu*. Praha: Karolinum, 2016. ISBN 978-80-246-3454-8.
3. VILÁŠEK, Josef; FIALA, Miloš a VONDRÁŠEK, David. *Integrovaný záchranný systém ČR na počátku 21. století*. Druhé, upravené vydání. Praha: Karolinum, 2023. ISBN 978-80-246-5092-0.
4. *Drone thermal & infrared cameras | Applications overview*. Online. Workswell. 2023. Dostupné z: <https://www.drone-thermal-camera.com/thermal-imaging-camera-uses/>. [cit. 2024-10-21]
5. *How Are Drones Used in Firefighting?* Online. Flytbase. 2023. Dostupné z: <https://www.flytbase.com/blog/drone-fire-fighting>. [cit. 2024-10-21]

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Martin Hromada, Ph.D.**
Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **29. listopadu 2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. května 2025**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



Ing. Milan Navrátil, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 29. listopadu 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na využití dronů v oblasti krizového řízení a požární ochrany. Teoretická část popisuje pojmy z oblasti krizového řízení a požární ochrany, legislativní rámec, technologie dronů a možné aplikace v krizových situacích. Praktická část zahrnuje komparaci modelů dronů a kamerových systémů, scénář pátrací operace po ztracené osobě. Cílem práce je zhodnotit využití dronů při řešení krizových situací a navrhnout postupy jejich nasazení pro zvýšení efektivity zásahu.

Klíčová slova: bezpilotní prostředky, krizové řízení, požární ochrana, drony, termovizní kamery, plán letu, Integrovaný záchranný systém

ABSTRACT

The thesis focuses on the use of drones in the field of crisis management and fire protection. The theoretical part describes concepts from the field of crisis management and fire protection, legislative framework, drone technology and possible applications in crisis situations. The practical part includes a comparison of drone models and camera systems, a scenario of a search operation for a lost person. The aim of the work is to evaluate the use of drones in crisis situations and to propose procedures for their deployment to increase the effectiveness of the intervention.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicles, Crisis Management, Fire Protection, Drones, Thermal Imaging Cameras, Flight Plan, Integrated Rescue System

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce, panu prof. Ing. Martinu Hromadovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a vstřícný přístup, který mi velmi pomohl při zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval své rodině a přátelům za jejich neustálou podporu během celého studia.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST.....	12
1 TEORETICKÝ A TERMINOLOGICKÝ RÁMEC KRIZOVÉHO ŘÍZENÍ A POŽÁRNÍ OCHRANY.....	13
1.1 TEORETICKÝ RÁMEC KRIZOVÉHO ŘÍZENÍ.....	13
1.2 TEORETICKÝ RÁMEC POŽÁRNÍ OCHRANY	19
1.3 INTEGROVANÝ ZÁCHRANNÝ SYSTÉM (IZS) A JEHO ROLE	21
2 PRÁVNÍ RÁMEC POUŽITÍ BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ.....	24
2.1 KATEGORIE PROVOZU BEZPILOTNÍCH DRONŮ.....	25
2.2 OZNAČENÍ DRONŮ ŠTÍTKEM	28
2.3 REGISTRACE PROVOZOVATELE A PILOTA.....	29
2.4 POJIŠTĚNÍ DRONŮ	31
2.5 DÁLKOVÁ IDENTIFIKACE DRONŮ.....	32
2.6 VZDUŠNÝ PROSTOR A JEHO OMEZENÍ PRO PROVOZ UAS	34
2.7 PROVOZ DRONŮ PŘI MIMOŘÁDNÝCH UDÁLOSTECH Z POHLEDU LEGISLATIVY.....	38
3 SOUČASNÉ TRENDY BEZPILOTNÍCH SYSTÉMŮ.....	41
3.1 TECHNOLOGIE KAMER.....	41
3.2 SENZORY A DALŠÍ PŘÍDAVNÉ TECHNOLOGIE.....	46
3.3 AUTONOMNÍ ŘÍZENÍ A UMĚLÁ INTELIGENCE V DRONECH.....	51
4 TYPY KRIZOVÝCH SITUACÍ S MOŽNOSTÍ VYUŽITÍ DRONŮ	55
4.1 POŽÁRY A MONITOROVÁNÍ POŽÁŘIŠŤ	55
4.2 PÁTRACÍ A ZÁCHRANNÉ OPERACE	56
4.3 CHEMICKÉ, BIOLOGICKÉ, RADIOLOGICKÉ A NUKLEÁRNÍ (CBRN) HROZBY	56
4.4 POVODNĚ A PŘÍRODNÍ KATASTROFY	57
4.5 OCHRANA KRITICKÉ INFRASTRUKTURY	57
ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI	59
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	60
5 KOMPARAČNÍ ANALÝZA VYBRANÝCH DRONŮ	61
5.1 POPIS VYBRANÝCH DRONŮ	61
5.2 IDENTIFIKACE VYBRANÝCH PARAMETRŮ PRO KOMPARACI DRONŮ.....	72
5.3 SROVNÁVACÍ TABULKA DRONŮ.....	73
5.4 CHARAKTERISTIKA KAMEROVÝCH SYSTÉMŮ	75
5.5 PARAMETRY PRO POROVNÁNÍ KAMEROVÝCH SOUSTAV.....	80
5.6 KOMPARAČNÍ TABULKA KAMEROVÝCH SYSTÉMŮ	80

6	SCÉNÁŘ VYUŽITÍ DRONU PŘI HLEDÁNÍ ZTRACENÉ OSOBY	83
6.1	POPIS VYTVOŘENÉHO SCÉNÁŘE	83
6.2	MULTIKRITERIÁLNÍ ANALÝZA PRO VÝBĚR DRONU	85
6.3	SWOT ANALÝZA ZVOLENÉHO DRONU	89
6.4	KARS ANALÝZA	90
6.5	PLÁN LETU DRONU	98
6.6	POSTUP IZS	101
	ZÁVĚR PRAKTICKÉ ČÁSTI	103
	ZÁVĚR.....	104
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	107
	SEZNAM OBRÁZKŮ	120
	SEZNAM TABULEK.....	122
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	123

ÚVOD

Krizové situace a mimořádné události jsou součástí života společnosti a představují riziko pro lidské zdraví, životy, majetek a životní prostředí. Pro minimalizaci škod a záchranu lidských životů je nutná efektivní a rychlá reakce na vzniklou mimořádnou událost. V dnešní době, kdy dochází k neustálému technologickému vývoji, se často obracíme na inovativní řešení, která přispívají ke zvýšení efektivity a rychlosti zásahu. Mezi tyto inovativní řešení spadají i bezpilotní prostředky, známé spíše pod označením drony. Drony své uplatnění již nenacházejí pouze v komerční sféře pro natáčení videí, fotografování či zábavu, ale také stále častěji nacházejí uplatnění i při zvládání krizových situací a v požární ochraně.

Hlavním cílem diplomové práce je nejen analyzovat současné technologie bezpilotních systémů a jejich využití v krizovém řízení a požární ochraně, ale také identifikovat klíčové výhody a omezení těchto bezpilotních technologií.

Diplomová práce je rozdělena do dvou částí – teoretické a praktické, které společně vytváří komplexní pohled na problematiku využití dronů v krizovém řízení. V první, teoretické části, jsou nejprve popsány základní pojmy krizového řízení a požární ochrany, včetně legislativního kontextu, který zásadně ovlivňuje využití dronů jak pro rekreační, tak profesionální využití. Následující část teoretické části se věnuje současným technologiím, které jsou využívány pro monitorování a zjišťování situace při mimořádných událostech. Tyto technologie jsou v práci rozděleny na technologie kamer, mezi něž patří například termovizní nebo optické kamery a senzorové či přídavné technologie, do kterých se řadí například detektory plynů, zařízení na odběr vody nebo měření radiace. Součástí kapitoly „současné trendy bezpilotních systému“ jsou kromě hardwarových technologií také technologie softwarové, která umožňuje autonomní řízení a využívat umělou inteligenci.

Praktická část je v první fázi věnovaná aktuálně dostupným modelům bezpilotních prostředků a kamerovým systémům, které jsou následně srovnávány na základě jejich technických parametrů. V druhé části praktické části je vytvořen scénář pohřešované osoby nacházející se v lese. Na základě scénáře je provedena multikriteriální analýza, která na základě zvolených parametrů a kritérií určí nejvhodnější dron pro daný případ. Následně je vytvořena KARS analýza, která identifikuje potenciální hrozby spojené s využitím bezpilotních systémů během pátrání po ztracené osobě. V závěru praktické části je vytvořen plán letu v softwaru UgCS v oblasti pravděpodobného výskytu osoby a možný postup složek Integrovaného záchranného systému.

I TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORETICKÝ A TERMINOLOGICKÝ RÁMEC KRIZOVÉHO ŘÍZENÍ A POŽÁRNÍ OCHRANY

Krizové řízení a požární ochrana jsou úzce propojené oblasti, které jsou nezbytné pro efektivní zvládání bezpečnosti společnosti. V této kapitole je nejprve definován pojem krizového řízení, popis orgánů a jejich činnosti, obsah krizových plánů a klasifikace krizových stavů v České republice. Následující část kapitoly je zaměřena na definici požární ochrany, zejména její legislativní úpravou a kategoriemi požární bezpečnosti staveb a rolí jednotek požární ochrany při zajištění bezpečnosti obyvatel. Závěrem první kapitoly je popsán Integrovaný záchranný systém jako koordinační mechanismus, který při řešení mimořádných událostí zajišťuje součinnost jednotlivých složek. Cílem této kapitoly je objasnění teoretické souvislosti potřebné k následnému pochopení možností využití dronů v uvedených oblastech krizového managementu.

1.1 Teoretický rámec krizového řízení

Krizové řízení je soubor opatření a procesů zaměřených na identifikaci a vyhodnocování bezpečnostních rizik, plánování, organizování, realizaci a kontrolu opatření při řešení krizových situací nebo při přípravě na krizovou situaci. Hlavním cílem krizového řízení je ochrana lidských životů, zdraví, majetku a životního prostředí před hrozbami, které mohou narušit normální fungování společnosti.

Nejedná se pouze o reakci na již vzniklé krizové situace, ale také o komplexní prevenci, jejímž cílem je minimalizovat pravděpodobnost vzniku krizových událostí a dostatečnou přípravu na očekávanou krizovou situaci. Tento postup zahrnuje detailní analýzu možných hrozeb, jejich hodnocení podle pravděpodobnosti výskytu a závažnosti dopadů, a následnou přípravu opatření ke snížení jejich negativních důsledků. [1, 2, 3]

Orgány krizového řízení v ČR

Orgány krizového řízení v České republice jsou úřady a instituce, které mají za úkol připravit se na krizové situace a efektivně je řešit. Jejich pravomoci a působnost jsou stanoveny zákonem č. 240/2000 Sb., zákon o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon), v hlavě II.

Orgány, které se zabývají krizovým řízením, si ve své působnosti vytváří prvky, které jim umožňují efektivně se připravit na možné krizové situace a zároveň schopnost reagovat na situace, které již nastaly. Tato skutečnost je zakotvena v legislativě (v zákoně o krizovém

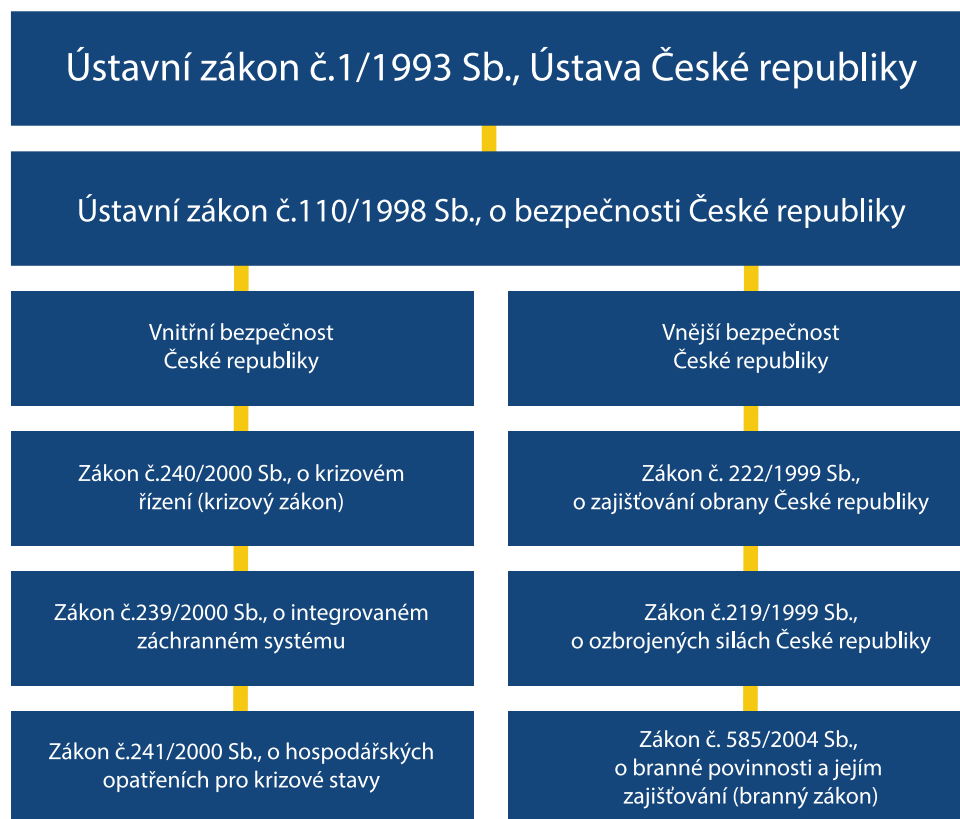
řízení). V souladu se zákonem si všechny orgány krizového řízení zřizují určité organizační složky, mezi které patří především: pracoviště krizového řízení, bezpečnostní rady a krizové štáby. [1, 4]

Hlavní orgány krizového řízení

Vláda České republiky – nejvyšší orgán krizového řízení, který zřizuje Bezpečnostní radu státu a Ústřední krizový štáb, které koordinují přípravu a řešení krizových situací na celostátní úrovni. Vláda může v případě potřeby vyhlásit nouzový stav.

Ministerstva a jiné ústřední správní úřady – každé ministerstvo a ústřední správní úřad zřizuje pracoviště krizového řízení a zpracovává vlastní krizový plán. Například Ministerstvo vnitra se podílí na ochraně obyvatelstva, zatímco Ministerstvo zdravotnictví hraje klíčovou roli při zvládání epidemií (např. distribuce potřebných léčivých přípravků). V případě krize ministerstva zřizují své krizové štáby, které následně řídí konkrétní kroky dle typu hrozby.

Česká národní banka – hraje důležitou roli v oblasti ekonomické stability a kontroluje plány krizové připravenosti subjektů kritické infrastruktury. [1, 2, 5, 6]



Obrázek 1 Základní legislativní architektura krizového řízení v ČR [1]

Krizové řízení na úrovni krajů a obcí

1. Orgány krajů

- a. **Hejtman kraje** – odpovídá za přípravu kraje na krizové situace, má pravomoc vyhlásit stav nebezpečí, pokud situace vyžaduje okamžitá opatření. Hejtman
- b. **Krajský úřad** – zřizuje pracoviště krizového řízení a plní úkoly podle krizového plánu
- c. **Hasičský záchranný sbor kraje** – připravuje krizové plány na úrovni krajů a pomáhá při jejich realizaci
- d. **Policie České republiky** – zajišťuje bezpečnost, veřejný pořádek a ochranu osob a majetku [3, 5]

Krizové řízení na úrovni obce s rozšířenou působností

2. Orgány obce s rozšířenou působností

- a. **Starosta obce s rozšířenou působností** - odpovídá za zajištění bezpečnosti ve svém správním obvodu a zřizuje krizový štáb obce. Tento štáb spolupracuje s krajskými orgány a složkami IZS.
- b. **Obecní úřad obce s rozšířenou působností** [3, 5]

Krizové řízení na úrovni obce

3. Orgány obce

- a. **Starosta obce** – může zřídit krizový štáb jako svůj pracovní orgán.

Obecní úřad – organizuje přípravu obce na krizové situace. [3, 5]

Krizové štáby jsou pracovní orgány krizového řízení, které jsou zřizovány na různých úrovních veřejné správy za účelem koordinace opatření při řešení krizových situací. Mezi hlavní úkoly patří: analyzovat aktuální stav, návrhy řešení a zajistit efektivní komunikaci mezi zapojené instituce. [3, 5]

Hlavní koordinační orgán na celostátní úrovni je zřizován Ústřední krizový štáb (ÚKŠ). Předsedou Ústředního krizového štábu bývá ministr vnitra a členové jsou zástupci ústředních správních úřadů a dalších institucí, které se podílí na plnění úkolů při řešení krizových situací. Tento štáb je odpovědný za návrh opatření pro vládu a koordinaci jednotlivých ministerstev a složkami IZS. [3, 5]

Na krajské úrovni zřizuje hejtman kraje krajský krizový štáb. Tento štáb plní funkci podobně jako ÚKŠ, ale na úrovni kraje. Mezi členy krajského krizového štábu patří zástupci krajského úřadu, Hasičský záchranný sbor, Policie ČR, zdravotnická záchranná služba a další organizace dle potřeby. Na obecní úrovni s rozšířenou působností zřizuje krizový štáb starosta obce – složení těchto štábů vychází z charakteru hrozby a aktuální situace. [3, 5]

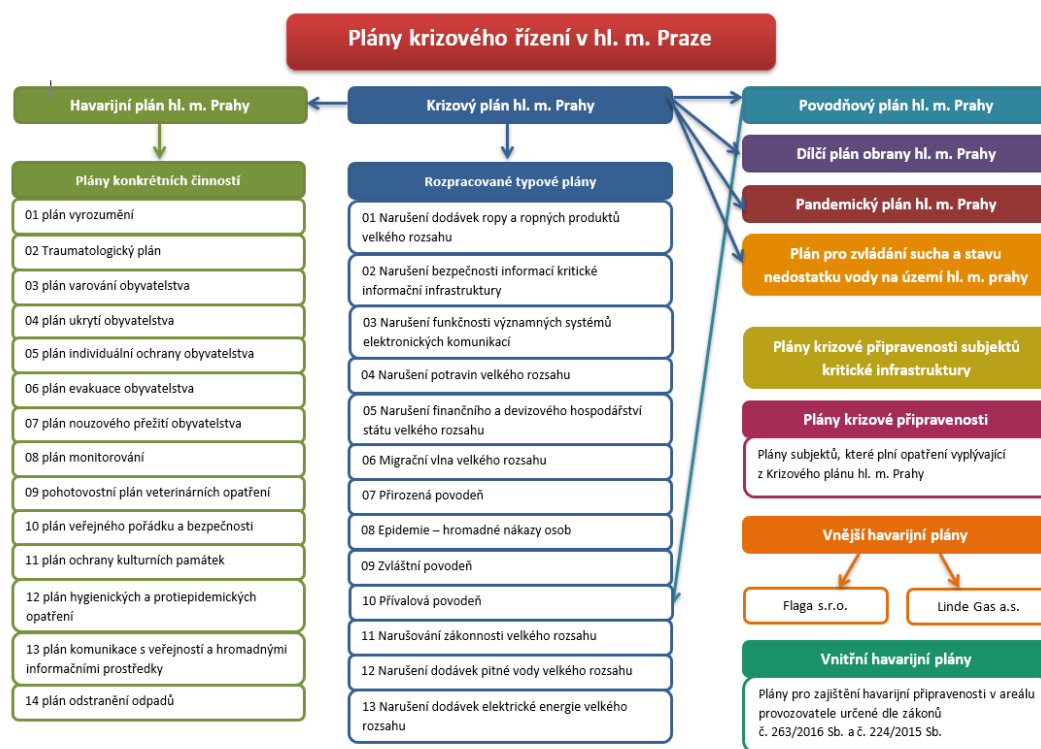
Krizový plán

Krizový plán je strategický dokument, který slouží orgánům k efektivnímu zvládnutí krizových situací. Hlavním důvodem tvorby krizového plánu je připravit orgány krizového řízení na různé mimořádné události, zajistit rychlou reakci a tím minimalizovat škody. V krizovém plánu jsou definovány postupy a opatření, která se mají dodržovat v případě ohrožení (například při přírodních katastrofách).

Krizový plán je rozdělen do tří hlavních částí: základní, operativní a pomocná. Základní část se zaměřuje na identifikaci rizik, charakterizaci organizace krizového řízení a přehled možných zdrojů ohrožení a analýzu jejich dopadu. Dále obsahuje seznam právnických osob a podnikajících fyzických osob, které se podílejí na realizaci krizových opatření.

Operativní část se soustředí na konkrétní krizová opatření a metody jejich provedení, zahrnuje plán nezbytných dodávek, způsoby plnění regulačních opatření a kontaktní informace na klíčové subjekty zapojené do krizového řízení. Součástí operativní části je také rozpracování typových plánů pro řešení konkrétních krizových scénářů a přehled právních dokumentů, které lze při krizovém řízení využít.

Pomocná část obsahuje přehled právních předpisů vztahujících se k přípravě na krizové situace, zásady manipulace s krizovým plánem, geografické podklady a další dokumenty podporující krizovou připravenost. [1, 3, 6, 7]



Obrázek 2 Ukázka plánu krizového řízení v hl. m. Praze [8]

Kromě samotného krizového plánu, který je základním dokumentem krizového řízení, jsou i další důležité plány připravující orgány veřejné moci a další subjekty na řešení krizových a mimořádných situací. Tyto dokumenty se navzájem doplňují a navazují na sebe.

Dílní částí krizového plánu je plán krizové připravenosti, který je zpracováván správními úřady, kraji a obci s rozšířenou působností. Plán krizové připravenosti slouží k zajištění opatření zajišťující včasnou a účinnou reakci dané instituce při vzniku krizového stavu. Tento dokument obsahuje například informace o cvičeních a školení, zajištění materiálních a personálních předpokladů a stanovení postupu pro aktivaci příslušných složek. [1, 5]

Dále existují i specializované plány, které jsou zaměřené na konkrétní druhy hrozeb. Mezi tyto specializované plány patří havarijní plán. Havarijní plán je dokument, který popisuje postupy při mimořádných událostech jako jsou chemické či technologické havárie. Tento dokument se zpracovává na úrovni krajů, podniků nebo na základě požadavků vyplývajících ze zákona č. 239/2000 Sb. o integrovaném záchranném systému. Dále je nezbytný povodňový plán, který na základě povodňového zákona (zákon č. 254/2001 Sb.) určuje opatření při povodňových stavech – popisuje povodňové opatření, varovné a hlásné služby, postupy evakuace a zabezpečení majetku a osob. Součástí systému krizového řízení

je také plán ochrany obyvatelstva, který zajišťuje především územní samosprávné celky ve spolupráci s HZS a dalšími složkami. Tento plán řeší například varování, evakuaci, ukrytí obyvatel a nouzové přežití. Dalším plánem v krizovém řízení lze zmínit plány obrany státu, které připravuje vláda a příslušná ministerstva pro případy ohrožení svrchovanosti a územní celistvosti České republiky. [1, 5, 8, 9, 10, 11]

Krizové stavy

Krizový stav je mimořádná právní kategorie, který se vyhláší v případě ohrožení obyvatel nebo státu. Slouží k zavedení specifických opatření, která by za běžných podmínek nebylo možné uplatnit. Jeho účelem je odvrácení hrozby nebo zvládnutí již probíhající krizové situace. [1, 7]

Krizový stav umožňuje dočasné omezení některých práv a svobod, které jsou za normálních okolností chráněny Listinou základních práv a svobod. Tento režim se vztahuje na konkrétní území a na určité časové období. V období krizového stavu lze ukládat fyzickým i právnickým osobám specifické povinnosti (například materiální či technickou podporu). [1, 7]

V České republice existují čtyři krizové stavy: stav nebezpečí, nouzový stav, stav ohrožení státu a válečný stav. Tyto stavy umožňují efektivní řízení krizových situací, ochranu obyvatel a minimalizaci negativních dopadů na společnost. [1, 7]

Stav nebezpečí

Vyhlašující orgán: Hejtman kraje nebo primátor města Prahy

Důvod vyhlášení: Pokud je ohrožen život, zdraví, majetek nebo životní prostředí a běžné postupy nestačí k odvrácení této hrozby. Stav nebezpečí se vyhláší v situacích, kdy sice nejde o extrémně rozsáhlé ohrožení, ale přesto je nutné přijmout mimořádná opatření

Územní rozsah: na území kraje nebo jen část kraje

Doba trvání: maximálně 30 dní, prodloužení musí schválit vláda [1, 5, 7, 12, 13]

Nouzový stav

Vyhlašující orgán: Vláda, v naléhavých situacích může vyhlásit předseda vlády (rozhodnutí však musí vláda do 24 hodin zrušit či potvrdit)

Důvod vyhlášení: v případech, kdy dochází k rozsáhlému ohrožení způsobenému například přírodními katastrofami, ekologickými haváriemi, závažnými nehodami nebo jinými situacemi, které mohou narušit veřejný pořádek a bezpečnost

Územní rozsah: na území celého státu nebo pouze pro určitou část území

Doba trvání: maximálně 30 dní, prodloužení je možné se souhlasem Poslanecké sněmovny [1, 5, 7, 12, 13]

Stav ohrožení státu

Vyhlašující orgán: Parlament na základě návrhu vlády

Důvod vyhlášení: pokud je ohrožena svrchovanost České republiky, její územní celistvost nebo demokratické principy, na nichž stát stojí

Územní rozsah: na území celého státu nebo pouze určitou část území

Doba trvání: doba trvání není stanovena [1, 5, 7, 12, 13]

Válečný stav

Vyhlašující orgán: Parlament

Důvod vyhlášení: pokud je Česká republika přímo napadena jiným státem nebo pokud je nutné splnit mezinárodní závazky týkající se společné obrany

Územní rozsah: celé území České republiky

Doba trvání: doba trvání není stanovena [1, 5, 7, 12, 13]

1.2 Teoretický rámec požární ochrany

Požární ochrana (PO) představuje soubor opatření a činností, které jsou zaměřené na prevenci vzniku, detekci a hašení požáru. Hlavním cílem požární ochrany je ochrana životů, zdraví a majetku před následky požárů. V České republice je tato oblast regulována zejména zákonem č. 133/1985 Sb., o požární ochraně v znění pozdějších předpisů, který stanovuje povinnosti státních orgánů, právnických a fyzických osob. [14, 15, 16]

Zákon ukládá právnickým osobám a podnikajícím fyzickým osobám povinnost uskutečnit nutné plnění úkolů požární ochrany jako jejich nedílnou součást podnikání. To zahrnuje zejména preventivní opatření k zamezení vzniku požáru, zajištění podmínek pro rychlý a efektivní zásah jednotek požární ochrany a pravidelné kontroly dodržování všech

předpisů o požární ochraně (preventivní požární hlídky, dokumentace zdolávání požárů či školení a odborná příprava zaměstnanců o požární ochraně). [14, 15, 16]

Ve druhém oddílu zákona č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, je popsán výkon státního dozoru. Státní požární dozor je činnost zaměřena na kontrolu a zajištění dodržování předpisů o požární ochraně s cílem předcházet požárům a minimalizovat jejich následky. Hlavní náplní státního požárního dozoru je kontrola dodržování povinností, posuzování dokumentace, schvalování posouzení požárního nebezpečí, ověřování podmínek požární bezpečnosti, zjišťování příčin požáru, kontrola připravenosti jednotek požární ochrany či ukládání opatření k nápravě. [14, 15, 16]

Dále jsou v zákoně popsány jednotky požární ochrany (JPO), které jsou členěny do následujících kategorií:

Jednotky hasičského záchranného sboru – tyto jednotky jsou zřizovány jako součást hasičského záchranného sboru kraje, generálního ředitelství nebo záchranného útvaru hasičského záchranného sboru. Skládají se z příslušníků hasičského záchranného sboru, kteří vykonávají službu na stanicích HZS. [

Jednotky hasičského záchranného sboru podniku – tyto jednotky jsou tvořeny zaměstnanci právnických osob nebo podnikajících fyzických osob, kteří vykonávají činnost v těchto jednotkách jako své zaměstnání.

Jednotky sboru dobrovolných hasičů obce – jsou složeny z FO, jejichž členové nejsou profesionálními hasiči.

Jednotky sboru dobrovolných hasičů podniku – skládají se ze zaměstnanců PO nebo FO, kteří nevykonávají činnost v těchto jednotkách jako své zaměstnání.

Vojenské hasičské jednotky – za jednotky požární ochrany se považují vojenské hasičské jednotky, ve vojenských objektech, útvarech a zařízeních. Tyto jednotky se skládají z vojáků a občanských zaměstnanců. Za zřízení, organizaci a vybavení těchto jednotek odpovídá Ministerstvo obrany.

Požární hlídky – pokud FO či PO provozující činnosti se zvýšeným požárním nebezpečím nezřizuje jednotku požární ochrany, je povinna zřídit požární hlídku. Obce, které nezřizují jednotku požární ochrany, mohou tak zřídit požární hlídku. [14, 16]

Kategorizace staveb z hlediska požární bezpečnosti a ochrany obyvatelstva

Stavby jsou zařazeny do kategorií podle míry požárního nebezpečí, kterou představují. Tato kategorie je definována ve vyhlášce č. 460/2021 Sb., o kategorizaci staveb z hlediska požární bezpečnosti a ochrany obyvatelstva. Na základě vyhlášky se stavby člení na :

- **Stavby kategorie O:** nepředstavují zvláštní nebezpečí. Do kategorie 0 se řadí například vodní díla, zeď a oplocení, samostatně stojící skleník, stožáry, antény, parkoviště s výjimkou budovy, mycí rampa nebo sportovní a dětské hřiště.
- **Stavby kategorie I:** představují mírné nebezpečí. Do této kategorie spadají například stavby s výškou do 9 metrů nebo budovy určené pro nejvýše 100 osob (není-li určena výhradně k bydlení).
- **Stavby kategorie II:** představují vyšší nebezpečí. Jedná se o stavby větší, které nespádají do kategorií I a III. Příkladem druhé kategorie je stavba silničního či železničního tunelu, metra nebo stavby sloužící ke skladování střeliva nebo nakládání s výbušninami.
- **Stavby kategorie III:** představují vysoké nebezpečí. V této kategorii se nacházejí stavby s velkoobjemovými skladovacími nádržemi pro hořlavé kapaliny s množstvím přesahující 5000m³. Dále se může jednat o vyšší stavby.

Zařazení stavby do příslušné kategorie ovlivňuje rozsah požadavků na požární bezpečnost a výkon státního požárního dozoru. [17, 18]

1.3 Integrovaný záchranný systém (IZS) a jeho role

Integrovaný záchranný systém (IZS) je koordinovaný postup složek, které zajišťují efektivní spolupráci při přípravě na mimořádné události a při provádění záchranných nebo likvidačních prací. Pojem Integrovaný záchranný systém se začal používat až po roce 2000 se vznikem zákona č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému. Tento zákon vymezuje kromě systému IZS také základní pojmy a pravidla související s jeho činností – kompetence a odpovědnosti orgánů státní správy i samosprávy, povinnosti PO i FO v souvislosti s přípravou na mimořádné události, při jejich řešení, a při zajišťování ochrany obyvatelstva v období před vyhlášením krizového stavu, během něj i po jeho skončení. [19, 20]

IZS se aktivuje při větších událostech, které vyžadují více složek současně, jako jsou dopravní nehody s větším počtem zranění, rozsáhlé požáry, povodně či jiné katastrofy. Klíčovým principem fungování IZS je vzájemná spolupráce a jednotné řízení, což umožňuje efektivní využití dostupných sil a prostředků. [19, 20]

Základní složky IZS

Základní složky IZS jsou klíčové pro okamžitou reakci na mimořádnou událost. Mezi tyto složky patří:

- **Hasičský záchranný sbor České republiky (HZS ČR):** je hlavním koordinátorem IZS, zajišťuje hašení požárů, technické zásahy a záchranné práce. Organizační struktura zahrnuje Generální ředitelství HZS ČR, jednotlivé krajské sbory, Záchranný útvar a také vzdělávací zařízení.
- **Jednotky požární ochrany zařazené do plošného pokrytí kraje:** dobrovolné a profesionální jednotky hasičů, které doplňují činnost HZS ČR. Jejich úkolem je zajištění požární bezpečnosti v rámci území kraje.
- **Poskytovatelé zdravotnické záchranné služby (ZZS):** zajišťují přednemocniční neodkladnou péči a transport pacientů do zdravotnických zařízení. ZZS má zásadní roli při zvládání zdravotních dopadů krizových situací.
- **Policie České republiky (PČR):** zodpovídá za ochranu veřejného pořádku, bezpečnosti a spolupráci při záchranných pracích. PČR má vlastní operační středisko, které funguje jako přijímací místo pro tísňové volání (158) a organizují činnost svých složek. [19, 20]

Ostatní složky IZS

Ostatní složky IZS poskytují na vyžádání plánovanou pomoc. Mezi ostatní složky integrovaného záchranného systému patří:

- **Vyčleněné síly a prostředky ozbrojených sil:** Armáda ČR poskytuje podporu při rozsáhlých zásazích (například přírodní katastrofy).
- **Obecní/městská policie:** podílí se na udržování veřejného pořádku a spolupracují při lokálních mimořádných událostech.
- **Ostatní ozbrojené bezpečnostní sbory:** jedná se například o Celní správu nebo Vězeňskou službu

- **Orgány veřejného zdraví:** instituce jako krajská hygienická stanice (řeší například zdravotní aspekty mimořádných událostí)
- **Havarijní, pohotovostní, odborné a jiné služby:** plynárenská nebo energetická pohotovost
- **Zařízení civilní obrany**
- **Neziskové organizace a sdružení občanů** [19, 21, 23]

V rámci této kapitoly byly definovány základní aspekty krizového řízení a požární ochrany, které tvoří základ pro pochopení celkové problematiky bezpečnosti a ochrany obyvatelstva v krizových situacích. Úvodní část kapitoly byla zaměřena na základní principy krizového řízení v České republice, kde byly následně popsány jednotlivé orgány odpovědné za přípravu a realizaci krizových opatření. Dále se kapitola zabývala legislativním ukotvením požární ochrany včetně požadavků na kategorizaci staveb a úlohy jednotek požární ochrany v systému prevence a likvidace požárů. Závěrem byl popsán Integrovaný záchranný systém, nezbytný nástroj zajišťující efektivní koordinaci jednotlivých záchranných složek.

2 PRÁVNÍ RÁMEC POUŽITÍ BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ

Drony, známé také jako bezpilotní prostředky (UAV – Unmanned Aerial Vehicle), se staly za poslední roky velmi populární v nejrůznějších oblastech lidských činností. Bepilotní prostředky díky vývoji nových technologií a větší dostupnosti začaly postupně nacházet uplatnění nejen v profesionální sféře (v armádě či průmyslu), ale také se začaly více využívat pro rekreační účely.

Se zvyšujícím se počtem dronů ve vzdušném prostoru však vzniká i potřeba jejich regulace, která by zajistila nejen větší bezpečnost, ale i ochranu soukromí a dodržování právních předpisů.

Do konce roku 2020 se provoz dronů v České republice reguloval podle přílohy X předpisu L 2 vydaného Úřadem pro civilní letectví. K zásadním změnám v oblasti legislativy bezpilotních prostředků došlo 31. prosince 2020 s příchodem nové legislativy Evropské unie, která přinesla výhodu v podobě jednotných pravidel platných v celé Evropské unii (navíc také pro Norsko, Švýcarsko, Lichtenštejnsko a Island). [23, 24, 25]

Současnou legislativu upravující provoz dronů lze rozdělit do dvou směrů:

a) Evropská legislativa

- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/1139
- Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2019/945
- Prováděcí nařízení Komise (EU) 2020/947
- Prováděcí nařízení Komise (EU) 2020/639
- Prováděcí nařízení Komise (EU) 2020/746
- Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2020/1058
- Prováděcí nařízení Komise (EU) 2021/664, Prováděcí nařízení Komise (EU) 2021/665, Prováděcí nařízení Komise (EU) 2021/666
- Prováděcí nařízení Komise (EU) 2021/1166
- Prováděcí nařízení Komise (EU) 2022/425
- Přijatelné způsoby průkazu (AMC) a poradenských materiálů (GM) k prováděcímu nařízení Komise (EU) 2021/664

b) Národní legislativa

- Zákon č. 49/1997 Sb. Zákon o civilním letectví
- Letecký předpis L2, Pravidla létání – Doplněk X
- Opatření obecné povahy (LKR10-UAS)
- EASA eRules [23]

2.1 Kategorie provozu bezpilotních dronů

Provoz bezpilotních dronů je rozdělen do 3 hlavních kategorií na základě míry rizika, která jsou spojená s daným typem operace. Rozdělení do kategorií, které zavedla evropská legislativa z roku 2020, platí v celé Evropské unii a dalších přidružených zemích. Základní kategorie jsou pod označením „Open“ (otevřená), „Specific“ (specifická) a „Certified“ (Certifikovaná). [24, 25]

Kategorie Open (otevřená)

Kategorie Open je základní kategorií provozu dronů a pokrývá většinu rekreačně používaných lehkých dronů. Výhodou této kategorie je, že není třeba získávat žádné zvláštní povolení od úřadů před letem. Tato kategorie se dále dělí do tří podkategorií: A1, A2 a A3.

V **podkategorii A1** se nachází drony, které mají od výrobce označení štítku C0 (například dron DJI mini 4) nebo štítky C1 (například dron DJI Air 3). Dále do této podkategorie patří drony bez štítku s označením, ale pouze do hmotnosti 250 gramů. [24, 25]

Pokud je dron označen štítkem C0 nebo splňují hmotnost do 250 gramů a zároveň není vybaven kamerou nebo je od výrobce označena jako hračka, nemusí se uživatel registrovat jako provozovatel a pilot u Úřadu pro civilní letectví. U ostatních dronů musí být provedena registrace na Úřadu pro civilní letectví a dron musí být označen registračním číslem provozovatele. U dronů se štítkem C0 může pilot přelétat nad nezapojenými osobami, nesmí se však jednat už o shromáždění osob, při letu v hustě osídleném prostoru musí být let naplánován tak, aby nepřelétal nezapojené osoby a svůj letový plán musí vložit do aplikace DronView. U bezpilotních letadel s označením třídy C1, nesmí pilot přelétat nad žádnou nezapojenou osobou. [24, 25, 26]

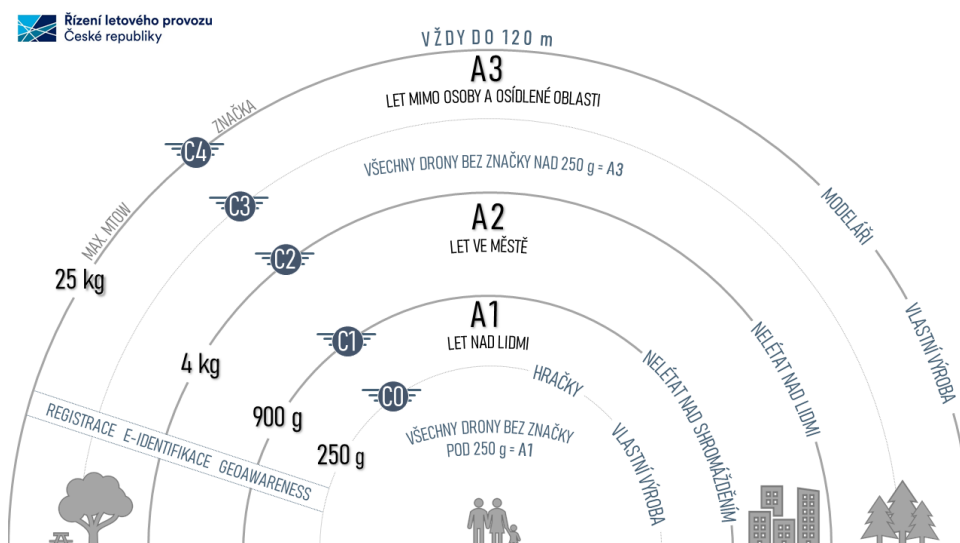
Od září roku 2024 mohou i drony třídy A1 létat ve městě. Musí však splnit určitá pravidla jako je nutnost zadání letového plánu do aplikace DronView nebo zabezpečit prostor provozu před vstupem osob, které nejsou zapojeny. [27]

Podkategorie A2 je zaměřena především pro profesionální využití, protože do této kategorie spadají pokročilejší drony s větší vahou nad 500 gramů do 4 kg (například dron s termovizí DJI Mavic 3 Thermal) a označením štítku maximálně do C2. S dronem se může létat v blízkosti lidí standardně s 30 metrovým rozestupem (v případě provozu nízko rychlostního režimu) s pravidlem 1:1 (pokud je dron ve výšce 70 metrů, musí být horizontálně vzdálený od lidí alespoň 70 metrů). Nevýhodou dronů spadajících do podkategorie A2 a vyšší je povinnost sjednání pojištění odpovědnosti (dronů). [24, 25, 26]

Do **podkategorie A3** spadají především těžší drony do hmotnosti 25 kg. Jelikož jsou těžší drony rizikovější z pohledu selhání či havárie, platí pro ně přísnější pravidla pro bezpečnost – minimální vzdálenost od obydlených oblastí a lidí musí být minimálně 150 metrů. Do této podkategorie spadají drony jako jsou například: DJI Matrice 600 Pro nebo DJI Inspire 3. [24, 25, 26]

Mezi základní požadavky pro spadání dronu do kategorie Open patří například:

- Dron musí mít v době vzletu maximálně 25 kg
- Pilot během celého letu musí mít dohled na bezpilotní letadlo
- Dron nesmí přepravovat nebezpečné věci a shazovat jakýkoliv materiál [26]



Obrázek 3 Kategorie a jejich pravidla [28]

Kategorie specific (specifická)

Specifická kategorie je určená pro pokročilé úrovně provozu dronů (například pro firmy, které provádějí letecké práce/činnosti v hustě obydlených oblastech, dopravních staveb nebo v prostorách letišť). Pro kategorii Specific se většinou využívají drony, které jsou označeny štítky C0 až C4 nebo drony bez štítku s externí identifikací (remote ID). Jelikož se jedná o rizikovější lety, je nutné získat speciální povolení, tzv. oprávnění k letu (OkP), které v České republice vydává Úřad pro civilní letectví. Toto oprávnění není doživotní, ale musí se žádat před každým letem či sérií letů na uvedený čas a místo. Úřad pro civilní letectví toto oprávnění posoudí a může upravovat specifikace letu (například výšku letu). Aby pilot mohl získat oprávnění k letu musí mít licenci minimálně A1, A2 nebo A3, sjednané pojištění odpovědnosti dronu a dokumentaci o plánovaném provozu dronu (ConOps) případně další dokumentace. Dále musí být dron vybaven dálkovou identifikací, která slouží k přenosu v reálném čase o základních informacích dronu a provozovatele. [24, 25, 29]

Kategorie Certified (certifikovaná)

Certifikovaná kategorie (Certified) je nejvyšší možná kategorie v označení dronu. V této kategorii se nacházejí sofistikované drony, které jsou schváleny pro komerční a pokročilé operace, jako jsou například drony určené pro přepravu osob, přepravu nebezpečných látek či jiných specializovaných úkolů (záchranné mise, přesné mapování či průmyslová inspekce). V současné době provoz dronů v kategorii Certified moc neprobíhá, jedná se o

kategorii, která slouží hlavně pro přípravu na budoucí bezpilotní technologie (například převoz lidí) v rámci jednotného prostoru „U-Space“. [24, 25, 30]

Pro provoz v této certifikované kategorii je nutné splnit náročné zkoušky a získání certifikací celého systému – bezpilotních letounů, ovládacích stanic, řídicích systémů a komunikačních zařízení. [24, 25, 30]

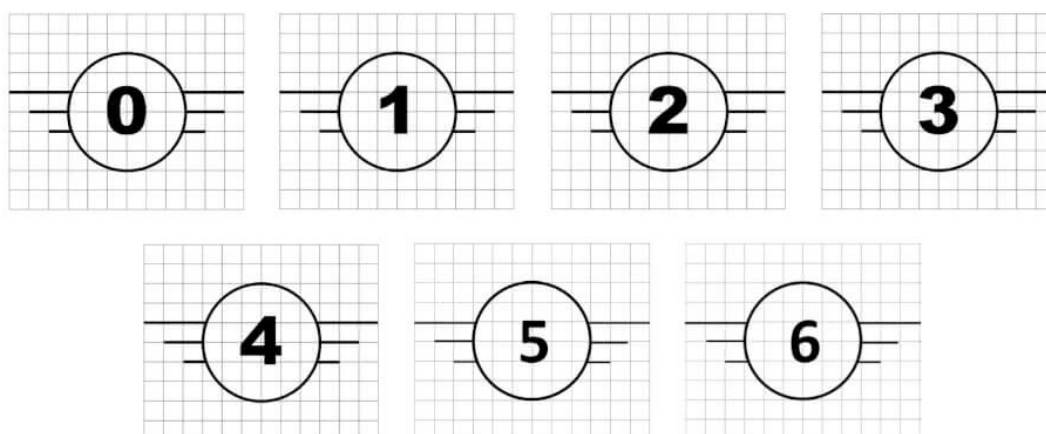
2.2 Označení dronů štítkem

V současné legislativě se drony dělí na drony s C štítky a na drony bez C štítku (drony staršího data výroby). Drony, na kterých je tzv. C štítek, označuje certifikaci, která potvrzuje splnění bezpečnostních a výrobních standardů. Výrobci musí dle nové legislativy označit každý dron určující jeho třídu již při výrobě. Tyto označené drony mají oproti ostatním bezpilotním letadlům výhodu v mírnějším (specifickém) pravidlům provozování dronů. [24, 25]

Drony se většinou označují štítky pod označením třídy C0 až C4.

- Štítek C0
 - Využívá se především v otevřené kategorii A1 u dronů lehčích než 250 g (například DJI mini 4 pro)
 - Je možné přelétávat nad nezapojenými osobami, ale mělo by se to co nejvíce minimalizovat (nesmí se létat nad shromáždění lidí)
 - Není nutný „pilotní průkaz“ a registrace na úřadě ÚCL
 - Je povoleno létat ve městě, ale vždy se zaznamenáním letu v aplikaci DronView.
- Štítek C1
 - Řadí se také do kategorie A1, ale drony mohou být těžší (například DJI Air 3)
 - Přelety nezapojených osob jsou zakázány
 - Vyžaduje se registrace provozovatele a pilotní licenci
 - Provoz ve městě od září 2024 platí stejně jako u třídy C0
- Štítek C2

- Používá se v kategorii A2 pro drony do 4 kg (například DJI Mavic 3 Pro či DJI Mavic 3 Thermal)
- Minimální vzdálenost od lidí je 30 metrů nebo až 5 metrů ve zpomaleném režimu při maximální rychlosti 5 m/s
- Štítek C3 a C4
 - Určený pro těžší drony v kategorii A3, jako je například dron DJI Inspire 3
 - Není povoleno přelétávání nad osobami ani budov (minimální odstup od hustě obydlené oblasti musí být 150 metrů)
- Drony bez C štítku
 - Drony lze používat pouze ve dvou kategoriích: Open A1 pro drony lehčí než 250 g a Open A3 pro drony do 25 kg
 - Registrace a licence u dronů pod 250 g je nutná pouze tehdy, pokud dron disponuje kamerou nebo jiným senzorem
 - Provoz v kategorii Specific je možný i u dronů bez štítku, nicméně dron musí používat prvek remote ID [24, 25]



Obrázek 4 Štítky na drony 0-6 [25]

2.3 Registrace provozovatele a pilota

Jednotná pravidla pro EU z roku 2020 o provozu dronu stanovují, že se musí registrovat provozovatelé a piloti u dronů s kamerou nebo dronů těžších 250 gramů, které nejsou

oficiálně od výrobce označeny jako hračka nebo nemají štítek C0. V České republice registrace provozovatele i pilota probíhá na webových stránkách Úřadu pro civilní letectví (ÚCL). [24, 31, 32]

Registrace provozovatele:

- Provozovatelem dronu je fyzická nebo právnická osoba (společnost), která vlastní dron a řídí jeho provoz. U většiny rekreačních pilotů je osoba provozovatel a pilot zároveň (pokud dron vlastní i s ním létá).
- Proces registrace probíhá zcela online a bez poplatku. Registrace zahrnuje volbu mezi právnickou a fyzickou osobou, která musí být ověřena prostřednictvím elektronických prostředků (např. mobilní klíč eGovernment, datová schránka nebo bankovní identita – u právnických osob a OSVČ se při registraci zadává IČO).
- Po dokončení registrace dostane provozovatel prostřednictvím e-mailu unikátní identifikační číslo, které musí být umístěno na všechny drony ve vlastnictví provozovatele (umístění bývá ve formě nalepeného štítku nebo napsané fixou přímo na dron). [24, 31, 32]

Registrace pilota:

- Každý pilot musí podstoupit online test (bez ohledu na to, zda létá se svým dronem nebo s dronem ve vlastnictví/provozovatelem jiné osoby)
- Přihlášení probíhá podobně jako u provozovatele (pomocí e-identity)
- Po přihlášení se nabídne online test s otázkami ohledně bezpečnosti, legislativy a technických znalostí spojených s používáním dronů.
- Po úspěšném zvládnutí online testu získává pilot číslo a osvědčení (pro kategorii open A1 a A3) platné po dobu 5 let.
- V případě potřeby kategorie A2 musí uchazeč absolvovat podrobnější test fyzicky na ÚCL [24, 31, 32]



Obrázek 5 Doklad o absolvování online výcviku [24]

2.4 Pojištění dronů

V České republice se rozlišují dva typy pojištění: povinné pojištění odpovědnosti dronu a dobrovolné pojištění (například zahrnuje poškození, zničení či krádež dronu).

Povinné pojištění odpovědnosti dronu:

- Povinné pojištění vychází z předpisů agentury EASA z nařízení 2019/947 a z českého Zákona o civilním letectví. 49/1997 Sb.
- Toto pojištění je povinné u dronů s hmotností nad 20 kg a u lehčích, které se využívají jinak než k rekreačním účelům (např. u výdělečné činnosti). Dále povinné pojištění musí být v následujících případech:
 - Kategorie Open A2: drony do 2 kg, které létají poblíž lidí
 - Kategorie Open A3: drony nad 4 kg, které létají v odlehlých oblastech
 - Všechny drony, které spadají do kategorie Specific

- Minimální limity pojistného krytí jsou stanovené nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 785/2004 v následujících výších limitů:
 - 0,25 mil. Kč pro drony do 0,91 kg,
 - 1 mil. Kč pro drony do 7 kg,
 - 3 mil. Kč pro drony do 20 kg
- Za sjednání pojištění odpovídá provozovatel dronu
- U dronů v otevřené kategorii může mít provozovatel jedno pojištění odpovědnosti pro všechny své drony. Naopak u specifické kategorie musí být uzavřeno pojištění odpovědnosti pro každý dron zvlášť. [33, 34]

Dobrovolné pojištění:

Dobrovolné pojištění kryje škody většinou na dronu samotném (například krádeže či poškození). Aby se však pojištění vztahovalo na dron, musí splňovat následující podmínky:

- Musí být registrován u Úřadu pro civilní letectví
- Používat dron výlučně k rekreačním účelům
- Maximální hmotnost dronu nesmí přesáhnout 4 kg
- Dron nepodléhá povinnosti sjednat pojištění odpovědnosti [33, 34]

2.5 Dálková identifikace dronů

S rostoucím počtem využívání dronů jak pro rekreační využití, tak pro profesionální využití, se zvyšuje pravděpodobnost většího výskytu rizik a nehod (například kolize mezi pilotních či bezpilotních letadel). Na základě tohoto faktu vyšlo nařízení EU 2019/947, které se mimo jiné zabývá také dálkovou identifikací dronů (e-identifikace či remote ID). Dálková identifikace dronů je definována jako digitální přenos informací v reálném čase. Mezi sdílenými daty patří například: letová dráha, zeměpisná poloha pilota (bodu vzletu), rychlost, aktuální výška bezpilotního letadla, registrační číslo provozovatele, jedinečné sériové číslo bezpilotního letadla, případně údaje o nouzovém stavu bezpilotního systému. [35, 36]

Mezi hlavní důvody dálkové identifikace je informovanost o výskytu daného dronu v oblasti a tím zajištění bezpečnějšímu využívání vzdušného prostoru. Jedním z hlavních důvodů zavedení dálkové identifikace je také zajištění odpovědnosti provozovatelů. Kromě označení každého dronu registračním číslem provozovatele (které slouží také při nalezení

havarovaného dronu jako identifikace osoby odpovědnou za případnou škodu) je pomocí e-identifikace rozšířena zodpovědnost i na situace, kdy je dron ve vzdušném prostoru. Díky tomu mohou úřady kontrolovat dodržování předpisů. Důležitou roli hraje také pro rozvoj pokročilejších forem využití dronů (autonomní lety bez vizuálního dohledu či doručování zásilek). [35, 36]

Od 31. 12. 2023 mají výrobci povinnost u nově uvedených dronů s označením třídy C1, C2 a C3 mít remote ID zabudované přímo v dronech a provozovatel musí své registrační číslo nahrát do softwaru či aplikace (tato povinnost neplatí u tříd C0, C4 a hraček). U starších dronů využívaných ve specifické kategorii, kde ještě výrobcem není označení třídy (nemají zabudovanou dálkovou identifikaci), nebo u dronů třídy C0 a C4, je nezbytné připevnit k dronu externím zařízením s registračním číslem. [35, 36]

Dálková identifikace (Remote ID) se dělí na dva základní typy – přímou dálkovou identifikaci (DRI) a síťovou dálkovou identifikaci (NRI).

Přímá dálková identifikace (DRI) funguje na principu, kdy dron o sobě dává vědět všem zařízením v blízkosti okolí pomocí bezdrátového vysílání Wi-Fi nebo Bluetooth. Mezi informace, které dron pomocí bezdrátových technologií vysílá, patří: ID provozovatele, aktuální polohu dronu, místo vzletu, sériové číslo stroje, směr letu, rychlost a případný nouzový stav. Tyto údaje lze přijímat prostřednictvím mobilních zařízení vybavených protokoly Wi-Fi a Bluetooth. Dosah DRI se pohybuje od stovek metrů až po několik kilometrů. [35, 36]

Síťová dálková identifikace (NRI) je technologicky sofistikovanější řešení než u DRI, u kterého je přenos dat zabezpečen pomocí mobilní sítě, která umožňuje širší dosah a přístup k informacím odkudkoli. Tento druh komunikace byla zavedena pro budoucí využívání v tzv. U-space. [35, 36]

V současné době již existují na trhu zařízení jak s přímou, tak síťovou dálkovou identifikací. Mezi nejznámější „Remote ID“ patří Dronetag Mini, který je vyvíjený a vyráběný českou firmou. Jedná se o malé a lehké zařízení s podporou DRI i NRI, které se na dron upevňuje pomocí suchého zipu. K zařízení lze stáhnout pro iOS a android stejnojmennou mobilní aplikaci „Dronetag“, která slouží především ke správě, kontrole dronu a plánování a historie letů. Společnost vyvinula další dvě aplikace, „Drone Scanner“, která slouží ke skenování okolního prostoru a detekci aktivních dronů (zachytává Wi-Fi

signál a sbírá informace o dronech v okolí) a aplikaci „Dronetag Toolbox“, která slouží pro rozšířenou konfiguraci dronetagů. [35, 36, 37]

Tyto externí „Remote ID“ jsou v současné době vhodné pro provozovatele dronů ve specifické kategorii, které nejsou označeny štítkem či nemají od výrobce integrovaný hardware na dálkovou identifikaci a pro drony vlastní výroby či malosériové výroby. [35, 36]



Obrázek 6 Dronetag mini [38]

2.6 Vzdušný prostor a jeho omezení pro provoz UAS

Vzdušný prostor je oblast, která se nachází nad povrchem zemského povrchu. V této oblasti se pohybují různá letadla či jiné letecké prostředky (bezpilotní letadla). Každý stát si stanovuje vlastní pravidla pro provoz, které musí všichni uživatelé, kteří tento prostor používají, dodržovat. Vzdušný prostor bývá zpravidla rozdělen na několik vrstev či sektorů, při čemž každá vrstva/sektor má svůj konkrétní účel a pravidla. [39, 40]

Na evropské úrovni se nachází koncept Evropského vzdušného prostoru, který zastřešuje vzdušné prostory členských zemí EU. Tento prostor koordinuje a řídí Evropská agentura pro bezpečnost letectví (EASA) spolu s organizací Eurocontrol. Tyto organizace společně koordinují a zajišťují dohled v evropských podprostorů. [39, 40]

Dle mezinárodní organizace ICAO existuje celkem sedm tříd vzdušného prostoru s označením A až G.

Vzdušný prostor třídy A: určeno pro komerční provoz ve vysokých letových hladinách

Vzdušný prostor třídy B: prostory kolem frekventovaných letišť

Vzdušný prostor třídy C: kontrolovaný prostor nad většími letišti a v jejich blízkém okolí, kde je provoz koordinován letištní řídicí věží.

Vzdušný prostor D: vzdušný prostor v okolí menších letišť

Vzdušný prostor třídy E: určená pro běžný provoz, který má méně restrikcí – není zde povinnost být ve spojení s letištěm

Vzdušný prostor F: v České republice tento prostor není využíván. Jedná se o tzv. poradní prostor, kde je letům poskytována poradní služba, a všem letům pak letová informační služba na vyžádání

Vzdušný prostor G: zcela neřízený prostor [39, 40]

Zeměpisné zóny

Zeměpisné zóny lze charakterizovat jako specificky určené části vzdušného prostoru, v nichž platí určitá pravidla pro provoz dronů. Jednotlivé členské státy EU mají povinnost vytvářet a upravovat svoje vlastní zeměpisné zóny, které upravují podmínky pro provoz dronu na svém území. V České republice zeměpisné zóny zřizuje Úřad pro civilní letectví (ÚCL), na základě Čl. 15 prováděcího nařízení Evropské unie 2019/947. [41, 42, 43]

Hlavním důvodem zřizování těchto zeměpisných zón je zajištění celkové bezpečnosti letového provozu a zabránění výskytu dronů v nežádoucích oblastech. Mezi další důvody patří zejména ochrana životního prostředí, ochrana soukromí občanů, umožnění operací bezpilotních systémů ve specifické kategorii a podpora technologického pokroku v této oblasti. [42]

Evropská agentura pro bezpečnost letectví (EASA) definuje 3 hlavní druhy zeměpisných zón:

- **Zakázané zóny (Prohibited Areas):** v této oblasti jsou lety většinou zakázané úplně nebo povoleny pouze pro určité třídy dronů. Příkladem trvalého zákazu prostoru pro provoz dronů jsou objekty Armády ČR (například prostor LKP314 – Zakázaný

prostor Sokolnice). Přehled všech trvalých a dočasných zeměpisných zón lze najít na stránkách ÚCL. [41, 42, 44]

- **Omezené zeměpisné zóny (Restricted Areas):** V této oblasti lze létat za specifických podmínek (musí být splněné podmínky, které jsou dané pro určitou oblast) a často může být nutné předchozí povolení k letu. Omezená oblast bývá většinou v blízkosti citlivých objektů – letiště, elektrárny, chráněné přírodní oblasti, heliporty (nemocnice). Příkladem omezeného prostoru v ČR je LKR-10-UAS. [41, 42, 44]
- **Zpřístupněné zeměpisné zóny (Open Zones):** v těchto zónách je běžně povolený volný provoz dronů v otevřené kategorii. [41, 42, 44]

Na stránkách agentury EASA se nachází ještě jedna zeměpisná zóna pod označením „U-space“ jako nižší část vzdušného prostoru, kde se provoz bezpilotních systému a dalších vzdušných prostředků řídí podle specifických pravidel koordinace. [43]

Tyto zeměpisné zóny jsou vyhlášované formou opatření obecné povahy a jejich publikace a zobrazení v mapách vzdušného provozu závisí na tom, jak výrazně ovlivňují klasický pilotovaných letový provoz. Zóny, které mají vliv na pilotovaný prostor, jsou uváděné v Letecké informační příručce (AIP, část ENR 5.1) a zakresleny do letecké mapy ICAO a systému AisView. Naopak zóny bez dopadu na běžný provoz s pilotovanými letadly jsou uvedeny v AIP v sekci ENR 5.3.1 a zakresleny jsou do systému aplikace DronView.

Webová a mobilní aplikace **DronView** je součástí širšího systému AisView. Tato aplikace slouží jako klíčový nástroj pro přípravu operátorů a pilotů bezpilotních letadel na území ČR. DronView nabízí přehledné uspořádání vzdušného prostoru, plánování aktivit letu či meteorologická data. Během práce s aplikací DronView je důležité dbát na správné nastavení parametrů (výška let, hmotnost dronu nebo čas). [45]

Všichni piloti dronů musí před letem si zjistit aktuální informace o platných zeměpisných zónách a jejich pravidel. Tyto informace lze zjistit přímo na stránkách ÚCL nebo prostřednictvím aplikace jako je DronView. Některé novější drony disponují systémem „geo-awareness“, která upozorní pilota v případě narušení zeměpisné zóny (například u dronů firmy DJI v aplikaci DJI Fly). [42, 45]

Řízení letového provozu

Řízení letového provozu bezpilotních systémů, známé pod zkratkou UTM (Unmanned Traffic Management) je systém pravidel a technologií, který je navržen tak, aby zajistil bezpečný provoz UAV ve vzdušném prostoru (především v nízko letovém provozu). UTM organizuje lety prostřednictvím procesů, jako je sledování polohy dronů, správa letových plánů, identifikace jednotlivých strojů a celkové řízení provozu tak, aby nedocházelo ke kolizím či narušení bezpečnosti.

System UTM je zásadním stavebním prvkem pro správné fungování tzv. U-Space, který tvoří právní rámec pro moderní využívání dronů v EU. [46]

Budoucnost provozu dronů (U-Space)

U-Space je definován v jednotném evropském legislativním rámci pro řízení provozu dronů a je označován jako čtvrtá zeměpisná zóna. Cílem tohoto prostoru je zajištění vysoké úrovně bezpečné a organizované začlenění všech bezpilotních prostředků včetně pokročilejších budoucích technologií (pro náročnější úkoly – jako například doručení balíků s léky či krví) do jednoho sdíleného vzdušného prostoru, a to i v hustě osídlených městech či při letů mimo vizuální dohled pilota. Tento prostor by měl být v budoucnu určený pro všechny jak bezpilotní, tak pilotní letadla (např. vrtulníků letecké záchranné služby). [47, 48]

Základní právní úpravy U-Space v Evropské unii je postavena na třech hlavních nařízeních: (EU) 2021/664, 2021/665 a 2021/666. Z těchto nařízení se prostoru U-Space zabývá především nařízení (EU) 2021/664, které popisuje, jak má tato zóna fungovat (vymezení prostoru, požadavky na UAS, poskytovatele služeb U-Space, povinnosti a doplňkové služby v U-Space). [47]

Legislativa EU rozlišuje 4 hlavní služby a 2 doplňkové.

Mezi základní služby patří:

- **Sít'ová identifikace dronů** – dron během letu vysílá svou polohu a identifikační údaje
- **Geo-awareness** – implementovaný nástroj pro online přehled informací o omezení ve vzdušném prostoru (například dočasně uzavřené zóny)
- **Oprávnění k letu** – schválení konkrétní mise či trasy dronu
- **Provozní informace** – přehled o okolním leteckém provozu

Mezi doplňkové služby patří:

- **Předpověď počasí**
- **Monitorování souladu** – zda drony bezpilotní letadla létají dle pravidel [47]

Na základě dokumentu SESAR U-Space Blueprint z roku 2017 by měl být tento prostor postupně zaváděn do reálného provozu (dle technické připravenosti každé země EU) na základě čtyř fází označované jako U1 až U4. [47, 48]

- **U1** je definována jako zavedení počátečních služeb, tedy e-registrace, e-identifikace a vymezení zeměpisných zón (v ČR je již zavedená a dále se rozvíjí).
- **U2** přidává služby pro organizaci bezpilotních letů – plánování, schvalování a sledování letů (jedná se o letové řízení provozu i pro drony - UTM)
- **U3** zavádí pokročilé služby se složitějšími operacemi s více drony v prostoru najednou. V této části by měli být služby, které by detekovali riziko srážky a pomáhali řídit přetížení vzdušného prostoru. [47, 48]

V České republice má U-Space na starosti Řízení letového provozu ČR (ŘLP ČR), které spolupracuje s Ministerstvem dopravy, ÚCL a dalšími institucemi či firmy (například UpVision a AirMap). V první fázi vznikají tzv. testovací polygony, kde se nové technologie a pravidla prověřují. Následně se budou vytvářet konkrétní místa s U-Space zóny (dle odhadů nejdříve v roce 2025) a v ideálním případě by se tato zóna měla rozšířit na území celé České republiky (dle odhadu nebude U-Space rozšířen na celém území ČR dříve než v roce 2035). [47, 49]

2.7 Provoz dronů při mimořádných událostech z pohledu legislativy

Problematiku provozu bezpilotních letadel v České republice upravuje primárně Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/947 o pravidlech a postupech pro provoz bezpilotních letadel, kde jsou stanovena základní pravidla a kategorie provozu (otevřená, specifická, certifikovaná) a jsou platná v členských státech EU. Nicméně v některých záležitostech si pravidla stanovuje Česká republika sama prostřednictvím zákona č.49/1997 Sb., o civilním letectví. Tento český zákon doplňuje evropskou legislativu dronů a obsahuje specifikace týkajících se například užívání vzdušného prostoru, letišť a leteckých služeb. Dále tento zákon umožňuje určité výjimky zejména pro hasiče, policii či vojáky. [50]

Hasičský záchranný sbor má podle §50a v zákonu o civilním letectví možnost výjimečně při létání hasičských bezpilotních letadel odchýlit od pravidel létání, ale to pouze

pokud je to nezbytně nutné pro jejich plnění základního úkolu. V tomto případě však musí dbát na zvýšenou opatrnost a zajistit koordinaci s ostatními složkami ve vzdušném prostoru. [50]

Policie České republiky (létání vojenských, policejních a celních letadel) může dle §50 odstavce 3 také v nezbytných situacích se odchýlit od pravidel létání, pokud nelze jinak zajistit bezpečnost osob, majetku či veřejného pořádku. Policie ČR navíc může vydat pokyn pro zákaz, omezení nebo stanovení podmínek v určitých oblastech na základě §44 odstavce 5, pokud je to nutné k výkonu jejich práce. [50]

Možnost dočasně nebo trvale omezit či zakázat provoz dronů v určitých oblastech má také Úřad pro civilní letectví. Tato možnost bývá využívána většinou v případech pro ochranu bezpečnosti, životního prostředí nebo soukromí (§ 44 odst. 3, § 44e, § 44h a § 44i). Příkladem dočasného provozu dronů může být vymezení prostoru pro záchranné operace nebo v místech, kde se má konat akce s větším výskytem osob. Například pro termín od 6. 4. 2025 do 21. 4. 2025 byla publikována veřejná vyhláška o dočasném zákazu provozu bezpilotních letadel v prostoru Českých Budějovic v souvislosti s konáním Mistrovství světa v ledním hokeji žen IIHF 2025 a doprovodných akcí. Tato vyhláška byla z důvodu zajištění bezpečnosti a veřejného pořádku na základě § 44h odst. 1. – ze zákazu letů byla vyjmuta pouze bezpilotní letadla Armády ČR (vč. Vojenské policie), Policie ČR a Hasičského záchranného sboru. [50, 51]

Kromě krizových situací existují i pravidla pro létání v ochranných pásmech důležité infrastruktury nebo chráněných krajinných oblastech, kde provozovatelé dronů potřebují speciální povolení od ÚCL. [50]

Druhá kapitola diplomové práce se zabývala legislativním prostředím provozu bezpilotních prostředků v České republice a Evropské unii. Na úvod jsou zmíněné zákony související s používáním dronů, které jsou platné na území Evropské unie, ale také související legislativa platná na území České republiky. Následovala část, kde byly detailně popsány jednotlivé kategorie provozu dronů a označování bezpilotních prostředků štítky na základě jejich rizika, jejichž znalost je nezbytná pro zjištění požadavků na registraci pilotů a provozovatele dronů. Dále se kapitola věnovala pojištění dronů, které je nezbytné pro rizikovější způsoby využití dronů (například u těžších prostředků) nebo pro profesionální využití jako jsou například drony při zásahu Hasičského záchranného sboru. Nezbytnou

součástí byla i část zabývající se na vzdušný prostor a jejich omezení s následujícím zaměřením na tzv. prostor U-Space, který se plánuje do budoucna k prevenci před kolizí a ochraně strategických objektů či chráněných oblastí. Závěrem byla popsána legislativa zaměřená na využití bezpilotních letadel při mimořádných událostech, která je nezbytná pro složky krizového řízení a požární ochranu. Pochopení legislativního rámce jako celku je klíčové pro správné a bezpečné využívání bezpilotních prostředků, což tvoří důležitý základ pro jejich efektivní implementaci do krizového řízení.

3 SOUČASNÉ TRENDY BEZPILOTNÍCH SYSTÉMŮ

Za posledních několik let došlo k výraznému technologickému pokroku v oblasti bezpilotních systémů, které rozšiřují jejich využitelnost při řešení různých typů mimořádných situací. Tato kapitola se zabývá přehledem příkladů aktuálně dostupných technologií, které pomáhají při monitorování oblastí zasažených požárem či jinými přírodními katastrofami, oblasti zamořené nebezpečnými látkami či při pátrání a záchranných akcích osob.

3.1 Technologie kamer

Kamerová technologie je nezbytnou součástí většiny současných bezpilotních systémů. Neustálý rozvoj a zlepšování těchto kamerových systémů vede k získávání přesnějších a spolehlivějších informací ze snímaných míst. Tato podkapitola je zaměřena na nejvyužívanější kamery, které se využívají pro profesionální využití v krizovém řízení a požární ochraně – od nejběžnější optické kamery přes pokročilé termovizní kamery až po systémy typu LiDAR nebo multispektrální snímač.

Optická kamera (RGB kamera)

Základní optická kamera, označována také jako RGB kamera, je určená k pořizování fotografií a videa v pásmu viditelného světla. Označení RGB vychází ze tří základních barev: červená (red), zelená (green) a modrá (blue). Tato kamera zachytává barevné obrázky, podobně jako vnímají barvy lidské oko. Tento typ kamery je u dronů nejrozšířenější a využívají se především pro běžné zobrazování krajiny z výšky, jak pro rekreační účely, tak profesionální (filmový průmysl, dokumentace z ptáčích perspektivy, mapování a monitorování). [52, 53]

U většiny pokročilejších a profesionálních bezpilotních letadel se RGB kamera využívá společně s kombinovanými foto-soustavami, které spojují například běžnou kameru RGB s termovizní kamerou, kamerou s optickým zoomem nebo s laserovým dálkoměrem. [52, 53]

Termovizní kamery

Termokamera (nebo také termovize či infračervená termografická kamera) je zařízení, které umožňuje zachytit rozdíly objektů na základě infračerveného záření, které je pro lidské oko neviditelné. Toto zařízení funguje na principu detekce tepla – všechna tělesa, co mají teplotu

vyšší, než je absolutní nula ($-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$) vyzařují infračervené záření, které umí infračervené senzory zachytit a převést je do viditelného obrazu. [54, 55]

Základní princip fungování termokamery spočívá v zachycení infračerveného záření pomocí speciální optiky. Infračervené záření dopadá na detektor - nejčastěji mikrobolometrické pole s mikrobolometry (každý mikrobolometr je jeden pixel obrazu). Tyto mikrobolometry pohlcují záření a následně se ohřívají a tím se mění odpor. Tato změna se převede na elektrický signál. Elektrický signál je následně dále zpracován, upraven algoritmy a převeden na termogram (vizuální zobrazení rozložení teplot na určitém povrchu). Termogramy jsou prezentované ve specifických barvách dle tepla – teplá místa bývají většinou označené červenou, žlutou až bílou barvou, naopak chladnější oblasti bývají označovány modrou/fialovou barvou. Na trhu existuje mnoho softwarů, které slouží k detailnější analýze termogramů (umožňují například určit minimální a maximální teplotu na snímku či měření teploty v určitém bodě). [54, 55]

Mezi klíčové parametry pro termokamery patří:

- **Rozlišení senzoru** – například 640×512 pixelů, čím vyšší je rozlišení, tím detailnější a přesnější je termogram
- **Teplotní citlivost NETD (Noise Equivalent Temperature Difference)** – udává nejmenší teplotní rozdíl, který dokáže kamera rozeznat. Čím je hodnota nižší, tím je lepší detekce
- **Zorné pole (FOV)** – znázorňuje, jak širokou oblast snímá kamera. V některých případech (u dronů) se uvádí zorné pole jak pro horizontální, tak vertikální úhel
- **Přesnost měření** – většinou bývá okolo $2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- **Spektrální rozsah** – většina termokamer u dronů funguje v pásmu 8 až $14\text{ }\mu\text{m}$, u některých specializovaných typů (například pro detekci plynů) se uvádí 3 až $5\text{ }\mu\text{m}$ [54]

Termokamery, které se v současnosti používají u dronů, lze rozdělit na 2 typy – externí a integrované termokamery. **Externí termokamery** se k dronům připojují samostatně (většinou se i dokupují zvlášť dle požadovaných specifikací) pomocí gimbalu. Tento typ umožňuje flexibilní výměnu kamery (senzoru) dle potřeby a většinou disponuje pokročilejšími funkcemi a vyšší kvalitou obrazu. Většinou se externí kamery využívají k profesionálnějšímu účelům – jejich váha a cena jsou většinou výrazně vyšší než

u integrovaných kamer přímo v dronech. Příkladem tohoto typu je například zařízení řady Zenmuse (Zenmuse H20T, DJI Zenmuse XT) nebo termokamery Workswell z řady WIRIS. [54, 56, 57]



Obrázek 7 Externí termovizní kamera Workswell Wiris [58]

Druhým typem jsou **integrované termokamery**, které jsou pevnou součástí dronu již z výroby. Výhodou tohoto typu termokamer je jejich hmotnost a celková cena oproti externím kamerám. Příkladem dronů s implementovanou soustavou kamerou může být například DJI Mavic 3 Thermal nebo DJI M30T. [54, 59]



Obrázek 8 DJI Mavic 3 Thermal s integrovanou termovizní kamerou [59]

Bezpilotní letadla, které jsou vybaveny termokamerou se v posledních letech využívají stále častěji v široké škále oborů. Mezi hlavní obory patří například průmysl, zemědělství, stavebnictví, bezpečnost, záchranné operace nebo v energetice. V průmyslu se termokamery

využívají například v detekci přehřívání panelů a spojů ve fotovoltaiice. Ve stavebnictví najde své uplatnění při kontrole zateplení či zatékání do střech. Dále se drony vybavené termokamerou těší oblibě v zemědělství v době hledání zvěře při sklizních, při kontrole stavu úrody nebo při počítání zvěře. Své uplatnění si najde dokonce při ostraze objektů a pro monitorování rozsáhlých oblastí. [56, 57]

Záchranné a bezpečnostní složky oceňují schopnosti termokamer za tmy (například při pátrání osob v lese) nebo v zakouřených oblastech, kdy přes termokameru lze zachytit ohniska požáru či osoby, které na první pohled v zakouřených prostorách nelze spatřit běžným okem. Dále je hojně využívána k vizualizaci úniků neviditelných plynů, které jsou nebezpečné pro lidské zdraví a životní prostředí. [56, 57]

LiDAR

LiDAR (z anglického Light Detection and Ranging) je moderní metoda pro dálkové měření vzdáleností, které využívá laserové paprsky k přesnému zmapování okolního prostředí a následné možnosti vytvoření 3D modelu vybraného objektu či oblasti. Zařízení LiDAR vyšle laserové paprsky, které se následně odrazí od snímaného povrchu/objektu zpět a na základě doby a intenzity odrazu se vypočítá vzdálenost od bodu. Na základě získaných bodů vzniká tzv. mračno bodů – prostorová 3D rekonstrukce měřeného území, kde každý bod určuje přesnou pozici na objektu. [60, 61]

Mezi klíčové komponenty LiDAR systému patří:

- **Laserový senzor** – komponent, který generuje a vysílá laserové impulsy
- **Satelitní navigace GNSS/RTK** – slouží k přesnému (na centimetry) v reálném čase určení polohy
- **IMU jednotka** – zaznamenává pohyb a orientaci senzoru
- **RGB kamera** – některé laserové systémy obsahují i RGB kameru, která pomáhá vytvořit přehlednější snímek díky obarvení vzniklých bodů [61]

Příkladem LiDAR zařízení je LIDAR DJI Zenmuse L1, který je určený pro dron DJI M300 RTK. [62]



Obrázek 9 DJI Matrice 300 RTK s LiDAR DJI Zenmuse L1 [62]

Velkou výhodou LiDARu je jeho přesnost při mapování, a to i ve složitějších prostředích, jako v hustě zalesněných oblastech, kde běžné kamery nemohou terén zachytit. Další výhodou je možnost jeho použití v jakýchkoliv světelných podmínkách, tedy v noci nebo za špatné viditelnosti. I přes složité prostředí a špatných světelných podmínkách technologie zvládá zachytit i drobné objekty (např. tenké dráty). Na druhou stranu mezi nevýhody patří vysoké pořizovací náklady, kdy se cena pohybuje v rámci stovek až miliónů korun a nutnost specializovaného softwaru a zkušeného odborníka. [62]

Multispektrální kamera

Multispektrální kamera je zařízení, které umožňuje zachytávat obraz v několika různých pásmech světelného spektra současně – kromě běžného viditelného spektra viditelné lidským okem, dokáže multispektrální kamera zachytit i blízké, střední a termální infračervené záření nebo ultrafialové světlo. Hlavní prvky kamery jsou speciální senzory, které jsou rozděleny do pixelů reagujících na určitou vlnovou délku. Zatímco u běžných RGB kamer, která rozlišuje pouze tři kanály (červenou, zelenou a modrou), multispektrální zařízení je schopné zachytat i blízké infračervené záření (NIR), červený okraj (Red Edge), střední infračervené záření (MIR), termální infračervené záření (TIR), zelené světlo či modrá, u většiny multispektrálních kamer je k dispozici i běžné viditelné spektrum, jak tomu je u běžných kamer RGB. U některých pokročilejších systémů lze najít i další senzory, například u dronu DJI Mavic 3 M (multispectral) je implementovaný senzor slunečního záření, který se zaznamenává do obrazového souboru a umožňuje vyrovnání světelných podmínek a tím zvýšit přesnost při pozdější analýze. [63, 65]

Po dopadu světla na multispektrální senzor, každý pixel zaznamená intenzitu záření v pásmu, pro které je určen. Následně je množství světla v každém záznamu přepočteno a vyjádřeno v číselné podobě. Jelikož každý pixel zachytává jiné pásmo spektra, je vytvořeno několik obrazových vrstev (každá vrstva znázorňuje jiné spektrální pásmo), ve výsledku jsou k dispozici data, která umožňují pozorovat povrch či objekty v různých spektrálních pohledech. [63]



Obrázek 10 Dji Mavic 3 M [64]

Využití multispektrálních kamer se uplatňuje v široké škále oborů. Nejčastěji se využívá v zemědělství a ekologii pro sledování zdravotního stavu plodin, detekci chorob či efektivnímu plánování hnojení a zavlažování. V krizovém řízení a požární ochraně nacházejí multispektrální kamery své uplatnění v analýze stavu prostředí. Při požárech mohou pomoci při detekci tepelných stop a analýze již zasažených oblastí. V případě ekologických havárií (například ropné skvrny nebo kontaminace vody) lze vyhodnotit rozsah škod a sledování vývoje pohybu znečištění. Dále mohou pomáhat při mapování škody a infrastrukturu po přírodních katastrofách, jako jsou tornáda, povodně či zemětřesení. [63, 64, 65]

Podobně jako u termovizních kamer lze multispektrální kamery rozdělit na integrované kamery (například DJI Mavic 3 MultiSpectral) a externí kamery (například MicaSense Altum-PT). [65]

3.2 Senzory a další přídavné technologie

Chemické a biologické senzory (detekce plynů a chemie v ovzduší), odběr vody z dronu atd.

Detektor plynů

V průmyslu a krizových situacích se velmi často používají detektory pro úniky plynů. Tyto detektory se vyrábí i pro integraci do různých dronových platforem. Tato možnost umožňuje provádět měření úniků i v těžko přístupných nebo potenciálně rizikových lokalitách pro lidské pracovníky. [66]

Pro drony se vyrábí detektory úniků plynů na základě různých technologií. Mezi hlavní technologie patří optické plynové zobrazování (OGI – Optical Gas Imaging), které zobrazují úniky uhlovodíkových plynů (metan, propan a butan) pomocí infračervené technologie. Rozšířenou technologií je také laserová absorpční spektroskopie (TDLAS), která měří koncentraci plynů (například metan, amoniak, ethan či hydrogen flueride) analýzou absorpce laserového světla procházející oblakem plynu v reálném čase. Technologii TDLAS využívá například zařízení DJI U10, které je vhodné pro drony například DJI M200 nebo DJI M300 RTK. Výhodou TDLAS je přesnost s minimální koncentrací od 5 ppm a s maximální detekční vzdáleností až 150 metrů. Zajímavou alternativu představují elektrochemické senzory pro detekci specifických toxických nebo výbušných plynů a ultrazvukové senzory, které jsou vhodné do hlučných průmyslových oblastí. [66, 67]

Kromě podobných zařízení jako je DJI U10 se v současnosti využívá hojně i detektor plynů Sniffer 4D Mini 2. Jedná se o kompaktní zařízení, který dokáže měřit až 9 různých plynů v jeden čas. K zařízení Sniffer 4D Mini 2 byl vyvinut software s označením Sniffer 4D Mapper, který umožňuje detekované plyny analyzovat a převést do vizuální podoby (do 2D i 3D map). Díky malým rozměrům lze zařízení připevnit i na menší drony oproti DJI M300 jako je série DJI Mavic 3 Enterprise. Tento detektor plynů použili i hasiči při měření nebezpečného benzenu po železniční havárii v Hustopečích nad Bečvou ze dne 28. února 2025. [68, 69]



Obrázek 11 DJI Matrice 30T se senzorem Sniffer 4D [70]

Odběr vzorků vody z dronu

V některých situacích je potřeba kromě ovzduší kontrolovat i vodu, například při úniku nebezpečných látek do vody. Tradiční metody vyžadují přítomnost pracovníků, což může být v některých případech (v kontaminovaných oblastech) nebezpečné. S vývojem dronů se vyvíjejí i dronové technologie a příslušenství, které pomáhají zefektivnit práci v různých oborech a minimalizovat nebezpečná rizika pro pracovníky. Inovativním řešením pro odběr vzorků vody je systém Speedip Smart Water Sampling System, který byl vyvinut jako příslušenství k dronům s možností odběru vzorků vody z různých hloubek. [71, 72]

Při správném nastavení lze proces odběru vody zautomatizovat a naplánovat trasy před samotným letem (například v aplikaci DJI Pilot pomocí funkce Waypoint), to umožňuje pracovníkům zaznamenat přesné místo, kde byly vzorky odebrány. Zařízení Speedip Smart Water Sampling System je vybaven několika funkcemi, které zajišťují vysokou přesnost, spolehlivost i bezpečnost. Toto zařízení disponuje vestavěným radarem pro detekci hladiny vody a hloubku odběru, širokoúhlou kamerou s dobrou viditelností i v horších světelných podmínkách nebo navijákem lana, který je schopen rozpoznat defekty lana (například zachycení či zamotání lana do větví stromů) s možností odříznutí tohoto lana. [71, 72]

Odběr vzorků vody z dronu si najde uplatnění například při kontrole znečištění vodních toků po haváriích – ropných skvrn na moři, únik nebezpečných chemikálií do řek. [72]



Obrázek 12 Zařízení Smart Water Sampling pro odběr vzorků vody [73]

Měření větru

Dalším příslušenstvím k dronu, které mohou pomoci v krizovém řízení, ale i ostatních odvětvích je zařízení pro měření větru jako je například Sniffer 4D Ultrasonic Wind Speed & Direction Sensing Module. Tato technologie umožňuje monitorovat několik meteorologických parametrů v reálném čase – směr a rychlost větru, teplota, vlhkost a atmosférický tlak. Modul funguje na principu ultrazvukových vln, který zaznamenává šíření a odchylky v proudění vzduchu. [74]

Stejně jako u senzoru detekce plynů Sniffer 4D Mini 2, lze využít software Sniffer4D Mapper, který data o aktuálním stavu atmosféry přehledně zobrazí na mapě. [74]

Toto zařízení lze využít například k předvídání šíření ohně, směr šíření toxických plynů nebo při plánování lokalizace větrných elektráren. [74]

Měření radiace

Kromě měření nebezpečných látek a větru nabízí společnost Soarability i nástroj pro měření radioaktivního záření pod názvem Sniffer4D Nuclear Radiation Sensing, který umožňuje bezpečné měření na rozsáhlých místech jako jsou jaderné elektrárny či průmyslové zóny. Detekční metoda je založena na Geiger-Müllerově počítadlu. [75]

Společně s ostatními zařízeními a softwarem Sniffer4D Mapper poskytuje detailní informace zaznamenaném okolí v 3D rozlišení. [75]



Obrázek 13 Zařízení Sniffer4D Nuclear Radiation Sensing pro měření radiace [75]

Ostatní zařízení

Kromě výše zmíněných zařízení se na trhu nachází nespočet dalších zařízení, které lze využívat v kombinaci s bezpilotními letadly. Mezi dalšími technologiemi jsou například půdní radary (GPR), které skenují podzemní vrstvy a jejich využití se nachází ve stavebnictví, archeologii, geologických průzkumů, ale své uplatnění by si našly také například při hledání osob zasypaných lavinou. Pro archeologii, kartografii nebo při průzkumu nerostných surovin se také používají magnetometry, které jsou také vhodné na hledání nevybuchlé munice. [76]



Obrázek 14 Půdní radar [76]

3.3 Autonomní řízení a umělá inteligence v dronech

Autonomní řízení označuje, že zařízení je schopné provádět samostatné činnosti bez nutnosti zásahů operátora. Schopnost samostatné činnosti je umožněno především díky umělé inteligenci (AI), strojovému učení, sofistikovaným algoritmům a senzorům, které pomáhají autonomním technologiím orientovat se v prostředí a reagovat na případné změny v daný okamžik. [77]

Míru autonomie lze rozdělit do několika úrovní od 0 do 5, podle toho, jak dron dokáže plnit úkoly sám:

- **Úroveň 0:** pilot má nad dronem plnou kontrolu, veškeré operace musí dělat manuálně.
- **Úroveň 1:** dron má technologie pro asistování letu, jako jsou například navigace, udržení výšky a pozice.
- **Úroveň 2:** pilot dronu má stále kontrolu nad dronem, nicméně dron je schopen převzít kontrolu v případě problémů (například automatické přistání, detekce překážky) nebo samostatný let na základě předpřipraveného plánu, který pilot před letem naplánuje. Tato úroveň se velmi často nachází i u dronů pro rekreační použití a příkladem může být funkce sledování objektu.
- **Úroveň 3:** umožňuje oproti úrovni 2 autonomní navigaci, nicméně stále je nutnost přítomnosti pilota.
- **Úroveň 4:** jedná se o vysokou úroveň autonomie a dron zvládá ve většině případů sám provádět bez nutnosti pilota.
- **Úroveň 5:** nejvyšší možná úroveň, kdy drony dokáže sám vzlétnout, provést potřebné úkoly a sám přistát na požadované místo bez nutnosti asistence operátorem. [78]

Autonomní navigaci dronů můžeme rozdělit do tří částí. První oblastí je povědomí, která dává schopnost dronů vyhodnocovat okolních prostředků na základě senzorů, jenž je dron vybavený. Druhou skupinou je základní navigace, kdy bezpilotní letadlo zvládne řídit sám let (například při ztrátě signálu mezi ovladačem a dronem, dron se automaticky vrátí díky funkci RTH – return to home nad místo, kde vzlétal a automaticky přistane) případně se automaticky vyhýbat překážkám. Poslední třídou je rozšířená navigace, kdy zařízení je

schopné samo naplánovat nejefektivnější trasu na základě trojrozměrného naskenování prostoru. [78]

V současné době se na trhu prodávají bezpilotní letadla především s částečným autonomním řízením, nicméně již začínají být rozšířenější i zařízení, která umožňují autonomní provoz dronů. Příkladem takového zařízení je DJI Dock 2, který slouží jako autonomní dokovací stanice pro DJI drony jako jsou DJI Matrice 3D nebo 3TD (u autonomní dokovací stanice DJI Dock 3 se využívají drony DJI Matrice 4 D nebo Matrice 4 TD). Výhodou dokovací DJI Dock 2 je robustní konstrukce, které umožňuje provoz 24 hodin denně, 7 dní v týdnu, a to i v nepříznivých podmínkách (od -35 °C do 50 °C). Nevýhodou využívání je nutnost připojení k síti a internetu a legislativní nároky, které jsou kvůli autonomnímu řízení náročnější na získání povolení. [79, 80, 81]



Obrázek 15 Autonomní dokovací stanice DJI Dock [3]

Autonomní drony a jejich autonomní dokovací stanice nacházejí velké uplatnění především v objektech, kde je zapotřebí provádět pravidelné monitorování případně inspekce daného prostředí bez zásahu člověkem. Příkladem je průmyslová inspekce (kontroly elektrického vedení, potrubí, fotovoltaických elektráren a dalších kritických infrastruktur), ostraha a zabezpečení areálů (autonomní hlídky a jejich detekce v případě podezřelých událostí), zemědělství, stavebnictví, krizové řízení a mimořádné události. [77]

Důležitou roli u moderních autonomních bezpilotních letadel hraje umělá inteligence (AI), která umožňuje pokročilé možnosti využití těchto dronů. Mezi funkce, díky umělé inteligenci, se řadí pokročilá navigace, vyhýbání se překážkám, analýza získaných obrazových dat a analyzovat prostředí. [77, 82, 83]

Příkladem dronu vybavený pokročilejšími funkcemi umělé inteligence je například série DJI Matrice 4, které mimo již zmíněné funkce podporuje i automatickou detekci osob, zvířat a jiných objektů jako jsou auta. Tato funkce je užitečná zejména pro pátrání a záchranné akce, sledování vozidla, případně kontrolu počtu osob v daném objektu. Dron zvládne sám nastavit tempomat a sledovat daný objekt i v případě, kdy objekt je nějakou dobu mimo záběr kamery. Do systémů DJI lze následně přidávat další detekční algoritmy – detekce kouře, typu vozidla, prasklin či detekce pro kontrolu dodržování pravidel (zaparkovaná vozidla, dodržování nošení helem na stavbě atd.) [82, 83, 84]



Obrázek 16 Algoritmus pro detekování aut [84]

V kombinaci autonomních dronů s umělou inteligencí a jejich dokovacích stanic jsou nezbytné softwary, které umožňují řídit celý systém autonomního provozu – fungují jako „mozek“ celého autonomního řešení. Tyto softwary podporují například plánování letů, sledování provozu jednotlivých zařízení, koordinovat provoz na dálku, ale také analyzovat nasbíraná data. [85]

Firma DJI pro svoje dokovací stanice nabízí software DJI FlightHub 2, který je založený na cloudovém řešení s cílem poskytování spravování veškerých operací v reálném čase na cloudu. Mezi hlavní funkce patří například sledování aktuálního dění v terénu, plánování tras, sdílení dat mezi členy týmu nebo integrace s mapovými podklady. I přesto, že se jedná o poměrně univerzální nástroj, není vhodný pro všechny typy aplikací (oblasti s vysokými bezpečnostními požadavky). [85]

Na základě nedostatků pro využití softwaru DJI FlightHub 2 v objektech s vysokými bezpečnostními požadavky, vyvinula česká firma Droneguard software pro správu

dronových stanic s využitím v těchto oblastech jako jsou elektrárny či letiště. Výhodou Droneguard je možnost kromě cloudového řešení také zajištění plné kontroly nad daty a provozem na serverech provozovatele dronů (společnosti) a umožnění pracovat s autonomními bezpilotními prostředky pouze se základním pilotním oprávněním A1/A2. Podobně jako u DJI FlightHub 2 lze v systému nastavit trasy, plánovat hlídky, sledovat živý přenos z kamer nebo spravovat uložená data. Mimo jiné software podporuje živé přenosy obrazů přes protokoly WebRTC a WHIP, a lze jej integrovat do externích platforem typu ATC (řízení letového provozu), A8V nebo C4 systémy, které jsou běžně využívány pro centrální správu bezpečnosti a krizového řízení. [86, 87]

Tato kapitola poskytla přehled o využívaných technologiích, které se používají v oblasti bezpilotních prostředků pro usnadnění řešení krizových situací. Byly zde popsány různé druhy kamerových systémů – od klasických RGB kamer, přes termovizní systémy umožňující rozlišení teplých a studených částí v prostředí, až po sofistikované technologie typu LiDAR nebo multispektrální kamery. V další části třetí kapitoly byla věnována specializovaným senzorům, které umožňují například měření nebezpečných látek v ovzduší či měření radiace. V závěru kapitoly byly představeny pokročilé možnosti autonomního řízení a implementace umělé inteligence, které zlepšují schopnosti dronů a jejich nasazení na automatické provádění akcí.

4 TYPY KRIZOVÝCH SITUACÍ S MOŽNOSTÍ VYUŽITÍ DRONŮ

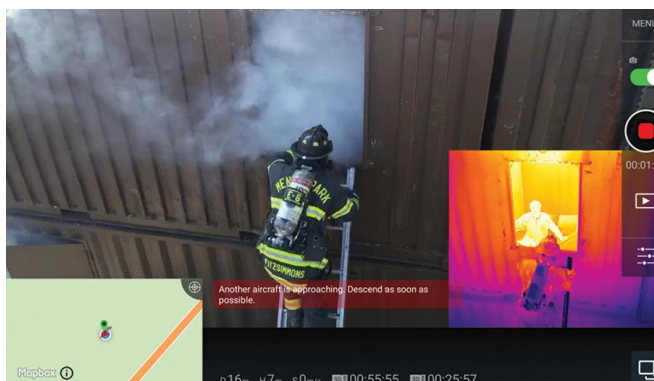
Efektivní zvládnání krizových situací vyžaduje rychlé, přesné a spolehlivé informace z místa zásahu, které však často nelze získat tradičními metodami. K řešení těchto krizových situací pomáhají čím dál častěji bezpilotní letadla, protože přispívají k lepšímu nadhledu z výšky či je lze provozovat v těžko přístupných a pro člověka nebezpečných oblastech. Díky moderním technologiím, kterým drony disponují, lze usnadnit rozhodování nebo zabránit další eskalace krizové situace. V této kapitole jsou uvedeny příklady krizových situací, kde drony nacházejí svoje uplatnění.

4.1 Požáry a monitorování požářišť

Drony se staly užitečným nástrojem při požárech a jejich monitorování převážně při řešení rozsáhlejších požárů jako jsou lesní požáry. Využití technologií spojených s dronem přináší rychlý sběr informací, které jsou zásadní pro následující efektivní zásah. V počáteční fázi požáru lze rychle zmapovat zasaženou oblast a předat data přímo veliteli, který následně může na základě získaných dat rozhodovat o nasazení sil a prostředků do konkrétních oblastí. Dále během provádění hasičských prací drony slouží k monitorování vývoje požáru a případné ochraně zasahujících jednotek před rizikovými místy a tím předejít možnému uvěznění hasičů. [88, 89]

Nezbytnou součástí vybavení u dronů při monitorování požárů je termovizní kamera, která umožňuje efektivně určit horké a studené oblasti a detekovat skrytá ohniska požáru, která nejsou na první pohled viditelná. Další výhodou termovizních kamer je kontrola osob (členů hasičského záchranného sboru) i přes hustý kouř, přes který běžně nejde vidět.

Dále se drony mohou využít pro 3D mapování poškozené oblasti k zajištění podkladů pro hodnocení vzniklých škod a plánování následné obnovy zasaženého území. [88, 89]



Obrázek 17 Viditelnost osob v kouři [88]

4.2 Pátrací a záchranné operace

Při pátracích a záchranných operacích (SAR – Search and Rescue) se bezpilotní letouny využívají čím dál častěji, protože přinášejí řadu výhod, které zlepšují efektivitu operací. Využití dronů při pátracích a záchranných akcích umožňuje záchranářům dostat se i do míst, které jsou těžko přístupné nebo velmi rizikové jako jsou horské a lesní terény, oblasti po sesuvu půdy nebo zničené budovy. Nasazení těchto prostředků do nebezpečných oblastí snižuje ohrožení samotných záchranářů, ale také urychlení reakční doby zásahů a případně snížení nákladů na danou operaci (bez nutnosti využívání delší doby záchranných vrtulníků, kdy jejich provoz je výrazně nákladnější než provoz dronů). [90, 91]

Pro SAR operace se využívají různé druhy dronů. Mezi nejčastější jsou multirotorové modely, které jsou vhodné především pro náročný terén a méně rozsáhlé oblasti. Naopak pro mapování rozsáhlého území jsou vhodnější drony s pevným křídlem, případně hybridní konstrukce, které kombinují výhody obou předchozích druhů bezpilotních prostředků. [90, 92]

Pro efektivní sběr dat se využívá široká škála senzorů – od běžných RGB kamer přes termovizní kamery až po ultrazvukové senzory. Tato data jsou po sběru zpracovávána pomocí specializovaných softwarů, které mohou vytvářet 3D modely, mapovat poškození terénu či dokonce automaticky detekovat osoby například na základě výsledků termovizních senzorů. [91]

4.3 Chemické, biologické, radiologické a nukleární (CBRN) hrozby

Chemické, biologické, radiologické a nukleární hrozby, označované pod zkratkou CBRN, představují závažné riziko pro lidské zdraví a životní prostředí. CBRN hrozby mohou vzniknout nejen z důsledku úmyslného šíření nebezpečných látek, ale také při nehodách jako jsou průmyslové havárie nebo při přepravě nebezpečných materiálů (například po železniční havárii v Hustopečích nad Bečvou ze dne 28. února 2025). [93]

Výhodou využití bezpilotních prostředků v těchto situacích je schopnost odebrat vzorky úniku nebezpečných látek i v místech, kde se za běžných situací nelze dostat nebo by to bylo pro lidské zdraví příliš nebezpečné. Dron umožňuje pomocí přídavných senzorů odebrání vzorků na několika místech během jednoho letu a vytvořit mapu s daty o hustotě na konkrétních místech a šíření nebezpečných látek. [93]

Pro odběr a detekci nebezpečných látek při CBRN incidentech je zapotřebí použít speciální senzory, které většinou bývají přidávány k bezpilotním prostředkům jako externí zařízení. [93]

4.4 Povodně a přírodní katastrofy

Kromě požárů, nacházejí drony uplatnění také v ostatních přírodních katastrofách jako jsou povodně, následky tornáda, zemětřesení a dalších katastrofách. V těchto oblastech bezpilotní systémy nabízejí rychlé, flexibilní a bezpečné řešení v terénech, které jsou jinak obtížně dostupné. [94]

V rámci povodní lze díky moderním sensorům a pokročilým algoritmům identifikovat rozsah záplav, sledovat škody, monitorovat hladinu vody, odhadovat hloubku zaplavení nebo analyzovat hranice zaplavených oblastí. Postižené oblasti lze následně zpracovat do 3D modelů nebo ortofoto map, které následně mohou být využity při dalším studiu dlouhodobých jevů – morfologické změny řek, sedimentární procesy nebo chování sutin v tocích. Tyto vytvořené mapy následně slouží k zamezení případných dalších škod či zmírnění dopadů při budoucích povodních nebo jiných přírodních katastrof. [94]

Příkladem nasazení dronů Hasičským záchranným sborem ČR při povodních bylo v září 2024 v Ústeckém kraji a na severní Moravě, kde byly drony využity pro vyhledávání, záchranu osob a poskytování podpory velitelům zásahu a krizovým štábům. Následně byly využity i pro tvorbu ortofoto mapy pro práci při obnově (např. inženýrských sítí). [95]

4.5 Ochrana kritické infrastruktury

V současné době se začínají využívat drony i pro ochranu kritické infrastruktury, která zahrnuje například elektrárny, rozvodné sítě, plynovody, ropovody, dopravní uzly, vodárenské objekty nebo datová centra. Bepilotní letadla zvládají nejenom sledovat střežený perimetr a detekovat případné hrozby, ale také monitorovat stav technologií (například elektrické vedení nebo plynovody). [86, 96]

Významnou roli hraje také autonomní provoz společně s autonomní dobíjecí stanicí (například DJI Dock 3), kdy ochrana kritické infrastruktury je zajištěna pomocí dronů, které létají na základě již přednastavených tras, dokážou vyhýbat se překážkám a monitorovat okolí bez nutnosti lidského zásahu. Pro kontrolu technologií kritické infrastruktury jsou využívané senzory jako termovizní kamery, které mohou sloužit ke kontrole zahřívání (rozvodných sítí nebo solárních panelů). [86, 96]

V poslední kapitole teoretické části byly rozebrány konkrétní typy krizových situací, ve kterých je možné využívat bezpilotní prostředky pro jejich efektivnější řešení. Svoje uplatnění si drony nacházejí díky pokročilým technologiím, jako jsou například termovizní kamery, při požárech a detekci osob, které běžnou kamerou nelze spatřit. Velkou výhodou je možnost vyslat drony do oblastí pro získávání informací v oblastech, které by mohly být pro členy záchranných sborů nebezpečné – například oblasti, které jsou zasaženy nebezpečnými chemikáliemi. Další výhodou je snížení nákladů například při pátrání po ztracených osobách, kdy se dříve využívaly helikoptéry s piloty.

ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část této diplomové práce byla zaměřena na vytvoření uceleného přehledu základních pojmů, legislativních požadavků a současných technologických možností v oblasti krizového řízení a požární ochrany. Na začátku teoretické části byly rozebrány klíčové pojmy spojené s krizovým řízením a požární ochranou. Následovala kapitola zaměřená na právní rámec provozu bezpilotních prostředků vycházející z nové (od roku 2020) evropské legislativy, která přinesla jednotná pravidla pro provoz dronů na území členských států EU.

Třetí kapitola vedla k mapování současných technologií, využitelné ve spojení s drony pro lepší zvládání krizových situací. Byly zde popsána zařízení jako termovizní kamery, multispektrální senzory, technologie LiDAR, detektory plynů, radiační senzory či zařízení na odběr vzorků vody.

Kromě samotných technologií byly v teoretické části popsány také krizové situace, při kterých lze nasadit drony a moderní technologie k efektivnějším zásahům (požáry, pátrací a záchranné akce, přírodní katastrofy či chemické a biologické hrozby).

Teoretická část ukazuje rostoucí potenciál bezpilotních systémů a modernizaci technologií spojených s oblastí krizového řízení a požární ochrany. S rostoucím využitím dronů je však také nutné sledovat legislativní rámec a etické otázky související s provozem, zejména v otázkách bezpečnosti a ochrany soukromí. Tyto poznatky tvoří základ pro navazující praktickou část diplomové práce se zaměřením na technické srovnání vybraných dronů a jejich využití v mimořádných událostech.

II PRAKTICKÁ ČÁST

5 KOMPARAČNÍ ANALÝZA VYBRANÝCH DRONŮ

Při výběru vhodných bezpilotních prostředků pro potřeby krizového řízení a požární ochrany je klíčové zohlednit také typ mimořádné události. Různé typy mimořádných událostí mohou mít jiné požadavky na technické parametry dronů a jejich senzory (například některé typy potřebují větší nosnost pro přídavné zařízení). Jiné požadavky mají drony využívané v případě rozsáhlého požáru, jinými při pátrání po pohřešované osobě nebo při monitorování oblastí zasažené povodní.

V této části budou srovnávány drony, která mají co nejširší využití (disponují více senzory) a jsou v současnosti dostupné na českém trhu. Bude se jednat především o kamery s termovizí, protože nabízí široké možnosti využití (sledování požáru či pátrání po ztracených osobách)

5.1 Popis vybraných dronů

Cílem první části praktické části je získání informací k jednotlivým modelům bezpilotních letadel a kamerových soustav. Na základě získaných informací (parametrů) budou provedeny analýzy pomocí srovnávacích tabulek dronů, externích a interních senzorových modulů. Toto porovnávání se zaměřuje především na technické a provozní charakteristiky, které mají význam při praktickém nasazení dronů v mimořádných situacích.

V rámci první části praktické části diplomové práce budou vybrány konkrétní typy dronů značky DJI, které budou následně detailněji specifikovány a vzájemně porovnány. Cílem této kapitoly bude zaměřit se na bezpilotní letadla, která jsou vhodná k využití v České republice pro nasazení do krizového řízení nebo požární ochrany (disponují například technologiemi jako je termovizní kamera) a zároveň jsou běžně dostupná na českém trhu. Vybrané drony nabízí různá technická řešení – od kompaktních, lehkých dronů až po těžké drony, které jsou schopné s sebou nést přídavná zařízení jako je například detektor plynů Sniffer 4D Mini 2 (zařízení označována také jako „užitečné zařízení“).

Do tohoto výběru nebyly zařazeny drony jiných značek než DJI, jako je například dron Autel EVO II Dual 640T V2 nebo Flyability Elios 3, které jsou dle specifikací také vhodné pro nasazení do krizového řízení a již se i testují pro využití v krizových situacích v ČR. I přesto, že tyto modely jsou zajímavé alternativy značky DJI a přinášejí i další výhody, jejich rozšíření není zatím tak velké. Bepilotní letadla DJI jsou naopak dlouhodobě rozšířené a dominují trhu nejen ve světě, ale i v České republice. Kromě široké nabídky

dronů, senzorových modulů a kompatibilita užitečných zařízení jiných výrobců je klíčovým faktorem i rozsáhlá podpora servisní a školicí infrastruktura, dostupnost náhradních dílů a vývoj různých softwarových nástrojů třetích stran zaměřené na kompatibilitu s DJI (například software DronGuard). [98]

DJI Matrice 30T

DJI Matrice 30T je dron řady Matrice 30, kdy písmeno T značí, že dron disponuje integrovanou termovizní kamerou. Tento model je odolný vůči nepříznivým podmínkám a je vhodný především pro krizové zásahy, požární dohled nebo pátrací a záchranné akce.

Dron je odolný proti vodě a prachu dle normy IP55 a provozuschopný v teplotách od - 20 °C do +50 °C. Dle výrobce je maximální doba letu 41 minut (v ideálních podmínkách) a odolnost proti větru do 15 m/s. Hmotnost dronu je 3 770 gramů a maximální vzletová hmotnost je stanovena na 4 000 gramy. [100]

Hlavní vlastnosti dronu:

- **Letové parametry:** až 23 m/s horizontální rychlostí s dostupností až 7 000 m n. m. a maximálním dosahem 8 km.
- **Senzorová výbava:**
 - Širokoúhlá kamera s rozlišením 12 MP a záběrem 84°.
 - Zoom kamera s rozlišením 48 MP, 5× až 16× optický zoom, až 200× hybridní zoom, rozlišením fotografie 8K a rozlišení videa 4K/30 fps.
 - Termovizní kamera s rozlišením 640×512 s přesností ± 2 °C.
 - Laserový dálkoměr s rozsahem až 1 200m.
- **Bezpečnostní prvky:** dron je vybavený senzory proti překážkám ze všech stran a kamera umožňuje viditelnost i při nočních letech.
- **Ovládání a přenos:** dron je ovládaný prostřednictvím ovládače DJI RC Plus s integrovaným dotykovým ovladačem. Vestavěné antény podporují systém OcuSync 4 Enterprise pro tříkanálový přenos videa ve složitějším prostředí s možností rozšíření o 4G modul. [100]

Systém pracuje se softwarem DJI Pilot 2, který disponuje pokročilými funkcemi (plánování misí, navigační displej, body, předletový kontrolní seznam atd.). Výhodou tohoto bezpilotního letadla je možnost propojení s autonomní dokovací stanicí DJI Dock. [100]

Cena kompletního setu DJI Matrice 30T včetně dvou akumulátorů, nabíjecí stanice, ovladače DJI RC Plus a pojištění DJI Care Basic se pohybuje kolem 240 000 Kč. [100]



Obrázek 18 DJI Matrice 30T [100]

DJI Matrice 350 RTK

DJI Matrice 350 RTK je moderní bezpilotní letadlo určené pro náročné úkoly v terénu. Díky robustní konstrukci, odolnosti vůči nepřízní počasí a širokým možnostem připojení užitečných technologií je vhodný pro inspekci, mapování, záchranné operace i bezpečnostní složky. [101]

Dron je odolný proti vodě a prachu dle normy IP55 a provozuschopný v teplotách od - 20 °C do +50 °C. Maximální doba letu v ideálních podmínkách činí až 55 minut a odolnost vůči větru je 12 m/s. Hmotnost dronu je 6 470 gramů, přičemž maximální vzletová hmotnost je stanovena na 9 200 gramů (při integraci kamer, senzorů či jiných zařízení). [101]

Hlavní vlastnosti dronu:

- Letové parametry: maximální horizontální rychlost je 83 km/h (cca 23 m/s) s dostupností 7 000 metrů nad mořem a přenosným signálem do vzdálenosti až 8 km v rámci CE normy.
- **Senzorová výbava a bezpečnostní prvky:**
 - Šestisměrné senzory proti překážkám
 - Radar CSM s dosahem až 30 m pro detekci malých překážek
 - FPV kamera pro orientaci v terénu včetně v noci (night vision)

- **Ovládání a přenos:** ovládání je zajištěno prostřednictvím ovládače DJI RC Plus s integrovaným dotykovým ovladačem. Vestavěné antény spolupracují se systémem DJI O3 s podporou 3kanálového přenosu videa s možností rozšíření o 4G modul. [101]

Tento dron není vybavený integrovanou kamerovou soustavou, ale musí se v tomto případě využívat externí kamerové soustavy, na základě plánovaného využití. DJI Matrice 350 RTK podporuje například: hybridní kamery H20, Zenmuse H20N, Zenmuse P1, LiDAR L1, případně další kamery a senzory třetích stran (například od společnosti WorksWell). [101]

DJI Matrice 350 RTK funguje s aplikací DJI Pilot 2 s možností napojení na systém DJI FlightHub 2 pro cloudové řízení operací, nicméně bez možnosti využití autonomní stanice řady DJI Dock. [101]

Cena tohoto modelu s příslušenstvím (dvojicí baterií, ovladačem, přepravním kufrem, nabíjecí stanicí atd.) a pojištěním DJI Care Enterprise Basic na 1 roky se pohybuje kolem 290 000 Kč. [101]



Obrázek 19 DJI Matrice 350 RTK [101]

DJI Matrice 300 RTK

Dron DJI Matrice 300 RTK je předchůdcem modelu 350 RTK řady Matrice, který je však stále hojně využíván. Stejně jako DJI Matrice 350 RTK je využíván pro profesionální využití

jako je průmyslové nasazení, inspekce, záchranné mise, bezpečnostní operace a letecké mapování.

Jelikož se jedná o starší model, jeho odolnost proti dešti a prachu je nižší oproti ostatním (splňuje normu IP45). Pracovní teplota se pohybuje od - 20 °C do +50 °C a je schopné odolat větru rychlostí 15 m/s. Výdrž dronu bez zátěže v ideálních podmínkách je 55 minut. Hmotnost bezpilotního prostředku včetně baterií je 6 300 gramu a maximální vzletová hmotnost dosahuje 9 000 gramy. [102, 103]

Hlavní vlastnosti dronu:

- **Letové parametry:** maximální rychlost letu je 83 km/h (23 m/s) do nadmořské výšky 7 000 metrů s dosahem přenosu 8 km
- **Senzorová výbava a bezpečnostní prvky:**
 - Detekce překážek ve všech směrech pomocí senzorů ToF (na 40 metrů)
 - Možnost doplnění CSM radaru
 - FPV kamera
- **Ovládání a přenos:** ovládání je zajištěno pomocí ovladače DJI Smart Controller Enterprise s displejem. Přenos je prostřednictvím systému OcuSync Enterprise s podporou přenosů více kanálů současně. [102, 103]

Stejně jako dron DJI Matrice 350 RTK není ani tento dron vybavený integrovanou kamerovou soustavou, ale musí se také využívat externí kamerové soustavy, na základě plánovaného využití. DJI Matrice 300 RTK podporuje například: hybridní kamery H20, Zenmuse H20T, Zenmuse XT S, Zenmuse XT2, Zenmuse Z30, případně další kamery a senzory třetích stran (například od společnosti WorksWell). [102, 103]

Dron je kompatibilní se starší aplikací DJI Pilot, která umožňuje například chytré sledování, plánování misí, využívat inteligentní režimy či spravovat připojené zařízení. [102, 103]

V současné době lze tento dron pořídit kolem 280 000 Kč, což je výrazně nižší cena, než bylo v září roku 2020, kdy na základě recenze (z eshopu dronpro.cz) byla pořizovací cena kolem 600 000 Kč. Nicméně se tento model přestává fungovat kvůli novějším a pokročilejším dronům s podobnou cenou. [103, 104]



Obrázek 20 DJI Matrice 300 RTK [102]

DJI Matrice 4T

DJI Matrice 4T je model nové generace bezpilotních prostředků řady Matrice 4, který je navržený pro profesionální nasazení v oblasti veřejné bezpečnosti, záchranných operací, požární prevenci a inspekci kritické infrastruktury. V této řadě jsou dostupné dva modely Matrice 4E a model Matrice 4T. Dron Matrice 4T je oproti druhému modelu vybaven termokamerou a dalšími senzory pro pokročilou práci. [105, 106]

Tento model kombinuje vydán v roce 2025 a pokročilou automatizaci s funkcemi založenými na umělé inteligenci, která umožňuje sledování objektů, detekci anomálií a přesná měření v reálném čase. [105, 106]

Dron je provozuschopný v tepelném rozsahu od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, přičemž udávaná maximální doba letu je 49 minut (se standardními vrtulemi). Odolnost vůči větru je 12 m/s. Hmotnost dronu při standardní výbavě činí 1219 gramů a maximální vzletová hmotnost je stanovena na 1420 gramů (maximální užitečné zatížení ve formě senzorů a jiných přídatných technologií může být 200 gramů). [105, 106]

Hlavní vlastnosti dronu:

- **Letové parametry:** maximální horizontální rychlost je 21 m/s, maximální nadmořská výška činí 6 000 metrů (s užitečným zařízením do 4 000 metrů) a maximální přenosový dosah činí 12 km.
- **Bezpečnostní a navigační systémy:**
 - Pětisměrný systém binokulárního vidění doplněný o 3D infračervený senzor pro lepší viditelnost při zajišťování ochrany před překážkami.
 - Podpora systému GNSS+Vision Fusion
 - Inteligentní navádění pro automatizované plánování trasy
- **Senzorová výbava:**
 - Širokoúhlá kamera 48 MP, CMOS 1/1,3“, úhel záběru 82°, clona f/1,7
 - Střední telekamera: 48 MP, CMOS 1/1,3“, ekvivalentní ohnisková vzdálenost 70 mm, clona f/2,8
 - Telekamera: 48 MP, CMOS 1/1,5“, ekvivalentní ohnisková vzdálenost 168 mm, hybridní zoom až 112×
 - Infračervená termokamera: rozlišení 640 × 512 (až 1280 × 1024 při zapnutém superrozlišení), rozsah měření -20 až 550° podle režimu s přesností ± 2% nebo ± 2°, clona f/1,0.
 - Laserový dálkoměr: měřicí rozsah až 1 800 m
- **Noční režim:**
 - Režim Full-Color Night vision
 - NIR pomocné světlo s dosahem až 100 m
- **Ovládání a přenos:** ovládání zajišťuje ovladač DJI RC Plus 3 Enterprise s displejem o vysokém jasu 1 400 nitů a krytím IP54. Dron využívá přenosový systém O4 Enterprise, který zajišťuje stabilitu a dosah přenosu i v náročných podmínkách. [105, 106]

Dron DJI Matrice 4T je ovládaný primárně přes aplikaci DJI Pilot 2, kde lze plánovat mise, sledovat objekty, ovládat gimbal a používat funkce umělé inteligence. Pro pokročilejší využití lze použít aplikaci DJI FlightHub 2 (pro vzdálený provoz, operaci užitečného

zařízení, případně sledovat několik obrazů zároveň). Pro následné zpracování získaných dat jsou k dispozici aplikace DJI Terra, DJI Modify nebo DTAT 3.0. [105, 106]

V současné době se dron DJI Matrice 4T prodává včetně pojištění DJI Care Enterprise Plus na 1 rok kolem 174 000 Kč (model DJI Matrice 3E kolem 116 000 Kč). Pro využití s autonomní dokovací stanicí je nutné zvolit model s označením DJI Matrice 4TD, který je tvarovaný a přizpůsobený pro stanici DJI Dock 3 (cena tohoto modelu se pohybuje okolo 179 000 Kč). [105, 107]



Obrázek 21 DJI Matrice 4T [105]

DJI Mavic 3T

DJI Mavic 3T je kompaktní profesionální bezpilotní letadlo ze série Mavic 3, navržené pro rychlé nasazení v terénu a určeném především pro bezpečnostní a záchranné akce či v průmyslu. V této řadě se kromě modelu DJI Mavic 3T nabízí také model Mavic 3E, který však není vybavený integrovanou termokamerou. [108, 109]

Ve standardní výbavě váží dron 920 gramů, přičemž maximální vzletová hmotnost činí 1 050 gramů. Doba letu dosahuje až 45 minut a rozsah provozní teploty je od -10° do 40°C.

Hlavní vlastnosti dronů:

- **Letové parametry:** výdrž letu až 45 minut, maximální vzdálenost činí 8 km (CE), maximální nadmořská výška je 6 000 metrů. Dron zvládne maximální rychlost až 21 m/s a odolat větru o rychlosti do 12 m/s.
- **Senzorová výbava:**

- Širokoúhlá kamera: 48 MP, CMOS 1/2", úhel záběru 84°, clona f/2.8
 - Zoom kamera: 12 MP, CMOS 1/2", úhel záběru 15°, ekvivalentní ohnisková vzdálenost 162 mm, digitální zoom 8× a hybridní zoom až 56×
 - Infráčervená termokamera: rozlišení 640×512, rozsah měření -20 až 500° podle režimu s přesností $\pm 2\%$ nebo $\pm 2^\circ$, clona f/1,0. S možností souběžně zobrazovat optický i termální výstup s 28× přiblížením [108, 109]
- **Ovládání a přenos:** ovládání zajišťuje ovladač DJI RC Pro Enterprise s vestavěným displejem. Přenosový systém u tohoto dronu je DJI O3 Enterprise s podporou přenosu přes 4G. [108, 109]

Dron lze provozovat především s oficiální aplikací DJI Pilot 2 s podporou plánování misí a inteligentních režimů. U složitějších operací je dron kompatibilní s aplikací DJI FlightHub 2. K dispozici jsou i aplikace pro následné zpracování a analýzu získaných dat s názvem DJI Terra a DJI Thermal Analysis Tool 3.0. [108, 109]

V současnosti se dron DJI Mavic 3T s pojištěním na 1 rok nabízí za cenu kolem 138 000Kč. [109]



Obrázek 22 DJI Mavic 3T [108]

DJI Matrice 3TD

DJI Matrice 3TD je dron série matrice 3, která kromě tohoto modelu nabízí ještě model DJI Matrice 3D bez infračervené termokamery. Tato série nese označení písmenem „D“ jenž znázorňuje, že dron se využívá v kombinaci s dokovací autonomní stanicí DJI Dock 2. Tento dron je díky svému vybavení a možnostem autonomního provozu bez lidského zásahu vhodný zejména ve stavebnictví, průmyslu, kritické infrastruktury, ale také pro bezpečnostní složky. [110]

Dron je odolný vůči prachu a vodě dle normy IP54 a dle výrobce je provozní teplota v rozsahu od -20 °C do +45 °C. Maximální výdrž za ideálních podmínek je 50 minut a odolnost proti větru dosahujícího 12 m/s. Hmotnost modelu v základním vybavení je 1 410 gramů, přičemž maximální vzletová hmotnost je stanovena o 200 gramů více – tedy na 1 610 gramů. [110]

Hlavní vlastnosti dronu:

- **Letové parametry:** maximální rychlost až 75 km/h, maximální nadmořský výška je 4 000 m s provozním dosahem 8 km.
- **Kamerová a senzorová výbava:**
 - Širokoúhlá kamera: CMOS snímač 1/1,32“, rozlišení 48 MP, ekvivalent 24 mm, clona f/1,7, zorné pole 82°.
 - Teleobjektiv: CMOS 1/2“, rozlišení 12 MP, ekvivalent 162 mm, optický zoom 8× a digitální 56×.
 - Termokamera: rozlišení 620×512 (v režimu Ultra High Resolution až 1280×1024, spektrální rozsah 8-14 um (rozsah od -20 do 500°), digitální přiblížení až 28×.
- **Bezpečnostní prvky:**
 - Dron je vybavený senzory pro všesměrové vyhýbání překážek.
- **Ovládání a přenos:** DJI Matrice 3TD je ovládaný pomocí ovladače DJI RC PLUS a přenos prostřednictvím systému O3 Enterprise. [110]

Výhodou tohoto dronu je kompatibilita se systémem DJI Dock 2, která slouží jako autonomní základna, a široká škála podporovaných aplikací pro ovládání či zpracovávání dat.

Cena tohoto modelu v základním vybavení včetně pojištění DJI Care Enterprise Basic na jeden rok činí přibližně 150 000 Kč. [110]



Obrázek 23 DJI Matrice 3TD [110]

Vybrané drony bychom mohli zařadit do více kategorií – od kompaktních a snadno přenosných zařízení (např. DJI Matrice 4T) až po robustní zařízení (např. DJI Matrice 350 RTK). Menší drony mají výhodu především v jejich skladnosti, rychlého nasazení nebo pořizovací ceně. Naopak větší drony mají výhodu větší možnosti nasazení užitečných zařízení z důvodu vyšší nosnosti, přidávání a měnění pokročilých a přesnějších senzorů dle potřeby nebo delší doby letu.

Přestože srovnávání dronů v této diplomové práci je zaměřená hlavně na drony společnosti DJI, nelze opomenout, že na trhu existují alternativy, které přinášejí výhody či jiné uplatnění v určitých scénářích. Mezi alternativní drony se řadí například Auto EVO II Dual 650T s termovizní kamerou nebo Flyability Elios 3, který byl vyvinutý pro prozkoumávání vnitřních a těžko přístupných prostorů (zřícené budovy, tunely či šachty). Kromě výše zmíněných DJI dronů své uplatnění v krizovém řízení najde i dron DJI FlyCart 30, který je specializovaný na přepravu těžkých nákladů a v budoucnu by mohl přepravovat zdravotní materiál či technický materiál do těžko přístupných míst, kde by to prostřednictvím dronů bylo rychlejší. [97, 98]

5.2 Identifikace vybraných parametrů pro komparaci dronů

Aby bylo možné jednotlivé modely dronů porovnat, je nezbytné stanovit konkrétní parametry, které mají vliv na to, jak dobře se určité modely hodí pro konkrétní situace v krizovém řízení či požární ochraně. V této části byly zvoleny technické parametry dronů, které jsou uváděny výrobcem.

Výdrž baterie (v minutách) – tento parametr udává, jaká je maximální doba výdrže bezpilotního letadla ve vzduchu. Dlouhá výdrž je zásadní především při mapování rozsáhlých oblastí, kdy větší výdrž umožňuje provést celou misi na jeden let nebo alespoň minimalizovat počet přerušení práce kvůli návratu a výměně baterie.

Maximální rychlost (m/s) – rychlost letu ovlivňuje schopnost dronu rychle se dostat na požadované místo či pokrýt více lokalit během jednoho letu. Rychlost nachází uplatnění především v časově citlivých situacích (například rychlý přehled šíření požáru).

Odolnost vůči větru (m/s) – je důležitý parametr, kdy je potřeba využít dron i za předpokladu nepříznivého počasí. Čím větší je odolnost vůči větru, tím je dron více stabilní a bezpečnější i ve zhoršených klimatických podmínkách.

Stupeň krytí (IP rating) – tento údaj vyjadřuje, jak je dron odolný vůči vodě a prachu. Drony v krizových situacích jsou často využívány v nepříznivých podmínkách (výskyt deště, prachu nebo kouře při požáru) a vyšší stupeň krytí zajišťuje jejich bezproblémové nasazení.

Nosnost (v g) – nosnost definuje, jaká je maximální hmotnost přídatných zařízení, které je dron schopen unést. Nosnost je důležitá především u dronů, které potřebují externí zařízení pro svou činnost (kamery, senzory, případně užitečné zařízení jako je detektor plynů či radiace).

Hmotnost dronu (v g) – ovlivňuje především mobilitu a způsob přepravy. Lehčí drony je možné rychle nasadit v náročnějším terénu s omezeným přístupem. Naopak těžší drony vyžadují delší přípravu pro vzletnutí.

Cena (v Kč) – ekonomické hledisko má také význam, především při plánování investic do bezpilotních systémů. Cena většinou reflektuje technologickou vyspělost zařízení, ale zároveň je nezbytné ji poměřit s přínosem, který daný dron přináší při konkrétním použití.

Kompatibilita s DJI Dock – jedná se o parametr, který je potřebný v případě plánovaného autonomního provozu (například u preventivního monitorování a vzdálených

operací). Je potřeba nezbytně také rozlišovat kompatibilitu dronu s rozdílnými dokovacími stanicemi (DJI Dock, DJI Dock 2 a DJI Dock 3).

Provozní teplotní rozsah (°C) – stanovuje při jaké teplotě lze dron bezpečně provozovat. Krizové situace se velmi často odehrávají v různých klimatických podmínkách – například v zimě nebo při požárech.

5.3 Srovnávací tabulka dronů

Na základě zvolených parametrů byla vypracována tabulka, která porovnává a zhodnocuje vhodnost dronů pro jejich nasazení v oblasti krizového řízení a požární ochrany. Údaje o parametrech byly převzaty z kapitoly „5.1 Popis vybraných dronů“ na základě údajů od specializovaných prodejců dronů.

Tabulka 1 Srovnávací tabulka vybraných dronů [vlastní]

	Parametr	DJI Matrice 30T	DJI Matrice 350 RTK	DJI Matrice 300 RTK	DJI Matrice 4T	DJI Mavic 3T	DJI Matrice 3TD
1	Výdrž baterie (v minutách)	41	55	55	49	45	50
2	Maximální rychlost (m/s)	23	23	23	21	21	21
3	Odolnost vůči větru (m/s)	15	12	15	12	12	12
4	Stupeň krytí (IP Rating)	IP55	IP 55	IP 45	není stanoveno	není stanoveno	IP54
5	Nosnost (v g)	230	2730	2 700	200	130	200
6	Hmotnost drony (v g)	3 770	6470	6300	1219	920	1410
7	Cena (v Kč)	250 000	290 000	280 000	174 000	138 000	150 000
8	Kompatibilita s DJI Dock	Ano (DJI Dock1)	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano (DJI Dock2)
9	Provozní teplotní rozsah (°C)	- 20 až 50	- 20 až 50	- 20 až 50	- 10 až 40	- 10 až 40	-20 do 45

Srovnání vybraných modelů bezpilotních prostředků znázorňuje, že každý z nich má určité přednosti a omezení a jejich nasazení závisí především na konkrétní prostředí a účelu, ve kterých budou provozovány.

Z hlediska výdrže baterie a nosnosti vyšly ve srovnání nejlépe drony DJI Matrice 350 RTK a DJI Matrice 300 RTK, které díky robustní konstrukci umožňují široké využití v praxi (především v možnosti přídavných zařízení).

Z hlediska odolnosti vůči větru jsou nejlépe hodnocené modely DJI Matrice 30T a DJI Matrice 300 RTK.

Z hlediska hmotnosti dronu a ceny jsou dle srovnání nejvýhodnější DJI Matrice 4T, DJI Mavic 3T a DJI Matrice 3TD, kdy jejich hmotnost se pohybuje pod 1 500 gramů a cena pod 175 000 Kč.

Za největší nedostatek (nevýhodu) mezi porovnávanými modely považují hlavně chybějící oficiální stupeň krytí IP u dronů DJI Matrice 4T a DJI Mavic 3T. V tomto případě by bylo problematické použití v krizových situacích s výskytem deště či při využití při požárech, kdy se ve vzduchu vyskytuje kouř, prach či jiné částice. Hlavně u DJI Matrice 4T, který je svým vybavením a výkonem předurčen pro náročnější scénáře je překvapující, že nedisponuje stupněm krytí. Na základě chybějícího stupně krytí byly by tyto drony vhodné především pro plánované operace s možností odložení letu z důvodu nepříznivých okolností (počasí, kouř) – například na preventivní monitorování stavů solárních panelů.

Na základě tohoto zjištění by bylo vhodnější pro krizové situace zvolit namísto modelu DJI Matrice 4T model DJI Matrice 4TD, který je ve stejné sérii, ale je určen a kompatibilní s autonomní dokovací stanicí DJI Dock 3. Tyto dva modely sdílejí stejnou senzorovou výbavu – širokoúhlé kamery, teleobjektivy, termokamery, laserové dálkoměry a NIR osvětlení – a také podporují pokročilé inteligentní funkce. DJI Matrice 4TD na rozdíl od 4T však disponuje krytím IP55, díky čemuž je výrazně vhodnější na náročnější podmínky. Mezi další rozdíly patří: delší letová doba (až 54 minut), vyšší hmotnost (1850 g) s nosností 240 gramů, širší provozní teplotní rozsah teplota (-20°C do 50°C), maximální rychlost 75,6 km/h (21 m/s) a optimalizovaný přenosový systém DJI O4+ Enterprise. [107, 111]

Jedinou nevýhodou, kterou shledávám na modelu DJI Matrice 4TD oproti 4T je vyšší hmotnost a konstrukce bez možnosti složení ramen konstrukce, díky čemuž jsou větší požadavky na přepravu a uskladnění z hlediska rozměrů. [107, 111]

Tabulka 2 Porovnání dronů DJI Matrice 4T a DJI Matrice 4TD [vlastní]

	Parametr	DJI Matrice 4T	DJI Matrice 4TD
1	Výdrž baterie (v minutách)	49	54
2	Maximální rychlost (m/s)	21	21
3	Odolnost vůči větru (m/s)	12	12
4	Stupeň krytí (IP Rating)	není stanoveno	IP55
5	Nosnost (v g)	200	240
6	Hmotnost drony (v g)	1219	1850
7	Cena (v Kč)	174 000	179 000
8	Kompatibilita s DJI Dock	Ne	Ano (DJI Dock3)
9	Provozní teplotní rozsah (°C)	- 10 až 40	- 10 až 40

5.4 Charakteristika kamerových systémů

Kromě samotných bezpilotních letadel a jejich parametrů je vhodné se při výběru zaměřit také na senzorovou (kamerovou) výbavu, která ovlivňuje efektivitu a úspěšnost při operacích v rámci krizových situací. V předešlé kapitole byly popsány jednotlivé drony včetně základního přehledu jejich integrovaných kamer. V této části budou popsány externí kamerové soustavy, které lze použít s uvedenými drony DJI Matrice 300 RTK a DJI Matrice 350 RTK, u který je potřeba dokoupit kamery samostatně. Následně budou srovnány integrované i externí kamery dohromady.

Vzhledem k zaměření diplomové práce, jsem se rozhodl soustředit hlavně na kamerové soustavy, které disponují termovizní senzory. I přesto, že existují i další technologie, které by šly použít v rámci krizového řízení (LiDAR systémy či multispektrální senzory), největší

praktické uplatnění mají právě termovizní kamery v rámci krizového řízení a požární ochrany.

Stejně jako u porovnávání dronů je i v této části pro porovnání kamerových soustav byly zvoleny moduly pouze od značky DJI. Důvodem je především vysoká míra kompatibility (s drony a softwary), snadná dostupnost zařízení na českém trhu a možnosti školení. Na trhu však existují i jiné značky zabývající se vývojem a výrobou externích senzorových soustav – například společnost Workswell. Workswell je česká společnost, která se zabývá termálními senzory včetně senzorů pro bezpilotní letadla. Pro zvolené drony DJI Matrice 300 RTK a DJI Matrice 350 RTK je na českém trhu dostupná například termokamera Workswell Wiris Pro, která má výhodu oproti některým externím termokamerám velký tepelný rozsah (od -25°C do $+1\,500^{\circ}\text{C}$). Tato kamera je dostupná v ČR za 310 600 Kč bez DPH (včetně stabilizátoru). [112, 113]

DJI Zenmuse H20T

Zenmuse H20T je pokročilá hybridní kamera, která je určena pro profesionální využití s dronem DJI Matrice 300 RTK. Tato hybridní kamera disponuje čtyři různé typy senzorů, čímž umožňuje efektivní sběr dat v různých spektrálních pásmech včetně nočního snímání. Celý modul váží 828 gramů, jeho provozní teploty jsou od -20°C do 50°C a splňuje stupeň krytí IP44. [114, 115]

Integrované senzory a jejich vlastnosti:

- Širokoúhlý objektiv: rozlišení 12 MP, využívá $1/2.3''$ CMOS senzor, zorné pole $82,9^{\circ}$ a ohnisková vzdálenost 24 mm
- Zoom kamera: s rozlišením 20 MP, $1/1.7''$ CMOS senzor, $23\times$ hybridní optické přiblížení a maximální zoom dosahuje až $200\times$. Záznam je v maximálním rozlišení 4K při 30 snímcích za sekundu.
- Laserový dálkoměr poskytuje přesné (s přesností zhruba 0,2 m) měření vzdáleností v rozsahu od 3 do 1 200 metrů.
- Radiometrická termální kamera: rozlišení 640×512 px při 30 Hz s podporou zvýšeného rozlišení 1280×1024 , digitální zoom 8x a snímací teploty -40°C až 550°C . [114, 115]

Kamerová soustava Zenmuse H20T umožňuje pokročilé funkce jako je například AI Spot-Check (pro sledování určitého objektu v čase s možností opakovaného snímání ve

stejných parametrech), PinPoint (označení bodu a sdílení souřadnic v reálném čase s dalšími týmy – tato funkce je vhodná především při nalezení ztracené osoby), Smart Track (nepřetržité sledování objektu), High-Res Grid Photo (slouží k označení objektů a následného detailního nasnímání). Kromě AI funkcí jsou zde i funkce pro lepší termografii jako je nastavení alarmů při překročení stanovených hodnot, barevné palety či režim vysokého a nízkého zisku (pro přizpůsobení dynamického rozsahu senzoru) [114, 115]

Tato hybridní kamera se na českém trhu nabízí okolo 300 000 Kč. [115]



Obrázek 24 Zenmuse H20T [115]

DJI Zenmuse H20N

Zenmuse H20N je multifunkční kamerový systém, který na rozdíl od předchozí Zenmuse H20T má navíc jeden termovizní senzor (celkem 5 senzorů). Písmeno „N“ na konci značí, že kamera disponuje pokročilými technologiemi pro noční (night) pozorování. Celý modul váží zhruba 878 gramů, jeho provozní teplota je v rozsahu -20°C až +50°C a jeho konstrukce odpovídá stupni krytí IP44. [116, 117]

Integrované senzory a jejich vlastnosti:

- Širokoúhlá kamera s nočním viděním: rozlišení 2MP, využívá 1/2.7“ CMOS senzor, zorné pole 73,6°, ohnisková vzdálenost 4,5 mm, světelnost f/2.8.
- Zoom kamera s nočním viděním: rozlišení 4MP, 1/1.8“ CMOS senzor, optický zoom 20×, maximální přiblížení až 128×, ohnisková vzdálenost 6,8-119,9 mm (ekvivalent 32,7-574,5 mm)

- Duální termální kamery (širokoúhlá infračervená termokamera a tele infračervená kamera): obě s rozlišením 640×512 px, umožňující přiblížení $2\times$ a $8\times$ (dohromady umožňují až $32\times$ zoom), širokoúhlý termální objektiv se zorným polem $45,5^\circ$ a ohniskovou vzdáleností 12 mm, teleobjektiv se zorným polem $12,5^\circ$ a ohniskovou vzdáleností 44,5 mm. Obě kamery disponují světelností f/1.0 a f/1.2. Tepelný rozsah je od -20° do 500°C .
- Laserový dálkoměr: pro přesné měření vzdálenosti v rozsahu od 3 do 1 200 metrů. [116, 117]

Stejně jako Zenmuse H20T má i tato kamera pokročilé AI funkce a vizuální funkce pro analýzu tepelných stop. [116, 117]

Cena kamery DJI Zenmuse H20N se na českém trhu pohybuje od 310 000 Kč. [118]



Obrázek 25 DJI Zenmuse H20N [118]

DJI Zenmuse H30T

Zenmuse H30T je hybridní kamerová jednotka určená pro profesionální provoz s drony řady DJI Matrice 300 RTK a 350 RTK. Celá soustava kombinuje pět sensorových modelů v jednom těle. Konstrukce splňuje normu IP54 s hmotností 920 gramů a provozní teplotou v rozsahu -20°C až $+50^\circ\text{C}$. [119, 120]

Integrované senzory a jejich vlastnosti:

- Širokoúhlý objektiv: 48 MP snímač typu 1/1.3" CMOS, zorné pole 82,1°, ohnisková vzdálenost 24 mm. Podporuje plnobarevné noční vidění a záznam videa až ve 4K při 30 snímkách za vteřinu.
- Zoom kamera: 40MP snímač typu 1/1.8" CMOS, nabízí 34× optické přiblížení a až 400× digitální zoom.
- Termovizní kamera: rozlišení 1280 × 1024 px a až 32× digitální zoom. Podporuje režimy vysokého zisku (-20°C až 150°C), nízkého (0°C až 600°C) a režim vysokého rozlišení bez teplotního měření. Volitelný filtr rozšiřuje rozsah měření až do 1 600°C.
- Laserový dálkoměr: měří vzdálenost až na 3 000 m s přesností $\pm 0,2$ m (do 500 m) a ± 1 m (nad 500 m). Poskytuje souřadnice GPS.
- Pomocné NIR osvětlení: funguje ve spektru 850 nm, osvětluje kruh o průměru 8 m ze vzdálenosti 100 m. [119, 120]

Zenmuse H30T má pokročilé funkce a režimy jako je například přiblížení obrazu zároveň v termálním a viditelném spektru či noční režim. [119, 120]

Cena tohoto modelu se pohybuje kolem 300 000 Kč. [121]



Obrázek 26 DJI Zenmuse H30T [121]

5.5 Parametry pro porovnání kamerových soustav

Následující parametry byly zvoleny s ohledem na celkovou efektivitu senzoru při různých zásazích – podle typu senzoru, rozlišení kamery, možné přiblížení obrazů či hmotnosti.

Typ senzoru a složení soustav – popisuje, jaké senzory kamerová soustava obsahuje (zoom kamera, širokoúhlá kamera, laserový dálkoměr a termovizní kamera)

Rozlišení termovizní kamery – určuje kvalitu tepelného obrazu. Tento parametr je důležitý pro přesnou lokalizaci osob či detekci skrytých ohnisek.

Tepelný rozsah termokamery (°C) – určuje, jaké teploty je kamera schopna zachytit.

Zoom – znázorňuje, jak moc lze obraz přiblížit. U porovnávacích kamerových systémů se dělí na optický zoom (zachovává kvalitu) a digitální zoom (maximální přiblížení s možnou ztrátou kvality obrazu). Tato funkce se hodí především při orientačním sledování a v krizových situacích může mít rychlé přiblížení rozhodující význam.

Laserový dálkoměr (LRF) – slouží k určení přesné vzdálenosti objektu od dronu. Pomáhá při rychlém zjištění polohy například ztracené osoby pro následnou koordinaci zásahu.

Noční režim – popisuje, jak dobře je kamera schopna fungovat za špatných viditelných podmínek (v noci). Některé systémy jsou vybaveny speciálními režimy a filtry pro noční záznam případně s využitím infračerveného světla.

Hmotnost – kolik váží kamerový systém. Zde je zapotřebí rozlišovat, zda je kamerová soustava již součástí dronu a je integrovaná (zde hmotnost uvedena včetně dronu) nebo zda je externí (zde je uvedena váha samotné kamerové soustavy).

Orientační cena – udává aktuální možnou cenu na českém trhu. Zde je zapotřebí také rozlišit, zda se jedná o integrovanou kameru (zde je cena uvedena včetně dronu) nebo zda jde o externí kamerovou soustavu (zde je uvedena cena samotného modulu).

5.6 Komparační tabulka kamerových systémů

Při srovnávání kamerových systémů byly zvoleny kamerové systémy integrované (označené modelem dronu) a externě připojitelné k bezpilotním prostředkům. Údaje byly převzaty z kapitoly „5.1. Popis vybraných dronů“ a „5.4 Popis kamerových systémů“ na základě údajů výrobce či specializovaných prodejců dronů a příslušenství.

Tabulka 3 Srovnávací tabulka kamerových systémů [vlastní]

Parametry	Integrované senzorové soustavy				Externí senzorové soustavy		
	DJI Matrice 30T	DJI Matrice 4T/4TD	DJI Mavic 3T	DJI Matrice 3TD	DJI Zenmuse H20T	DJI Zenmuse H20N	DJI Zenmuse H30T
1 Typ senzoru	RGB širokoúhlá + zoom + termokamera + LRF	RGB + zoom + termokamera + LRF + NIR	RGB širokoúhlá + zoom + termokamera	RGB širokoúhlá + zoom + termokamera	RGB širokoúhlá + zoom + termokamera + LRF	RGB širokoúhlá + zoom + širokoúhlá termokamera + zoom termokamera + LRF	RGB širokoúhlá + zoom + termokamera + LRF + pomocné NIR
2 Rozlišení termokamery	640 x 512	640 x 512	640 x 512	640 x 512	640 x 512	640 x 512	1280 x 1024
3 Tepelný rozsah termokamery (°C)	- 20 až 500	- 20 až 550	- 20 až 500	- 20 až 500	-40 až 550	- 20 až 500	-20 až 1 600
4 Zoom (optický/digitální)	16/200	16/112	8/56	8/56	20/200	20/128	34/400
5 Laserový dálkoměr LRF (v m)	1 200	1 800	Ne	Ne	1 200	1 200	3 000
6 Noční režim (vidění)	Ano	Ano (NIR)	Ano (pouze termo)	Ano(pouze termo)	Ano	Ano	Ano (plnobarevné)
7 Hmotnost	3770 (včetně dronu)	1219 (včetně dronu)	920 (včetně dronu)	1410 (včetně dronu)	828 (bez dronu)	878 (bez dronu)	920 (bez dronu)
8 Orientační cena (v Kč)	250 000 (včetně dronu)	179 000 (včetně modelu 4TD)	138 000 (včetně dronu)	150 000 (včetně dronu)	300 000 Kč (bez dronu)	310 000 Kč (bez dronu)	300 000 (bez dronu)

Na základě srovnávací tabulky má největší technický pokrok externí senzorová soustava DJI Zenmuse H30, která nabízí vysoké rozlišení termokamery (až 1280 × 1024) s tepelným rozsahem až do 1 600°C, optickým přiblížením 34x, digitálním zoomem 400× a měřením vzdálenosti až do 3 km. Tento model se hodí v případech, kde je nutná vysoká

úroveň detailu a pozorování na velkou dálku. Na druhou stranu jsou vysoké pořizovací náklady a společně s dronem by celkové náklady mohly dosahovat až 600 000 Kč.

Naopak mezi méně vybavené kamerové systémy ze srovnávaných jsou DJI Mavic 3T a DJI Matrice 3TD, nicméně vzhledem k nabízené funkcionalitě si zachovávají kompaktní rozměry s nízkou hmotností. Jejich výhodou je rychlost nasazení do akce a menší pořizovací náklady.

Za univerzálně využitelné lze považovat senzory, které jsou integrované do dronů DJI Matrice 30T a Matrice 4T/4TD. Tyto modely nabízejí vyvážený poměr mezi technickým vybavením a kompaktností.

První kapitola praktické části se zaměřila na porovnání technických parametrů vybraných bezpilotních prostředků a senzorových soustav (externí a integrované soustavy dohromady). Na základě získaných technických parametrů byly vytvořeny přehledné srovnávací tabulky, které usnadňují orientaci v klíčových vlastnostech. Z analýz vyplynulo, že mezi nejvíce pokročilé systémy se řadí drony DJI Matrice 4TD nebo externí jednotka Zenmuse H30T, které disponují širokým spektrem funkcí a zároveň dosahují vysoké odolnosti a přesnosti.

6 SCÉNÁŘ VYUŽITÍ DRONU PŘI HLEDÁNÍ ZTRACENÉ OSOBY

Jedna z možností využití bezpilotních prostředků při mimořádných situacích je jejich nasazení při hledání a záchraně ztracené osoby. V České republice jsou situace, kdy je třeba vyhledat pohřešovanou osobu, poměrně časté – za rok 2023 bylo zaznamenáno celkem 18 529 pohřešovaných osob. Většinou se jedná o děti, seniory, osoby s poruchami orientace či duševním onemocněním, ale také o turisty.

Tabulka 4 Pohřešované osoby za rok 2023 [122]

Za rok 2023	Kategorie do 15 let	Kategorie od 15 do 18 let	Kategorie nad 18 let
Počet záznamů pohřešovaných osob celkem	2 911	6 983	8 635
Z toho aktivní (k 9. únoru 2024)	50	79	150

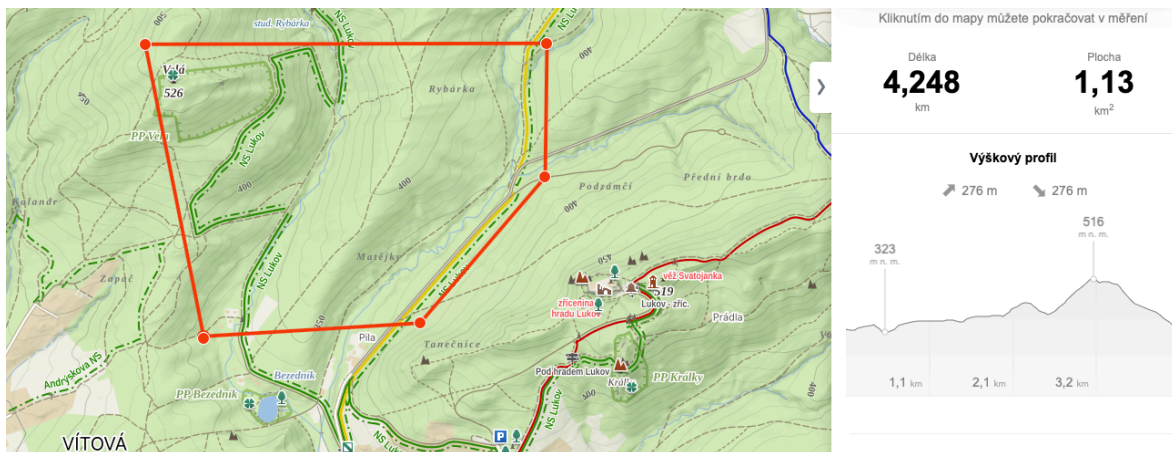
V některých případech hraje zásadní roli čas, protože delší čas hledání osoby může vést k vážnému ohrožení zdraví nebo života. Tradiční metody, jako jsou pěší hlídky, nasazení psovodů či vrtulníků, mají svá omezení, zejména při pátrání ve velkých oblastech případně v těžko přístupném terénu. S minimalizací času při hledání osoby mohou pomoci moderní drony vybavené termokamerami a dalšími senzory, které dokážou během krátkého času zmapovat rozlehlelé, těžko přístupné území, a to i v nočních hodinách.

6.1 Popis vytvořeného scénáře

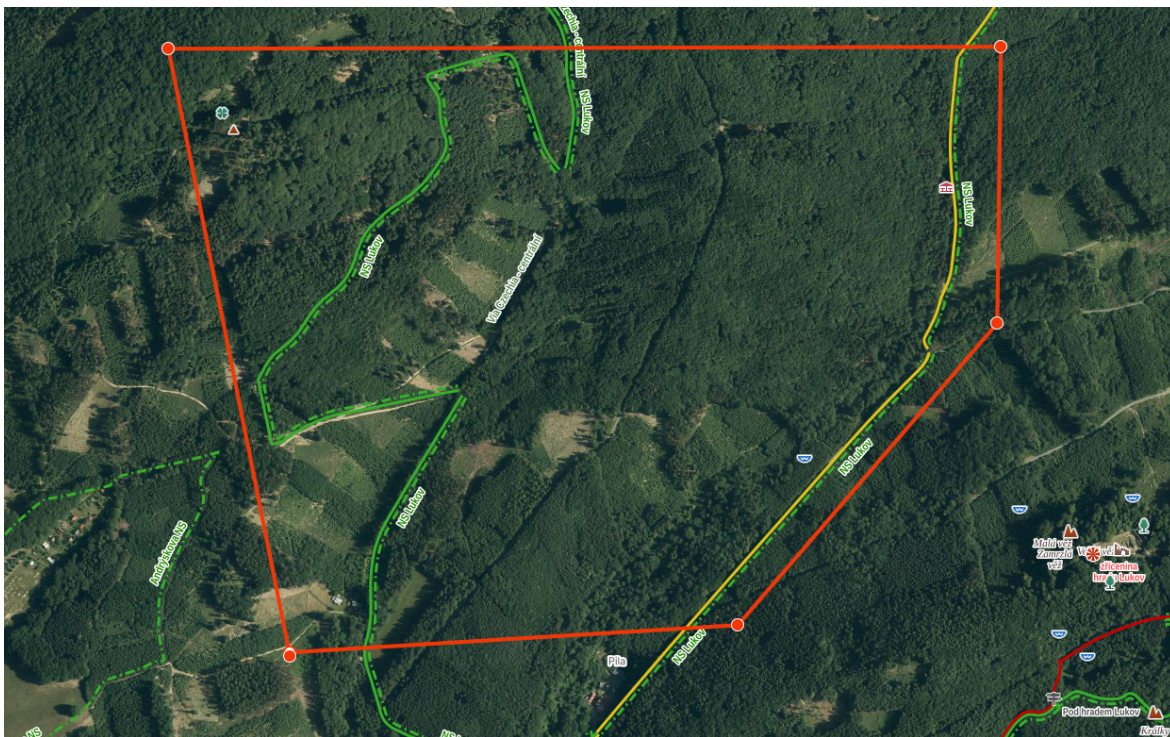
Ve večerních hodinách byla nahlášena pohřešovaná osoba. Jednalo se o staršího muže ve věku 72 let z Lukova, který se nevrátil z vycházky v lesním prostoru severně od obce Vítová a Lukov. Na základě informací od rodiny chodil do lesů pravidelně sám a často mimo značené trasy. Když se do večerních hodin nevrátil domů a nereagoval na telefonní hodiny, rodina kontaktovala Policii ČR.

Z hlediska terénu jde o poměrně členitou oblast v Hostýnských vrších s nadmořskou výškou mezi 325 m a 550 m. Les je mimořádně různorodý – střídají se zde klasické smíšené lesy s řídkým porostem, úseky hustých lesních kultur či mladé smrkové školky s velmi

omezenou průchodností. V oblasti se také nacházejí říčky a menší potoky, jejichž koryta zde vytvářejí hlubší údolí. Mnoho cest zde není značených, některé zcela zarůstají vegetací nebo se ztrácejí v terénu. Předpokládaná oblast výskytu pohřešované osoby je vyznačena na mapě níže (mapy.com).



Obrázek 27 Předpokládaná oblast výskytu pohřešované osoby [vlastní]



Obrázek 28 Předpokládaná oblast výskytu pohřešované osoby - letecký snímek [vlastní]

Za daných okolností (se složitou orientací a přibývající tmou) je vhodné zapojení bezpilotních prostředků s termovizní kamerou. Tradiční metody hledání pohřešované osoby by byly vzhledem k situaci zdlouhavé.

V praxi se v některých situacích využívají i vrtulníky s termovizním vybavením. Nicméně výhodnost hodně závisí na situaci, proto je vhodné provést alespoň základní srovnání výhod a nevýhod nasazení dronu či vrtulníku.

Tabulka 5 Srovnání využití bezpilotního letadla a vrtulníku [vlastní]

Kritérium	Bezpilotní letadlo	Záchranný vrtulník
Čas nasazení	Do několika minut po příjezdu na místo	Může trvat desítky minuta až několik hodin (výjezd, povolení, přelet)
Náklady na provoz	Nízké	Vysoké (tisíce až desítky tisíc za zásah)
Možnost letu v blízkosti porostu	vysoká (lze létat nízko)	Omezená - riziko kolize
Provozní výdrž	Omezená - cca 45-55 minut (nutná výměna baterií)	Dlouhá - možnost provozu i několik hodin
Přístupnost v terénu	Vysoká - přenositelnost, start i z omezeného prostoru	Omezená - vyžaduje přistávací plochu
Nároky na obsluhu	Nízké - 1-2 osoby	Vyšší - pilot, operátor kamery, navigátor, ...
Přehled nav velkým územím	Omezený - závislé na výdrž a doletu	Vysoký - schopnost rychlého přeletu rozsáhlého území
Schopnost přepravit osobu	Ne	Ano
Hlučnost	Nízká	Vysoká

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že bezpilotní letadla představují efektivní a rychlý prostředek k nasazení v náročnějším terénu (členitém a nutnost sledování v malých výškách). Naopak záchranný vrtulník je vhodnější především na rozsáhlé území (vyšší rychlost a delší výdrž ve vzduchu) nebo v případech, kdy je potřeba přepravit osoby.

6.2 Multikriteriální analýza pro výběr dronu

V rámci první části praktické části byly srovnány drony využívané v oblasti krizového řízení a požární ochrany. Na základě zvolených dronů a dostupných dat (parametrů) bylo posouzeno, jaký dron by mohl být pro vytvořený scénář nejvhodnější. Pro posouzení byla zvolena metoda multikriteriálního rozhodování pomocí váženého součtu.

Do posouzení byly zařazeny pouze drony, které disponují dle výrobce stupněm krytí. Dále bylo nutné stanovit, jaké parametry jsou pro daný účel důležité. Tyto zvolené parametry (kritéria) byly následně bodově ohodnoceny podle důležitosti – váhový koeficient, který odráží jeho význam pro daný typ zásahu (váha byla stanovena na základě úvahy autora a mohou být upraveny v případě jiných scénářů).

Největší váhu v tomto případě dostala výdrž baterie (0,3), protože se jedná o jeden z nejzásadnějších faktorů pro pokrytí co největší oblasti během jednoho letu. Druhou nejvyšší váhu dostal parametr cena (0,25), který hraje roli především při plánování rozpočtu krizových složek. Dále by velkou váhu dostal parametr hmotnost dronu (0,2), aby dron byl co nejvíce operativnější a mohl být rychle nasazen do terénu. Parametry maximální rychlosti a odolnost vůči větru byly rovnoměrně hodnoceny (0,10). Nosnost byla zohledněna symbolicky (0,05), protože se v tomto scénáři nepředpokládá nutnost nést externí výbavu. Součet všech vah se rovná 1 (tedy 100%).

Tabulka 6 Parametry a jejich váha [vlastní]

Parametr	Váha
Výdrž baterie (min)	0,3
Maximální rychlost (m/s)	0,1
Odolnost vůči větru (m/s)	0,1
Nosnost (g)	0,05
Hmotnost dronu (g)	0,2
Cena (Kč)	0,25
1	

Po stanovení vah bylo nutné vypočítat normalizovanou hodnotu, aby bylo zajištěné objektivní porovnání, protože jednotlivé parametry se liší nejen v jednotkách (např. minuty, gramy, koruny), ale i jejich číselné rozsahy. U parametrů, kde vyšší hodnota je považována lepší (výdrž baterie, maximální rychlost), byla normalizovaná hodnota vypočtena podle vzorce:

$$\text{Normalizovaná hodnota} = \frac{\text{hodnota parametru} - \text{minimální hodnota}}{\text{maximální hodnota} - \text{minimální hodnota}}$$

Naopak u parametrů, kde nižší hodnota je považována za lepší (cena, hmotnost dronu), byla normalizovaná hodnota vypočtena podle vzorce:

$$\text{Normalizovaná hodnota} = 1 - \frac{\text{hodnota parametru} - \text{minimální hodnota}}{\text{maximální hodnota} - \text{minimální hodnota}}$$

Tabulka 7 Nejnižší a nejvyšší hodnoty u zvolených dronů [vlastní]

Parametr	Nejnižší	Nejvyšší
Výdrž baterie (min)	41	55
Maximální rychlost (m/s)	21	23
Odolnost vůči větru (m/s)	12	15
Nosnost (g)	200	2730
Hmotnost dronu (g)	1410	6470
Cena (Kč)	150 000	290 000

Získaná normalizovaná hodnota byla následně vynásobena zvolenou váhou, čímž vznikl vážený příspěvek konkrétního parametru k celkovému skóre modelu. Poté byly všechny vážené příspěvky v rámci modelu dronu sečteny a výsledkem byl souhrnný číselný údaj (skóre), který reprezentuje celkové hodnocení daného modelu na základě zvolených priorit.

Tabulka 8 Multikriteriální analýza dronů [vlastní]

Dron	Parametr	Původní hodnota	Normalizovaná hodnota	Váha	Vážený příspěvek	Skóre
DJI Matrice 30T	Výdrž baterie (min)	41	0	0,3	0	0,378740824
	Maximální rychlost (m/s)	23	1	0,1	0,1	
	Odolnost vůči větru (m/s)	15	1	0,1	0,1	
	Nosnost (g)	230	0,011857708	0,05	0,000592885	
	Hmotnost dronu (g)	3770	0,533596838	0,2	0,106719368	
	Cena (Kč)	250000	0,285714286	0,25	0,071428571	
DJI Matrice 350 RTK	Výdrž baterie (min)	55	1	0,3	0,3	0,45
	Maximální rychlost (m/s)	23	1	0,1	0,1	
	Odolnost vůči větru (m/s)	12	0	0,1	0	
	Nosnost (g)	2730	1	0,05	0,05	

	Hmotnost dronu (g)	6470	0	0,2	0	
	Cena (Kč)	290000	0	0,25	0	
DJI Matrice 300 RTK	Výdrž baterie (min)	55	1	0,3	0,3	0,573983625
	Maximální rychlost (m/s)	23	1	0,1	0,1	
	Odolnost vůči větru (m/s)	15	1	0,1	0,1	
	Nosnost (g)	2700	0,988142292	0,05	0,049407115	
	Hmotnost dronu (g)	6300	0,033596838	0,2	0,006719368	
	Cena (Kč)	280000	0,071428571	0,25	0,017857143	
DJI Matrice 4TD	Výdrž baterie (min)	54	0,928571429	0,3	0,278571429	0,660184924
	Maximální rychlost (m/s)	21	0	0,1	0	
	Odolnost vůči větru (m/s)	12	0	0,1	0	
	Nosnost (g)	240	0,015810277	0,05	0,000790514	
	Hmotnost dronu (g)	1850	0,913043478	0,2	0,182608696	
	Cena (Kč)	179000	0,792857143	0,25	0,198214286	
DJI Matrice 3TD	Výdrž baterie (min)	50	0,642857143	0,3	0,192857143	0,642857143
	Maximální rychlost (m/s)	21	0	0,1	0	
	Odolnost vůči větru (m/s)	12	0	0,1	0	
	Nosnost (g)	200	0	0,05	0	
	Hmotnost dronu (g)	1410	1	0,2	0,2	
	Cena (Kč)	150000	1	0,25	0,25	

Na základě multikriteriální analýzy se ukázalo, že si nejlépe v rámci zvolených kritérií vedl model **DJI Matrice 4TD**, který dosáhl nejvyššího výsledku (zhruba 0,66). Tento model vyniká především velmi dobrou výdrží baterie, nízkou hmotností a zároveň vyváženým poměrem mezi cenou a nabízejícími vlastnostmi.

Je důležité zdůraznit, že výsledek multikriteriální analýzy nelze chápat jako absolutní měřítko vhodnosti jednotlivých dronů – i dron, který je na posledním místě může být vhodný

pro nasazení po pátrání pohřešované osoby. Pokud by například nebyla omezujícím faktorem cena nebo váha zařízení, výsledky multikriteriální analýzy by byly výrazně odlišné.

6.3 SWOT analýza zvoleného dronu

Pro komplexní zhodnocení dronu DJI Matrice 4TD byl v rámci modelového scénáře vytvořena SWOT analýza, která poskytuje přehled silných a slabých stránek tohoto modelu, ale také vnější prostředí – příležitosti a hrozby, které mohou být s dronem spojovány.

Tabulka 9 SWOT analýza DJI Matrice 4TD [vlastní]

Nasazení DJI Matrice 4TD		
Vnitřní prostředí	Silné stránky	Slabé stránky
	• Výdrž baterie • Vyspělejší integrované senzorové systémy • Odolnost IP55 • Relativně nízká cena (střední kategorie) • Pokročilé funkce (AI) • Kompatibilita se softwary – možnost sdílení obrazu i s ostatními členy týmu	• Nelze vyměnit senzory • Menší nosnost • Menší zoom oproti externím modulům (např. DJI Zenmuse H30T) • Oproti DJI Zenmuse H30T menší tepelný rozsah termokamery
Vnější prostředí	Příležitosti	Hrozby
	• Široké využití i mimo pátrací operace • Možnost autonomního provozu (DJI Dock 3) • Rozvoj pokročilých softwarů • Integrace do GIS	• Legislativa • Povinnost odborného školení/licence • Riziko ztráty signálu • Náklady na servis/výměnu • Riziko ztráty/zničení dronu

SWOT analýza dronu DJI Matrice 4TD znázorňuje, že tento model je technologicky vyspělý a velmi dobrý v poměru výkonu a přenositelnosti. Mezi jeho hlavní výhody patří vysoká výdrž na jedno nabití, pokročilé integrované nasazení, široké využití či pokročilé funkce. Na druhou stranu ve srovnání s dražšími externími senzorovými soustavami neposkytuje tak přesné informace z pohledu tepelného rozsahu kamer a disponuje menším

optickým a digitálním zoomem. Z hlediska hrozeb jsou zde zařazena legislativa či nutnost odborného školení pro provoz bezpilotního letadla.

6.4 KARS analýza

Vzhledem k tomu, že nasazování bezpilotních letadel při řešení krizových situací je stále považována za novější, a ne příliš často využívanou formou podpory IZS, je nezbytné kromě sledování přínosů, posoudit i možná rizika, které během operací mohou v reálných podmínkách nastat. Pro účely této diplomové práce byla zvolena KARS analýza, která umožňuje identifikovat a hodnotit možná rizika při výkonu práce s drony.

V kontextu praktické části byla KARS analýza aplikována do vytvořeného scénáře – pátrání po ztracené osobě v lesním prostředí za pomoci dronu vybaveným termovizní kamerou. Výhodou KARS analýzy je zachycení nejen technických aspektů, ale i organizačních a environmentálních rizik.

Nejprve bylo zapotřebí vytvořit seznam rizikových faktorů (R1, R2, R3, ...), které zahrnuje různé oblasti (technické, počasí, komunikace, ...):

R1 – Ztráta signálu dronu

R2 – Chyba operátora dronu (nesprávné ovládání)

R3 – Nepříznivé počasí, snížená viditelnost

R4 – Kolize dronu s překážkou (náráz do stromu, větví)

R5 – Selhání techniky (hardware, kamera, motor)

R6 – Nedostatek energie (vybití baterie)

R7 – Nedostatečná komunikace mezi složkami IZS

R8 – Ztráta/zničení dronu

R9 – Neznalost oblasti zásahu

R10 – Špatné naplánování letové trasy

R11 – Neznalost softwaru pro plánování letu

R12 – Vliv zvířat (nárazy ptáků na dron)

R13 – Planý poplach (zachyceno zvíře či jiná osoba termovizí, špatné nastavení rozsahu termální kamery, ...)

Jedním z technických ohrožení je ztráta signálu dronu (R1), které může vést k nekontrolovanému letu, přerušení obrazu nebo úplné ztrátě bezpilotního prostředku. Kromě ztráty bezpilotního prostředku, hrozí i ohrožení osob v blízkosti.

Významným faktorem je i chyba operátora (R2), která může mít za následek nesprávné ovládání, špatné vyhodnocení situace či neznalost systému. V kombinaci s nepříznivým počasím (R3) jako je déšť, mlha nebo vítr, se zvyšuje pravděpodobnost kolize dronu s překážkou (R4) nebo selhání celé techniky (R5).

Častým rizikem bývá podceňování situace – nedostatek energie (R6). Pokud není správně naplánovaný let nebo pravidelná kontrola stavu baterie, může dojít přerušení letu dronu nebo k samotnému pádu zařízení. Dále zásadní roli hraje komunikace mezi složkami IZS (R7), kdy nedostatečná komunikace může vést k narušení bezpečnosti zásahu, překrývání činností či neefektivní využití bezpilotního zařízení.

Ztráta či zničení dronu (R8) představuje kromě finanční ztráty, také průběh aktivního zásahu a ztrátu získání informací z termokamer → následné zhoršení komunikace mezi složkami IZS či ohrožení osob v blízkosti. Dále může negativně ovlivnit neznalost oblasti zásahu (R9) – ať už se strany operátora nebo při plánování trasy letu (R10) → to může vést například k vyčerpání baterie nebo špatné komunikaci IZS. V tomto směru hraje roli i neznalost softwaru pro plánování mise (R11), což může vést k neefektivnímu využití dronu.

Z enviromentálních vlivů je vhodné kromě špatného počasí (R3) zmínit také vliv zvířat (R12), které mohou reagovat agresivně na dron nebo mohou zvýšit riziko planého poplachu (R13), kdy se na termokameře zaznamená zvíře či jiná osoba jako zdroj tepla.

Výše zmíněná rizika jsou navzájem provázaná a jejich kombinace může mít v reálném případě významně negativní dopad na celkový zásah. Proto je důležité porozumět vzájemným vazbám těchto rizik, což umožňuje právě zvolená KARS analýza.

Po výběru rizik byla vytvořena tabulka souvztažnosti těchto rizik. Cílem této tabulky je zjistit do jaké míry uvedené rizika navzájem souvisejí a zda může být vzájemná příčina propojena. Následující hodnocení probíhá na principu přidávání hodnot 1 a 0, kdy hodnota 1 naznačuje, že existuje výskyt rizika v řádku může vyvolat vznik rizika uvedeného ve sloupci. Naopak hodnota 0 naznačuje, že mezi riziky neexistuje souvislost (riziko v řádku nemůže vyvolat riziko ve sloupci).

Tabulka 10 KARS analýza rizik při hledání pohřešované osoby [vlastní]

Riziko	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	Součet
R1 - Ztráta signálu	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	5
R2 - Chyba operátor	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	8
R3 - Nepříznivé počasí	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	11
R4 - Kolize dronu	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	4
R5 - Selhání techniky	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	6
R6 - Nedostatek energie	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	5
R7 - Nedost. Komunikace IZS	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	8
R8 - Ztráta/zničení dronu	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	5
R9 - Neznalost oblasti	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	7
R10 - Špatné naplánování letu	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	7
R11 - Neznalost softwaru	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	8
R12 - Vliv zvířat	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	4
R13 - Planý poplach	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
Součet	9	4	0	11	7	9	11	11	2	5	1	2	8	

Po určení vazeb mezi jednotlivými riziky se určila míra významnosti rizik součtem řádků (řádkový součet = udává kolik rizik může způsobit) a součtem ze sloupců (sloupcový součet = nakolik je riziko ovlivňováno ostatními faktory).

Následně bylo zapotřebí vypočítat koeficient aktivity KAR_i , což vyjadřuje, jaký vliv má dané riziko na ostatní rizika. Tento koeficient se získává součtem hodnot v daném řádku

matice souvztažnosti. Čím vyšší je výsledná hodnota, tím je riziko „aktivnějším spouštěčem“ jiných událostí. KARi koeficient se vypočítá dle rovnice:

$$KARi = \frac{\sum Ri}{x - 1} * 100$$

$\sum Ri$ je součet rizik (součet celého řádku). A x je celkový počet rizik v analýze (součet všech řádků).

Pro stanovení pasivního koeficientu KPRi (na kolik je riziko ovlivňováno ostatními riziky) se používá výpočet součtem hodnot ve sloupci daného faktoru. Čím je vyšší hodnota, tím je riziko „pasivně“ vyvolán více událostmi. KPRi koeficient se počítá dle rovnice:

$$KPRi = \frac{\sum Ri}{x - 1} * 100$$

V tomto případě je $\sum Ri$ součet rizik celého sloupce. A x je celkový počet rizik v analýze (součet všech řádků). x

Tabulka 11 Hodnoty aktivity a pasivity rizik v % [vlastní]

Riziko	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13
Součet KARi v %	42	67	92	33	50	42	67	42	58	58	67	33	17
Součet KPRi v %	75	33	0	92	58	75	92	92	17	42	8	17	67

Po výpočtu výsledných koeficientů pasivity a aktivity je vhodné tyto výsledky zaznamenat do vizuální formy souvztažného grafu. Tento graf poskytuje přehled o tom, která rizika jsou hlavními spouštěči a která jsou naopak dominantně ovlivňována.

Každý bod zaznamenaný v grafu představuje jedno riziko. Vodorovná osa X zobrazuje koeficient aktivity a svislá osa Y představuje koeficient pasivity.

Graf lze rozdělit na čtyři základní části (tzv. kvadranty). První kvadrant (vpravo nahoře) ukazuje rizika s vysokou aktivitou i pasivitou. Druhý kvadrant (vlevo nahoře) znázorňuje rizika s nízkou aktivitou, ale vysokou pasivitou. Třetí kvadrant (vlevo dole) obsahuje rizika s nízkou aktivitou i nízkou pasivitou. V posledním čtvrtém kvadrantu se nacházejí rizika s vysokou aktivitou, ale nízkou pasivitou.

Pro vytvoření výpočet grafu (s 80% všech analyzovaných rizik) byla využita následující rovnice pro výpočet osy X:

$$X = KARi(\max) - \frac{(KARi(\max) - KARi(\min))}{100} * 80$$

Po dosazení:

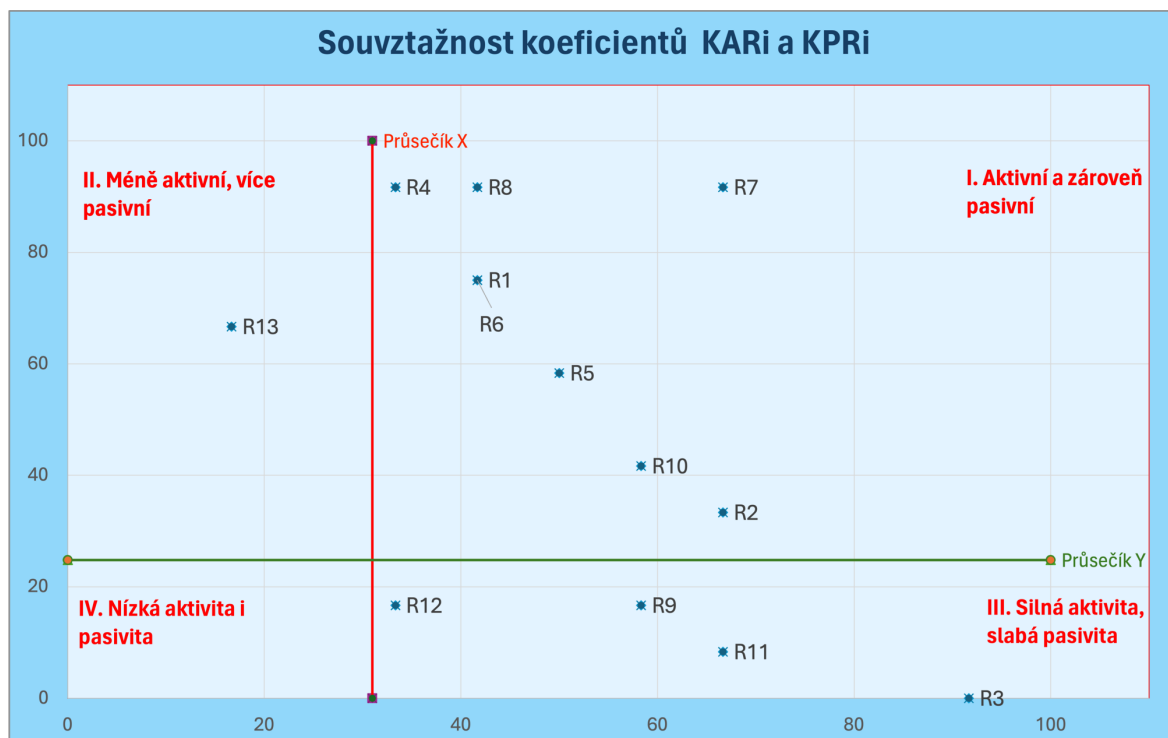
$$X = 92 - \frac{(92 - 17)}{100} * 80 = 31$$

Pro vytvoření Y byla použita rovnice:

$$Y = KPRi(\max) - \frac{(KPRi(\max) - KPRi(\min))}{100} * 80$$

Po dosazení (pro lepší přehlednost byla zvolena hodnota vyšší než 0):

$$Y = 92 - \frac{(92 - 8)}{100} * 80 = 24,8$$



Obrázek 29 Graf souvztačnosti koeficientů KARi a KPRi [vlastní]

Na základě provedené KARS analýzy byla vyhodnocena rizika z hlediska jejich vzájemných vazeb. Pomocí grafu souvztačnosti koeficientů KARi (aktivita) a KPRi (pasivita) bylo možné jednotlivá rizika nejen kvantifikovat, ale také zařadit do významnosti dle jejich dopadu a vlivu na celkový systém. Tyto výsledky byly přehledně znázorněny do čtyř kvadrantů na základě aktivity a pasivity.

Do prvního kvadrantu (aktivní a zároveň pasivní působení) byla zařazena například R7 (nedostatečná komunikace IZS), který představuje nejvýznamnější faktor z hlediska šíření a vzniku dalších rizik. Dále byly zde zařazeny R8 (ztráta/ztracení dronu), R4 (kolize dronu), R1 (ztráta signálu), R6 (nedostatek energie), R5 (selhání techniky), R10 (špatné naplánování letu) a R2 (chyba operátora).

Do druhého kvadrantu (méně aktivní, více pasivní) bylo zařazeno pouze riziko R13 (planý poplach) – tento faktor nemá velký dopad na ostatní prvky, ale je citlivý na okolní vlivy.

Do třetího kvadrantu (silná aktivita a slabá pasivita) se zařadili R9 (neznalost oblasti), R11 (neznalost softwaru), R12 (vliv zvířat) a na závěr R3 (nepříznivé počasí), kde byla pasivita 0 (počasí nelze ovlivnit).

Do posledního čtvrtého kvadrantu (nízká aktiva i pasiva) se v rámci této analýzy nenachází žádné riziko. To znázorňuje, že všechna identifikovaná rizika hrají v systému určitou významnou roli a je potřeba počítat s tím, že mohou nastat.

6.4.1 Návrh opatření

Každý reálný zásah s sebou nese určitá rizika a nepředvídatelné situace, které mohou výrazně ovlivnit úspěšnost akce. Na základě analýzy KARS byly vyhodnoceny rizika, která mohou nastat během využití dronů pro hledání pohřešované osoby.

V této části byly popsány možné návrhy konkrétních opatření, které mají za cíl rizikům předcházet, případně co nejvíce minimalizovat jejich dopad.

R1 – Ztráta signálu: mezi hlavním opatřením patří správné nastavení RTH (návrat na pozici místa vzletu) včetně výšky, v jakém se má bezpilotní dron nacházet před zahájením návratu. Dále je důležité zkontrolovat před startem sílu pokrytí signálu (i během letu, zda se signál nemění).

R2 – Chyba operátora: lidský faktor je poměrně častým zdrojem selhání. Pro minimalizaci chyb operátora je důležité a pravidelné školení či pravidelný výcvik v prostředí s co nejvíce simulující podmínky reálného zásahu. Dále může být vhodné vytvoření postupů a kontrolních činností pro jednotlivé fáze nasazení (před letem, během letu, po letu).

R3 – Nepříznivé počasí: počasí nelze nijak ovlivnit (je možné pouze zvážit, zda je vůbec provoz dronu v danou situaci bezpečný). Pro co nejbezpečnější nasazení bezpilotních prostředků je důležité brát zřetel na jejich odolnost vůči vodě či prachu – u DJI Matrice 4TD je stupeň krytí IP55).

R4 – Kolize s překážkou: před samotným letem je nutné naplánovat trasu tak, aby se co nejvíce vyhýbala překážkám (stromům či jiné vegetaci). Pokud je dron vybavený anti-kolizními senzory, je nutné kontrolovat, zda jsou zapnuté a splňují podmínky k jejich funkčnosti (maximální možná rychlost).

R5 – Selhání techniky: selhání techniky může nastat i při správném používání (například z důvodu výrobní vady či opotřebení). Nejlepším opatřením u tohoto rizika je zavedení kontroly technického stavu před a po nasazení (kalibrace senzorů, kontrola napětí baterie nebo kontrola stavu vrtulí). V některých případech je vhodné mít k dispozici některé náhradní díly, které lze vyměnit, aby se předešlo větším škodám – například vyměnění poškozených vrtulí.

R6 – Nedostatek energie: klíčové je pravidelně monitorovat stav baterie v reálném čase a používat funkce k automatickému návratu (na základě stavu baterie a vzdálenosti místa vzletu). Při monitorování rozsáhlejších území je užitečné mít náhradní baterie a dobíjecí stanice.

R7 – Nedostatečná komunikace mezi složkami IZS: před zahájením mise je nutné určit jednoznačné komunikační kanály a odpovědné osoby pro přenos informací. Zavedení jednoduchého modelu hlášení o stavech mise – nalezení osoby, nalezení stopy (např. předmětu ztracené osoby), případně dalších stavech. Pro usnadněnou komunikaci lze používat například aplikaci DJI Flight Hub 2, která umožňuje náhled z kamery dronu nejen pro operátory dronu, ale také pro ostatní členy týmu (může pomoci s orientací).

R8 – Ztráta/zničení dronu: pro minimalizaci ztráty/zničení dronu je vhodné sledovat aktuální stav dronu (pravidelné kontroly) a dodržovat bezpečnostní opatření. V případě ztráty dronu je vhodné mít aktivováno sledování dronu, aby se následně mohl najít. Je doporučováno také mít připravený záložní alternativní bezpilotní prostředek.

R9 – Neznalost oblasti: nejúčinnějším opatření je využívání aktuálních podkladů z geografických informačních systémů. Dále může pomoci předchozí simulační mise v plánovacím softwaru na zvoleném území (pouze v některých situacích).

R10 – Špatně naplánované trasy: může vést k neefektivnímu pokrytí terénu. Je důležité využívat aktuální profesionální softwary, které umožňují kontrolu výšky, překážky či nejvhodnější nastavení zorného pole kamery. Je vhodné také provést kontrolu zvolené trasy s ostatními členy týmu.

R11 – Neznalost softwaru pro plánování letu: je doporučováno praktická výuka softwaru, simulace modelových situací nebo vytvoření uživatelských návodů, do kterých může pilot dronu nahlédnout při práci v terénu.

R12 – Vliv zvířat: je vhodné zvolit výšku letu, která minimalizuje kolize se zvířaty (ptáky).

R13 – Planý poplach: je myšleno ve smyslu falešné interpretace termovizních dat. Jedním z doporučení je využívat více typů záznamů, které lze porovnávat (například termovizní a optický záznam). Další metodou je nasnímání objektu z více úhlů či menší výšky.

6.5 Plán letu dronu

V této části praktické části bylo cílem navrhnout plán letu pro vytvořený scénář – pátrání po pohřešované osobě. K plánování trasy byl využit software UgCS v bezplatné verzi (kompatibilní s Windows a macOS), který lze použít k plánování s drony DJI, ale také například FreeFly. I přesto, že v reálných akcích se využívají především pokročilejší placené softwary s mnohem větší škálou nástrojů a pokročilých funkcí, tato volně dostupná varianta nabízí dostatečné možnosti pro ukázkou vizualizace modelového scénáře. [123]

Po stažení a instalaci softwaru byl zvolen model dronu (v tomto případě musel být pro ukázkou zvolen DJI Matrice 4T – dron DJI Matrice 4TD v softwaru zatím není k dispozici).

Poté byly nastaveny další letové parametry:

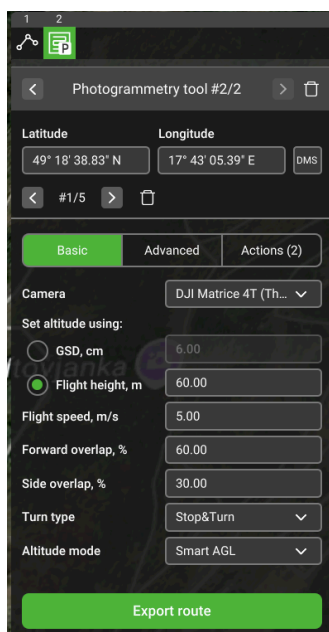
Letová výška: 60 metrů nad terénem (Smart AGL režim) – dron se automaticky přizpůsobuje změnám v nadmořské výšce terénu, což umožňuje zachování konstantní výšky nad zemí a zvýšit kvalitu konzistentního záznamu z termovizní kamery.

Rychlost: 5 m/s

Překrytí snímku (forward overlap): 60% - překrytí mezi po sobě jdoucími snímky ve směru letu – zvyšuje pravděpodobnost, že i v případě výkyvu dronu kvůli větru nebo změn terénu nebude chybět žádná část scény, navíc je potřeba počítat se situací, kdy se pohřešovaná osoba pohybuje.

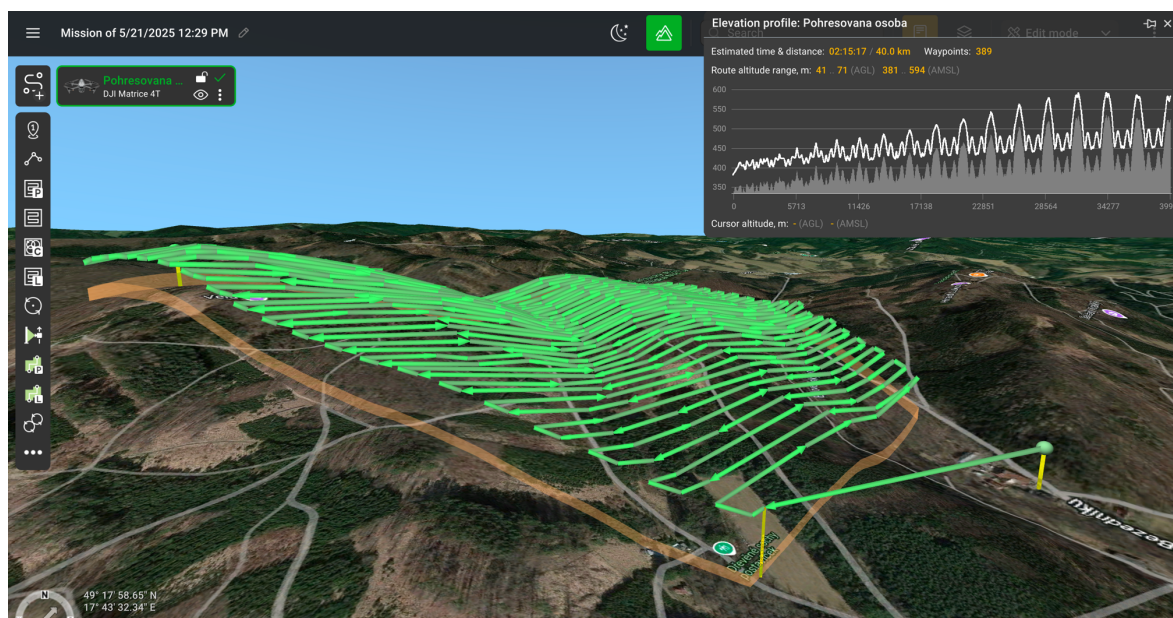
Boční překrytí (side overlap): 30% - znázorňuje, do jaké míry se překrývají sousední linie letu. Větší překrytí poskytuje kvalitnější výstup a větší detekci detailů, které by v jednom směru mohlo být obtížně viditelné (např. stín, hustý porost, skála apod.).

Režim letu v zatáčkách: Stop&Turn – dron na konci linie zastaví, otočí se na další letovou dráhu a poté začne letět po vyznačené linii.

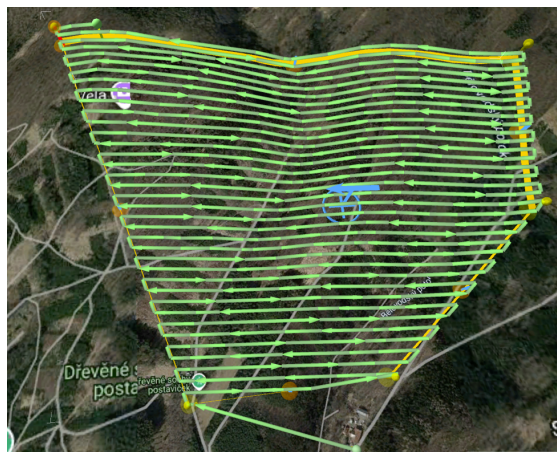


Obrázek 30 Nastavení parametrů pro let [vlastní]

Následně pomocí nástroje „Photogrammetry tool“ byla označena zkoumaná oblast a pomocí „Add first waypoint“ se zvolil bod, kde bude dron vzlétat (místo, kde bude základna pro operátora dronu). Bylo také nutné určit směr letových linií, podle kterých bude dron vykonávat let – v tomto případě byla zvolena metoda od nejnižší části až po nejvyšší oblasti, aby se minimalizovala změna letové výška a tím se ušetřila kapacita baterie.



Obrázek 31 Nastavení pátracího území a místa bodu vzletu [vlastní]



Obrázek 32 Vizualizace plánované letové trasy v UgCS [vlastní]

Po vytvoření letového plánu jsme získali výškový profil celého letu a další důležité informace. Let začíná v nejnižších výškách od zhruba 380 m n. m a končí ve výškách zhruba 594 m n. m, přičemž se dron drží ve výškovém rozmezí mezi 41 a 71 metrů. Celková vzdálenost, kterou by musel dron v tomto případě absolvovat činí cca 40 km s předpokládaným časem mise 2 hodiny a 15 minut, přičemž v plánu je celkem 389 bodů (waypointů).



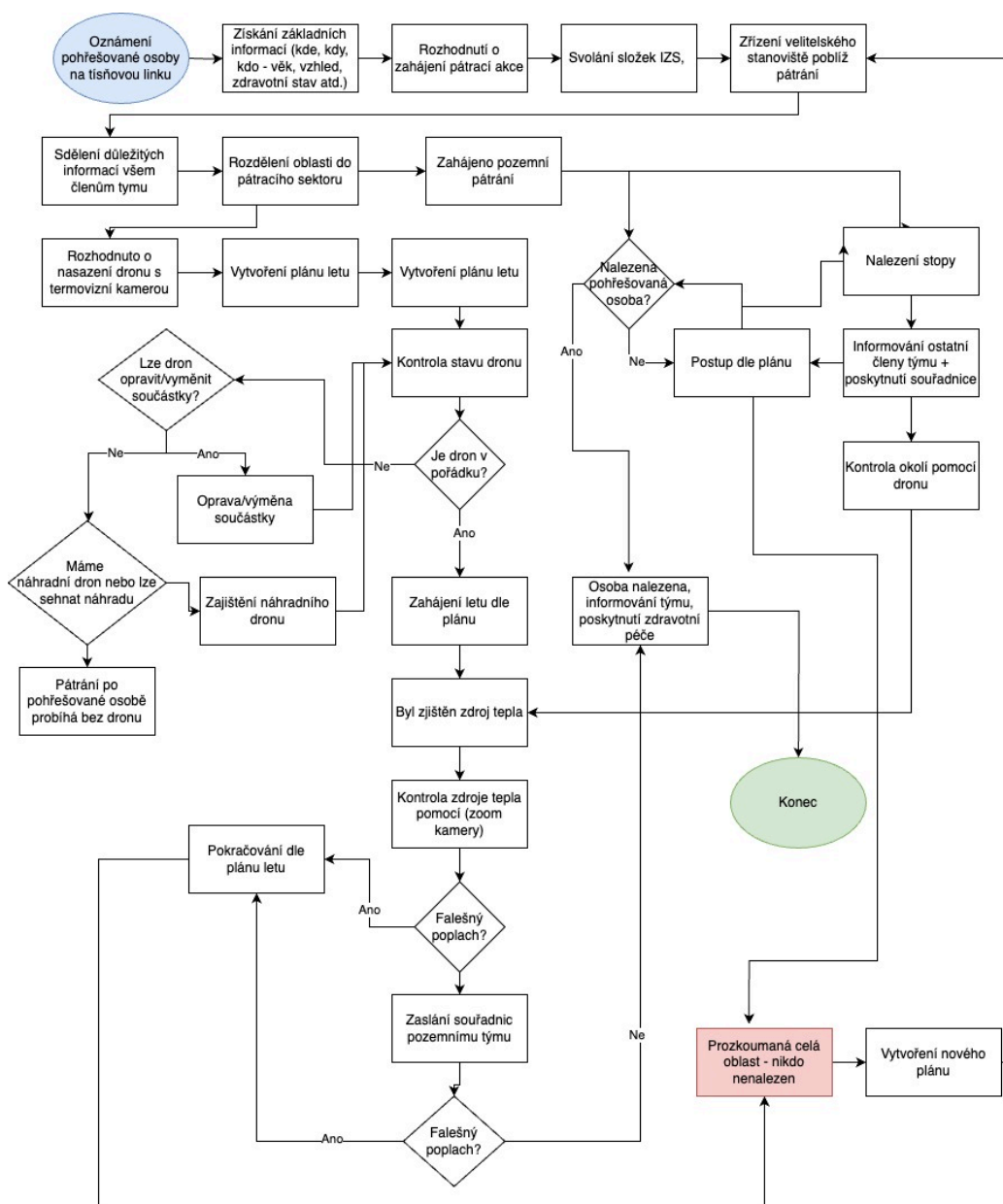
Obrázek 33 Výškový profil plánovaného letu [vlastní]

Aby bylo možné uskutečnit plánované lety s dronem DJI Matrice 4TD bylo by zapotřebí alespoň 4 plně nabitých baterie (lépe 5 a více). Tento výpočet je zohledněn nejen samotným letem, který činí přibližně 135 minut, ale také přidanou 25% rezervou (např. pro návrat do výchozího bodu, vliv větru nebo nepředvídatelné okolnosti). V tomto případě by bylo vhodné mít k dispozici dobíjecí stanice, která by během letu nabíjela další baterie.

Vzhledem k poměrně rozsáhlému území by bylo vhodné zvážit rozdělit oblast do několika menších částí (například ve formě čtvercových sektorů) – to by vedlo k přesnějšímu mapování území, kdyby byla osoba v pohybu.

6.6 Postup IZS

Efektivní pátrání po pohřešované osobě vyžaduje koordinovaný zásah více složek integrovaného záchranného systému (IZS). Spolupráce mezi složkami IZS je klíčová - je vyžadována rychlá reakce, předávání informací a pružně se přizpůsobovat aktuálním podmínkám v terénu. V této kapitole je znázorněn možný modelový postup IZS, ve kterém je využit dron jako podpůrný prostředek během pátrací akce vycházející z vytvořeného scénáře. Jsou zde popsány jednotlivé fáze zásahu – od prvního oznámení, přes vytvoření stanoviště až po nasazení dronu a nález ztracené osoby. Cílem je ukázat, jak by mohla v praxi vypadat spolupráce mezi pozemní jednotkou a operátorem dronu.



Obrázek 34 Možný postup IZS [vlastní]

Simulovaný scénář hledání ztracené osoby v lese posloužil jako praktická ukázka toho, jakým způsobem lze aplikovat bezpilotní letadla do operací záchranných složek. Bylo zvoleno pestré prostředí s otevřenými lesy, hustých porostů, vodních toků a oblastí bez stromů. Jelikož se jedná o náročnější oblast k prozkoumání, byly do multikriteriální analýzy zařazeny drony vybavené termovizní kamerou a zároveň drony disponující krytím IP, protože je nutné počítat i se zhoršeným počasím. Na základě výpočtů multikriteriální analýzy byl zvolen dron DJI Matrice 4TD.

KARS analýza sloužila k identifikaci možných rizik, které během nasazení dronu mohou nastat. I přes možné hrozby se ukázalo, že bezpilotní prostředky přinášejí rychlé a efektivní výsledky.

Následně byl vytvořen letový plán v softwaru UgCS, který kromě trasy letu znázorňuje i průběh letu (výšku, čas atd.), které jsou důležité pro stanovení nezbytného počtu baterií na celou pátrací akci. Na závěr byl vytvořený možný postup IZS pomocí vývojového diagramu.

ZÁVĚR PRAKTICKÉ ČÁSTI

Praktická část diplomové práce měla za cíl popsat současně dostupné technologie bezpilotních prostředků vhodných pro nasazení do krizového řízení a požární ochrany prostřednictvím technických parametrů, scénáře a analýz. Srovnávání bylo zaměřeno nejen na samotné modely dronů, ale také na jejich kamerové systémy. Srovnávané parametry byly zohledněny na jejich praktické využití (nosnost, váha dronu, odolnost, ale také na cenu). Z provedených komparací bylo zjištěno, že bezpilotní technologie jsou v dnešní době natolik vyspělé, že umožňují jejich nasazení v různých typech mimořádných událostí, a to i za nepříznivých podmínkách.

V další části praktické části byl navržen scénář pátrací operace, kde byl krok za krokem demonstrována metodika výběru bezpilotního letadla pomocí multikriteriální analýzy. Na základě zvolených kritérií a jejich hodnot se ukázal jako nejvhodnější pro tuto operaci model DJI Matrice 4TD. Následná KARS analýza vyhodnotila možná rizika, která během nasazení dronu při pátrání po pohřešované osobě mohou nastat.

V poslední části diplomové práce byl vytvořen letový plán v aplikaci UgCS, který sloužil jako praktická ukázka komplexního průběhu nasazení letu – od místa vzletu, trajektorie letu, výškový profil a nadmořskou výškou území až po dokončení celého plánu letu.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo analyzovat současné možnosti využití bezpilotních systémů v rámci krizového řízení a požární ochrany, ale také identifikovat možné omezení. Tento cíl byl splněn prostřednictvím komplexního přístupu, jenž zahrnoval teoretický rozbor dostupných technologií, legislativního rámce (včetně předpisů upravující využití dronů v krizových situacích) a praktickou aplikací formou detailních komparačních analýz a scénářů využití.

V teoretické části diplomové práce byly nejprve objasněny základní pojmy související s teorií krizového řízení a požární ochrany, ale také legislativní požadavky na provoz bezpilotních prostředků v České republice a v rámci Evropské unie. V další části byly podrobně představeny současně dostupné technologie dronů, jako jsou optické a termovizní kamery, multispektrální senzory a technologie pro autonomní řízení včetně umělé inteligence. Teoretická část poskytla potřebný základ pro pochopení možnosti a možných limitů při nasazování bezpilotních systémů.

V praktické části byla první část věnována porovnání vybraných dronů, externích a integrovaných kamerových systémů z hlediska jejich technických parametrů. Na základě získaných technických parametrů byly sestaveny komparační tabulky pro lepší přehlednost rozdílů mezi jednotlivými modely. Tato analýza prokázala, že výběr je velmi závislý na konkrétní požadavky krizové situace a provozovatele dronu. Ukázalo se, že je nezbytné se na tyto parametry zaměřit, protože i když jsou některé drony stavěny pro profesionální účely, mohou mít některé omezení – například DJI Matrice 4T nedisponuje stupněm krytí, který je nezbytný pro využívání v nepříznivých podmínkách.

V další části praktické části byl navržen scénář pohřešované osoby v lese, který sloužil k simulaci reálné situace, ve které je důležité rychle a efektivně identifikovat vhodnou technologii a postupy pro úspěšné provedení operace. Pro výběr vhodného dronu byla vytvořena multikriteriální analýza, která na základě zvolených kritérií a váhových hodnot stanovených pro tento scénář, určila, jaký dron by mohl být nejvhodnější – v tomto případě nejlépe dopadl model DJI Matrice 4TD. Následně pro zvolený dron byly znázorněny silné a slabé stránky, příležitosti a hrozby pomocí SWOT analýzy. Aby se identifikovaly možné hrozby, které mohou ve scénáři nastat, byla vytvořena KARS analýza a popsány možné zabezpečení pro minimalizaci vzniku hrozeb.

Poté bylo pomocí softwaru UgCS vytvořený detailní letový plán, který přesně definoval letovou trasu, výšku a důležité parametry, který mají vliv na úspěch operace. Na závěr bylo znázorněn možný postup IZS na vývojovém diagramu v rámci vymyšleného scénáře.

Celkově diplomová práce ukázala, že bezpilotní prostředky mají velký potenciál pro nasazení do krizového managementu a požární ochrany a mohou výrazně přispět k rychlému a efektivnímu řešení mimořádných událostí. Přínos diplomové práce spočívá nejen v analýze současného stavu, ale také vymezení možností a limitů současných technologií bezpilotních systémů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MALINOVSKÝ, Ing. Karel a ZRUCKÝ, Matěj. *10. Krizové řízení v České republice*. Online. Příručka zastupitele. Dostupné z: <https://www.priruckazastupitele.cz/10-krizove-rizeni-v-ceske-republice/>. [cit. 2025-05-26].
- [2] *Krizové řízení*. Online. Bezpečnost.Praha.eu. Dostupné z: <https://bezpecnost.praha.eu/clanky/krizove-rizeni>. [cit. 2025-05-26].
- [3] *Co je to krizové řízení?* Online. Královéhradecký kraj. Dostupné z: <https://www.khk.cz/oblasti/krizove-rizeni/co-je-krizove-rizeni>. [cit. 2025-05-26].
- [4] VILÁŠEK, Josef a ANTUŠÁK, Emil. *Základy teorie krizového managementu*. Online. Karolinum, 2016. ISBN 978-80-246-3454-8. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/kniha/zaklady-teorie-krizoveho-managementu-5709/>. [cit. 2025-05-26].
- [5] *Zákon č. 240/2000 Sb.* Online. Zákony pro lidi. 2000. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-240>. [cit. 2025-05-26].
- [6] VILÁŠEK, Josef a ANTUŠÁK, Emil. *Základy teorie krizového managementu*. Online. Karolinum, 2016. ISBN 978-80-246-3454-8. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/kniha/zaklady-teorie-krizoveho-managementu-5709/>. [cit. 2025-05-26].
- [7] *Nejčastější otázky*. Online. Hzscr.gov. Dostupné z: <https://hzscr.gov.cz/clanek/nejcastejsi-otazky.aspx?q=Y2hudW09NQ%3D%3D>. [cit. 2025-05-26].
- [8] *Krizové plánování*. Online. In: Bezpečnost. Praha. eu. Dostupné z: <https://bezpecnost.praha.eu/clanky/plany-krizoveho-rizeni-v-hl-m-praze>. [cit. 2025-05-26].
- [9] *Zákon č. 239/2000 Sb.* Online. Zákony pro lidi. 2000. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-239>. [cit. 2025-05-26].
- [10] *Zákon č. 254/2001 Sb.* Online. Zákony pro lidi. 2001. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>. [cit. 2025-05-26].

- [11] *Obrana státu, armáda, vojenské právo*. Online. Zákon pro lidi. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/obor/obrana-statu-armada-vojenske-pravo>. [cit. 2025-05-26].
- [12] *Nariadení vlády č. 462/2000 Sb.* Online. Zákon pro lidi. 2000. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-462>. [cit. 2025-05-26].
- [13] *Krizové stavy*. Online. Město Jablunkov. 2019. Dostupné z: <https://www.jablunkov.cz/krizove-stavy/d-3162>. [cit. 2025-05-26].
- [14] *Zákon č. 133/1985 Sb.* Online. Zákon pro lidi. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1985-133>. [cit. 2025-05-26].
- [15] *Co je to požární ochrana a zajištění požární bezpečnosti*. Online. Bepra profi. Dostupné z: <https://www.bepa.cz/blog/d/co-je-to-pozarni-ochrana-a-zajisteni-pozarni-bezpecnosti>. [cit. 2025-05-26].
- [16] *Zákon o požární ochraně (úplné znění)*. Online. Podnikatel.cz. 2024. Dostupné z: <https://www.podnikatel.cz/zakony/zakon-c-133-1985-sb-zakon-o-pozarni-ochrane/uplne/#cast3>. [cit. 2025-05-26].
- [17] *Kategorizace staveb z hlediska požární ochrany*. Online. POŽARNÍOCHRANA.CZ. 2021. Dostupné z: <https://www.pozarni-ochrana.cz/kategorizace-staveb-z-hlediska-pozarni-ochrany/>. [cit. 2025-05-26].
- [18] *Vyhláška č. 460/2021 Sb.* Online. Zákon pro lidi. 2021. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-460>. [cit. 2025-05-26].
- [19] *Integrovaný záchranný systém*. Online. Hzsrb.gov.cz. 2009. Dostupné z: <https://hzsrc.gov.cz/clanek/integrovaný-zachranny-system.aspx>. [cit. 2025-05-26].
- [20] VILÁŠEK, Josef; FIALA, Miloš a VONDRÁŠEK, David. *Integrovaný záchranný systém ČR na počátku 21. století*. Online. Karolinum, 2023. ISBN 978-80-246-5092-0. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/kniha/integrovaný-zachranny-system-cr-na-pocátku-21-stoleti-12196/>. [cit. 2025-05-26].
- [21] *Zákon č. 239/2000 Sb.* Online. Zákon pro lidi. 2000. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-239>. [cit. 2025-05-26].
- [22] VILÁŠEK, Josef. *Krizový management*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, 2014. ISBN 978-80-7454-439-6

- [23] *Legislativa upravující provoz dronů*. Online. Létejte zodpovědně. Dostupné z: https://letejtezodpovedne.cz/vse_o LETANI/legislativa/souvisejici_legislativa. [cit. 2025-05-26].
- [24] *Drony legislativa 2025*. Online. EKO-DRONY. 2023, 2024. Dostupné z: <https://www.eko-drony.cz/radce/drony-legislativa/>. [cit. 2025-05-26].
- [25] *Pravidla pro létání s drony 2024 (LEGISLATIVA)*. Online. Alza.cz. 2024, 2024. Dostupné z: <https://www.alza.cz/pravidla-pro-drony-legislativa>. [cit. 2025-05-26].
- [26] *Otevřená kategorie (OPEN)*. Online. Úřad pro civilní letectví. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/otevrena-kategorie-open/>. [cit. 2025-05-26].
- [27] *Bez pilota: Jak na létání s drony – 2. díl*. Online. In: ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČR, S.P. YouTube. 2025. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Z-uy2y9C3JI>. [cit. 2025-05-26].
- [28] *Řízení letového provozu České republiky*. Online. In: Létejte zodpovědně. Dostupné z: https://letejtezodpovedne.cz/content/img/clanky/otevrena_se_stitkem.png. [cit. 2025-05-26].
- [29] *Specifická kategorie (SPECIFIC)*. Online. Úřad pro civilní letectví. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/specificka-kategorie-specific/>. [cit. 2025-05-26].
- [30] *Co je to Certified kategorie?* Online. DRONPRO. 2023. Dostupné z: <https://dronpro.cz/co-je-to-certified-kategorie>. [cit. 2025-05-26].
- [31] *Návod na registraci dronu a online test pro pilota dronu krok za krokem*. Online. DRONPRO. 2020. Dostupné z: <https://dronpro.cz/navod-na-registraci-dronu-a-online-test-pro-pilota-dronu-krok-za-krokem?srsId=AfmBOopGzajeZqmSTyU2B4wRD3UisMktIxVx-IISTXmwctMHQT7olHEI>. [cit. 2025-05-26].
- [32] *Létání s dronem*. Online. Gov.cz. Dostupné z: <https://portal.gov.cz/rozcestniky/letani-s-dronem-RZC-101>. [cit. 2025-05-26].
- [33] *Je zapotřebí pojištění?* Online. Úřad pro civilní letectví. Dostupné z: <https://www.caa.cz/uFAQs/je-zapotrebi-pojisteni/>. [cit. 2025-05-26].

- [34] *Jak sjednat pojištění dronu v České republice: Vše, co potřebujete vědět.* Online. UNIQA. 2024. Dostupné z: <https://www.uniqa.cz/pro-media/aktuality/pojisteni-dronu-v-ceske-republice/>. [cit. 2025-05-26].
- [35] *Dálková identifikace dronu.* Online. Dronetag Nápořěda. Dostupné z: <https://help.dronetag.com/cs/knowledge-base/remote-id-explained/>. [cit. 2025-05-26].
- [36] *Pravidla provozu dronů a dalších bezpilotních letadel.* Online. Djishop.cz. Dostupné z: https://www.djishop.cz/blog/pravidla-provozu-drony-bezpilotni-letadla.html?srsltid=AfmBOooJHhtmlElf-vv45mUqTyFsji7M5Ko_tG_ebWzW9-4wp1omjXUX. [cit. 2025-05-26].
- [37] *Apps.* Online. Dronetag. Dostupné z: <https://dronetag.com/apps/>. [cit. 2025-05-26].
- [38] *Dronetag MINI.* Online. DJI Telink. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/dronetag-mini-p17963/>. [cit. 2025-05-26].
- [39] *Co je to vzdušný prostor?* Online. DRONPRO. 2023. Dostupné z: https://dronpro.cz/co-je-to-vzduzny-prostor?srsltid=AfmBOoob-Px6DlnTnByaRS_QK-qrnLLIrEX94u9a-d1IivfpdlWDZclM. [cit. 2025-05-26].
- [40] HABRNAL, Lukáš. *Třídý vzdušného prostoru.* Online. AirGuru. Dostupné z: <https://www.airguru.cz/clanky/tridy>. [cit. 2025-05-26].
- [41] *Obecné informace.* Online. Úřad pro civilní letectví. Dostupné z: <https://www.caa.gov.cz/provoz/bezpilotni-letadla/zemepisne-zony/obecne-informace/>. [cit. 2025-05-26].
- [42] *Zeměpisné zóny.* Online. Létejte zodpovědně. Dostupné z: https://letejtezodpovedne.cz/vse_o_letani/kde_mohu_letat/zemepisne_zony. [cit. 2025-05-26].
- [43] *Zeměpisné zóny – informujte se, kde můžete se svým dronem létat.* Online. EASA. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/cs/light/topics/geo-zones-know-where-fly-your-drone>. [cit. 2025-05-26].
- [44] *Přehled zeměpisných zón pro bezpilotní systémy bez vlivu na klasický provoz s pilotem na palubě.* Online. Úřad pro civilní letectví. Dostupné z: <https://www.caa.gov.cz/provoz/bezpilotni-letadla/zemepisne-zony/prehled->

- zemepisnych-zon-pro-bezpilotni-systemy-bez-vlivu-na-klasicky-provoz-s-pilotem-na-palube/. [cit. 2025-05-26].
- [45] *UAS (Unmanned Aircraft Systems) – drony*. Online. AIM Letecká informační služba. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/?lang=cz&p=uas-drony>. [cit. 2025-05-26].
- [46] *Co je to Řízení letového provozu bezpilotních systémů?* Online. DRONPRO. 2024. Dostupné z: <https://dronpro.cz/co-je-to-rizeni-letoveho-provozu-bezpilotnich-systemu>. [cit. 2025-05-26].
- [47] *U-space*. Online. Létejte zodpovědně. Dostupné z: https://letejtezodpovedne.cz/vse_o_letani/budoucnost/u_space. [cit. 2025-05-26].
- [48] *Drony jako doručovatelé balíků i léků jsou zase blíž díky U-Space*. Online. DRONPRO. 2020. Dostupné z: https://dronpro.cz/drony-jako-dorucovatele-baliku-i-leku-jsou-zase-bliz-diky-u-space?srsltid=AfmBOorlPam6jyOVSZbaol_dOqRMRsOFOqmAthzESy07nbt-mctX49Wp. [cit. 2025-05-26].
- [49] PÁNEK, Jiří. *Sdružení firem AirMap / UpVision zvítězilo v tendru na poskytování služby řízení bezpilotního letového provozu pro řízený vzdušný prostor v České republice (TZ)*. Online. Gisportal. 2018. Dostupné z: <https://gisportal.cz/sdruzeni-firem-airmap-upvision-zvitezilo-v-tendru-na-poskytovani-sluzby-rizeni-bezpilotniho-letoveho-provozu-pro-rizeny-vzdusny-prostor-v-ceske-republice-tz/>. [cit. 2025-05-26].
- [50] *Zákon č. 49/1997 Sb.* Online. Zákony pro lidi. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-49#cast9>. [cit. 2025-05-26].
- [51] *Veřejná vyhláška*. Online. In: . 2025, s. 4. Dostupné z: https://www.caa.gov.cz/wp-content/uploads/2025/02/07_2256-25-701_OOP_LKP382_MSLHZ-CB.pdf?cb=995b276e4e36834db878fc14c2a42d1f. [cit. 2025-05-26].
- [52] *RGB multispectral and lidar for farming*. Online. Dronefly. Dostupné z: https://www.dronefly.com/blogs/tech-breakdown/rgb-multispectral-and-lidar-for-farming-drones?srsltid=AfmBOor8jBOyM9_1kD4s6TUFKALEr00lZ9tMuhTgoih0RKvLwg8trTOG. [cit. 2025-05-26].
- [53] *Co je to optická kamera?* Online. DRONPRO. 2023. Dostupné z: <https://dronpro.cz/co-je-to-opticka->

kamera?srsltid=AfmBOooNamr0oBtofGI9M2rq_LtDrGzpCpqVCFKSac9hALhUAZi
wRjX9. [cit. 2025-05-26].

[54] *Drony s termovizí aneb Když chceš vidět teplo!*. Online. DRONPRO. 2023. Dostupné z: https://dronpro.cz/drony-s-termovizi-aneb-kdyz-chces-videt-teplo?srsltid=AfmBOopN4Pof0qQt8lmMO33si39AQ0w_KjpMqx_C_aSa7_5aWBAQ9j_B. [cit. 2025-05-26].

[55] *Termovize*. Online. Termokamery flir. Dostupné z: <https://termokamery-flir.cz/termovize-od-a-do-z/>. [cit. 2025-05-26].

[56] *Powerfull solutions for your problems*. Online. Workswell. Dostupné z: <https://www.drone-thermal-camera.com/thermal-imaging-camera-uses/>. [cit. 2025-05-26].

[57] GHOSH, Baisali. *How Are Drones Used in Firefighting?* Online. Flytbase. 2025. Dostupné z: <https://www.flytbase.com/blog/drone-fire-fighting>. [cit. 2025-05-26].

[58] *WIRIS Enterprise*. Online. Workswell. Dostupné z: <https://www.drone-thermal-camera.com/wiris-enterprise/>. [cit. 2025-05-26].

[59] *DJI Mavic 3 Thermal - dron s termovizí DJI M3T*. Online. Eko-drony. Dostupné z: <https://www.eko-drony.cz/prumyslove-drony-dji-enterprise/dji-mavic-3-s-termovizi/>. [cit. 2025-05-26].

[60] *Úvod do technologie LiDAR*. Online. Farnell. Dostupné z: https://cz.farnell.com/introduction-to-lidar-technology?srsltid=AfmBOoqMGY5UoaUIi_hMyWyXTF8APUckmi0o_QQ_F608V_Ax-6KQwWVs6. [cit. 2025-05-26].

[61] *LIDAR*. Online. Eko-drony. 2022. Dostupné z: <https://www.eko-drony.cz/radce/lidar/>. [cit. 2025-05-26].

[62] *LiDAR vs fotogrammetrie pro letecký průzkum*. Online. Bezpilotne.cz. Dostupné z: <https://bezpilotne.cz/lidar-vs-fotogrammetrie-pro-letecky-pruzkum/>. [cit. 2025-05-26].

[63] *What is a multispectral camera and how does it work?* Online. UMILES. 2023. Dostupné z: <https://umilesgroup.com/en/what-is-a-multispectral-camera-and-how-does-it-work/>. [cit. 2025-05-26].

- [64] *DJI Mavic 3M*. Online. DJI agriculture. Dostupné z: <https://ag.dji.com/mavic-3-m>. [cit. 2025-05-26].
- [65] *Top 5 Multispectral Drones In 2024*. Online. Coptrz. 2025. Dostupné z: <https://coptrz.com/blog/top-5-multispectral-drones-in-2024/>. [cit. 2025-05-26].
- [66] *Gas Detection Drones: An In-Depth Guide to Drone Leak Detection [New for 2025]*. Online. MFE inspection solutions. 2025. Dostupné z: <https://mfe-is.com/gas-detection-drone/>. [cit. 2025-05-27].
- [67] *DJI U10 - pro únik plynu*. Online. Eko-drony. Dostupné z: <https://www.eko-drony.cz/kamery-a-senzory-pro-drony-dji/kamera-pro-detekci-unik-plynu-drony-dji/>. [cit. 2025-05-27].
- [68] *Měření emisí v Hustopečích nad Bečvou*. Online. IVysílání. 2025. Dostupné z: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/1097181328-udalosti/225411000100308/cast/1101432/>. [cit. 2025-05-27].
- [69] *Sniffer 4D Mini 2*. Online. InfinitDrones. Dostupné z: <https://www.infinitdrones.com/products/sniffer-4d-mini-2>. [cit. 2025-05-27].
- [70] *Sniffer4D*. Online. Sniffer4d. Dostupné z: <https://sniffer4d.eu>. [cit. 2025-05-27].
- [71] *Speedip V2+*. Online. Soarability. Dostupné z: <https://www.soarability.com/speedip-uav-water-sampling>. [cit. 2025-05-27].
- [72] *Speedip Smart Water Sampling System*. Online. Measur. Dostupné z: <https://measurusa.com/products/speedip-smart-water-sampling-system?srsId=AfmBOorHiS41n6zPFGNTu2Eny5CNcBMOS3EPgfrFr6rz-PtH1kO2Wunk&shpxid=1b721a77-925a-4241-b2e1-c734829bedaa>. [cit. 2025-05-27].
- [73] *Smart Water Sampling, odběr vzorků vody z různých hloubek*. Online. DJI Telink. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/smart-water-sampling-odber-vzorku-vody-z-ruznych-hloubek-p24668/>. [cit. 2025-05-27].
- [74] *Sniffer4D Ultrasonic Wind Speed & Direction Sensing Module*. Online. Soarability. Dostupné z: <https://www.soarability.com/wind-sensing>. [cit. 2025-05-27].
- [75] *Sniffer4D Nuclear Radiation Sensing*. Online. Soarability. Dostupné z: <https://www.soarability.com/nuclear-radiation-sensing>. [cit. 2025-05-27].

- [76] *GPR - půdní radar, více variant, SPH Engineering*. Online. DJI Telink. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/gpr-pudni-radar-vice-variant-sph-engineering-p24708/?cid=801>. [cit. 2025-05-27].
- [77] STONER, Jacob. *Drone Autonomy & AI*. Online. Flyeye. 2025. Dostupné z: <https://www.flyeye.io/drone-technology-autonomy-ai/>. [cit. 2025-05-28].
- [78] LEE, Thomas; MCKEEVER, Susan a COURTNEY, Jane. Flying Free: A Research Overview of Deep Learning in Drone Navigation Autonomy. Online. *Drones*. 2021, roč. 5, č. 2. ISSN 2504-446X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/drones5020052>. [cit. 2025-05-28].
- [79] *DJI Dock 3 (Overseas Edition)*. Online. DJI Telink. Dostupné z: [https://www.djitelink.cz/dji-dock-3-overseas-edition-p27737/?utm_source=Google+nákupy&utm_medium=ppc&utm_campaign=DJI+Dock+3+\(Overseas+Edition\)&gad_source=1&gbraid=0AAAAADh5DoeOEbWt2TRXGpUtjPT2DjTmk&gclid=Cj0KCQjw_dbABhC5ARIsAAh2Z-RtHFz0btozkQCPwqPee8DFzDdX0D2uSCi25JvWsiJq6HZXuYrW01AaAkgIEALw_wcB](https://www.djitelink.cz/dji-dock-3-overseas-edition-p27737/?utm_source=Google+nákupy&utm_medium=ppc&utm_campaign=DJI+Dock+3+(Overseas+Edition)&gad_source=1&gbraid=0AAAAADh5DoeOEbWt2TRXGpUtjPT2DjTmk&gclid=Cj0KCQjw_dbABhC5ARIsAAh2Z-RtHFz0btozkQCPwqPee8DFzDdX0D2uSCi25JvWsiJq6HZXuYrW01AaAkgIEALw_wcB). [cit. 2025-05-28].
- [80] *DJI DOCK*. Online. DJI Telink. Dostupné z: <https://enterprise.dji.com/dock>. [cit. 2025-05-28].
- [81] *Autonomní drony*. Online. Eko-drony. Dostupné z: <https://www.eko-drony.cz/autonomni-drony/>. [cit. 2025-05-28].
- [82] *DJI Matrice 4 Series*. Online. DJI Enterprise. Dostupné z: <https://enterprise.dji.com/matrice-4-series>. [cit. 2025-05-28].
- [83] *DJI MATRICE 4 SERIES BRINGS INTELLIGENCE TO AERIAL OPERATIONS*. Online. DJI Enterprise. Dostupné z: <https://enterprise.dji.com/news/detail/matrice-4-series-release>. [cit. 2025-05-28].
- [84] *Intelligent Computing Platform Highlights*. Online. DJI Developer. Dostupné z: <https://developer.dji.com/ai-developer/>. [cit. 2025-05-28].
- [85] *DJI Flighthub 2*. Online. DJI Enterprise. Dostupné z: <https://enterprise.dji.com/flighthub-2>. [cit. 2025-05-28].

- [86] *DJI Dock 3 hlídá jadernou elektrárnu - ochrana perimetru českým softwarem*. Online. DJI TELINK. YouTube. 2025. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Rf35oDsyZKM>. [cit. 2025-05-28].
- [87] *Key Features of DRONEGUARD*. Online. Dronguard. Dostupné z: <https://www.droneguard.com>. [cit. 2025-05-28].
- [88] *Policejní dron*. Online. Eko-drony. 2022. Dostupné z: <https://www.eko-drony.cz/radce/policejni-dron/>. [cit. 2025-05-28].
- [89] GHOST, Baisali. *How Drones are Useful in Forest Fire Response*. Online. Flytbase. 2025. Dostupné z: <https://www.flytbase.com/blog/drones-in-forest-fire-response>. [cit. 2025-05-28].
- [90] LYUN, Mingyang; ZHAO, Yibo; HUANG, Chao a HUANG, Hailong. *Unmanned Aerial Vehicles for Search and Rescue: A Survey*. Online. 2023. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs15133266>. [cit. 2025-05-28].
- [91] MOHD DAUD, Sharifah Mastura Syed; MOHD YUSOF, Mohd Yusmialdil Putera; HEO, Chong Chin; KHOO, Lay See; CHAINCHEL SINGH, Mansharan Kaur et al. *Applications of drone in disaster management: A scoping review*. Online. 2022, roč. 62, č. 1, s. 30-42. ISSN 13550306. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2021.11.002>. [cit. 2025-05-28].
- [92] GHOSH, Baisali. *Drones for Search and Rescue Operations - SAR Drones*. Online. Flytbase. 2025. Dostupné z: <https://www.flytbase.com/blog/drones-for-search-rescue>. [cit. 2025-05-28].
- [93] FUMIAN, Francesca; DI GIOVANNI, Daniele; MARTELLUCCI, Luca; ROSSI, Riccardo a GAUDIO, Pasqualino. *Application of Miniaturized Sensors to Unmanned Aerial Systems, A New Pathway for the Survey of Polluted Areas: Preliminary Results*. Online. *Atmosphere*. 2020, roč. 11, č. 5. ISSN 2073-4433. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/atmos11050471>. [cit. 2025-05-28].
- [94] IQBAL, Umair; RIAZ, Muhammad Zain Bin; ZHAO, Jiahong; BARTHELEMY, Johan a PEREZ, Pascal. *Drones for Flood Monitoring, Mapping and Detection: A Bibliometric Review*. Online. *Drones*. 2023, roč. 7, č. 1. ISSN 2504-446X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/drones7010032>. [cit. 2025-05-28].

- [95] *Povodně* 2024. Online. Hzscre.gov. 2024. Dostupné z: <https://hzscr.gov.cz/clanek/povodne-2024.aspx?q=Y2hudW09MTk%3D>. [cit. 2025-05-28].
- [96] *Using Drones for Critical Infrastructure Protection*. Online. MICROAVIA. Dostupné z: https://microavia.com/news/using_drones_for_critical_infrastructure_protection. [cit. 2025-05-28].
- [97] *Flyability Elios 3*. Online. DronySIT. Dostupné z: <https://www.dronysit.cz/drony/flyability-elios-3/>. [cit. 2025-05-28].
- [98] PECUCH, Martin. *Plzeňské drony jako první v ČR testují transport zdravotnického materiálu*. Online. Město Plzeň. 2025. Dostupné z: <https://plzen.eu/o-meste/aktuality/aktuality-z-mesta/plzenske-drony-jako-prvni-v-cr-testuji-transport-zdravotnickeho-materialu/>. [cit. 2025-05-28].
- [99] *DJI Matrice 30T + BASIC Care, 2x akumulátor, nabíjecí stanice*. Online. DJI Telink. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/dji-matrice-30t-basic-care-2x-akumulator-nabijeci-stanice-p19827/?cid=388>. [cit. 2025-05-28].
- [100] *DJI Matrice 30T + BASIC Care, 2x akumulátor, nabíjecí stanice*. Online. DJI Telink. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/dji-matrice-30t-basic-care-2x-akumulator-nabijeci-stanice-p19827/?cid=388>. [cit. 2025-05-28].
- [101] *Dron DJI Matrice 350 RTK + Care Enterprise Basic na 2 roky*. Online. DRONPRO. Dostupné z: <https://dronpro.cz/dron-dji-matrice-350-rtk-care-enterprise-basic-na-2-roky>. [cit. 2025-05-28].
- [102] *Dron DJI Matrice 300 RTK*. Online. DRONPRO. Dostupné z: <https://dronpro.cz/dron-dji-matrice-300-rtk?srsId=AfmBOooykT2mStHWHwKMzvn9SkkkevoQYNnuN7Q4rdRB-qk0se1fi7IU>. [cit. 2025-05-28].
- [103] *Dron pro nejnáročnější operační úkoly - DJI Matrice 300 RTK + Enterprise Shield - spyshop24.cz*. Online. SpyShop. Dostupné z: <https://www.spyshop24.cz/dron-pro-nejnarocnejssi-operacni-ukoly-dji-matrice-300-rtk-enterprise-shield-2570.html>. [cit. 2025-05-28].
- [104] *Testovačka novinky DJI Matrice 300: Obra mezi profesionálními drony*. Online. DRONPRO. 2020. Dostupné z: <https://dronpro.cz/testovacka-novinky-dji-matrice-300->

- obra-mezi-profesionalnimi-drony?srsltid=AfmBOorSDXdOnYgZ0SmMnjnkg28XoxxDp7bhsG9-NTdYd2_HKf3gDkpi. [cit. 2025-05-28].
- [105] *DJI Matrice 4T, Termokamera, Care Enterprise Plus*. Online. DJI Telink. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/dji-matrice-4t-termokamera-care-enterprise-plus-p27347/?cid=956>. [cit. 2025-05-28].
- [106] *DJI Matrice 4 Series*. Online. DJI Enterprise. Dostupné z: <https://enterprise.dji.com/matrice-4-series>. [cit. 2025-05-28].
- [107] *DJI Matrice 4TD, Care Plus*. Online. DJI Telink. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/dji-matrice-4td-care-plus-p27778/?cid=385>. [cit. 2025-05-28].
- [108] *Mavic 3 Thermal SP, CARE 1 rok, 2 výměny*. Online. DJI Telink. Dostupné z: https://www.djitelink.cz/mavic-3-thermal-sp-care-1-rok-2-vymeny-p19684/?utm_source=Google+nákupy&utm_medium=ppc&utm_campaign=Mavic+3+Thermal+SP,+CARE+1+rok,+2+výměny&gad_source=1&gad_campaignid=18136594227&gbraid=0AAAAADh5DofNzhZvgkfhguzMVs9imsK8&gclid=CjwKCAjw_pDBBhBMEiwAmY02Nme5j5JCGYtMs6jAsdjCxX434Qu_NUZ1wr4BMoTT9VPW_X3phwkvxhxC5x8QAvD_BwE. [cit. 2025-05-28].
- [109] *Dron DJI Mavic 3T + Care Enterprise Basic na 1 rok*. Online. DRONPRO. Dostupné z: https://dronpro.cz/dron-dji-mavic-3t-care-enterprise-basic-na-1-rok?srsltid=AfmBOoo24XOVIFKpArTHn98Rs1h-0TevB_PLfyH5on4jyACxdSMIYf8m. [cit. 2025-05-28].
- [110] *Dron DJI Matrice 3TD + Care Enterprise Basic na 1 rok*. Online. DRONPRO. Dostupné z: <https://dronpro.cz/dron-dji-matrice-3td-care-enterprise-basic-na-1-rok>. [cit. 2025-05-28].
- [111] *Enterprise Drones Comparison*. Online. DJI. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/products/comparison-small-ent-drones>. [cit. 2025-05-28].
- [112] *Workswell WIRIS Pro a Gremsy S1*. Online. W-TECHNIKA. Dostupné z: <https://w-technika.cz/products/workswell-wiris-pro-gremsy-s1>. [cit. 2025-05-28].
- [113] *WIRIS Pro*. Online. Workswell. Dostupné z: <https://workswell.eu/thermal-drone-camera-inspection-wiris-pro/>. [cit. 2025-05-28].

- [114] *ZENMUSE H20 SERIES*. Online. DJI Enterprise. Dostupné z: <https://enterprise.dji.com/zenmuse-h20-series?site=enterprise&from=nav>. [cit. 2025-05-28].
- [115] *Hybridní kamera Zenmuse H20T Quad-Sensor Solution + DJI Enterprise Shield BASIC*. Online. DRONPRO. Dostupné z: <https://dronpro.cz/hybridni-kamera-zenmuse-h20t-quad-sensor-solution?srsId=AfmBOoobsgzYZMu9FSCy25Rc4cbVGs7nhb1L74X0MwoeiRgSLSZWBAop>. [cit. 2025-05-28].
- [116] *Zenmuse H20N*. Online. DJI Enterprise. Dostupné z: <https://enterprise.dji.com/zenmuse-h20n>. [cit. 2025-05-28].
- [117] *Noční kamera na drony DJI Zenmuse H20N*. Online. DRONPRO. Dostupné z: https://dronpro.cz/nocni-kamera-na-drony-dji-zenmuse-h20n?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Dronpro-PMAX-Prislusenstvi&utm_id=18084028024&gad_source=1&gad_campaignid=17347377266&gbraid=0AAAAADPw9JsPzYDyMcnYWj9zRQQFS4jJz&gclid=CjwKCAjwraVBBhBjEiwA1r30VLQ4WP9u0p_eX07o4ODmBcP3QzZOD9Bq2SbvmfUw1ntQCqU7PhN7txoCG7cQAvD_BwE. [cit. 2025-05-28].
- [118] *Zenmuse H20N Basic Care - Noční vidění*. Online. DJI Telink. Dostupné z: <https://www.djitelink.cz/zenmuse-h20n-basic-care-nocni-videni-p18443/>. [cit. 2025-05-28].
- [119] *ZENMUSE H30 SERIES*. Online. DJI Enterprise. Dostupné z: <https://enterprise.dji.com/zenmuse-h30-series>. [cit. 2025-05-28].
- [120] *DJI Zenmuse H30T - termokamera pro drony*. Online. Eko-drony. Dostupné z: <https://www.eko-drony.cz/kamery-a-senzory-pro-drony-dji/zenmuse-h30t/>. [cit. 2025-05-28].
- [121] *Zenmuse H30T, Plus Care*. Online. DJI Telink. Dostupné z: https://www.djitelink.cz/zenmuse-h30t-plus-care-p26009/?utm_source=Google+nákupy&utm_medium=ppc&utm_campaign=Zenmuse+H30T,+Plus+Care&gad_source=1&gad_campaignid=18136594227&gbraid=0AAAAADh5DofXWbPGYwtEc8cYLtHucviN4&gclid=CjwKCAjwraVBBhBjEiwA1r30VM9ka8P9iTazB2i5JvVdBxMPKyEX0vRPB2h4GBbe5sD9enusNaLpaBoCltcQAvD_BwE. [cit. 2025-05-28].

- [122] *Pohřešované a hledané osoby - statistika*. Online. Policie České republiky. 2024. Dostupné z: <https://policie.gov.cz/clanek/pohresovane-a-hledane-osoby-statistika.aspx>. [cit. 2025-05-28].
- [123] *Introducing*. Online. SPH Engineering. Dostupné z: <https://www.sphengineering.com/flight-planning/ugcs>. [cit. 2025-05-28].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Základní legislativní architektura krizového řízení v ČR [1].....	14
Obrázek 2 Ukázka plánu krizového řízení v hl. m. Praze [8]	17
Obrázek 3 Kategorie a jejich pravidla [28]	27
Obrázek 4 Štítky na drony 0-6 [25]	29
Obrázek 5 Doklad o absolvování online výcviku [24]	31
Obrázek 6 Dronetag mini [38]	34
Obrázek 7 Externí termovizní kamera Workswell Wiris [58]	43
Obrázek 8 DJI Mavic 3 Thermal s integrovanou termovizní kamerou [59].....	43
Obrázek 9 DJI Matrice 300 RTK s LiDAR DJI Zenmuse L1 [62].....	45
Obrázek 10 Dji Mavic 3 M [64].....	46
Obrázek 11 DJI Matrice 30T se senzorem Sniffer 4D [70]	48
Obrázek 12 Zařízení Smart Water Sampling pro odběr vzorků vody [73].....	49
Obrázek 13 Zařízení Sniffer4D Nuclear Radiation Sensing pro měření radiace [75]	50
Obrázek 14 Půdní radar [76].....	50
Obrázek 15 Autonomní dokovací stanice DJI Dock [3]	52
Obrázek 16 Algoritmus pro detekování aut [84]	53
Obrázek 17 Viditelnost osob v kouři [88].....	55
Obrázek 18 DJI Matrice 30T [100].....	63
Obrázek 19 DJI Matrice 350 RTK [101]	64
Obrázek 20 DJI Matrice 300 RTK [102]	66
Obrázek 21 DJI Matrice 4T [105].....	68
Obrázek 22 DJI Mavic 3T [108].....	69
Obrázek 23 DJI Matrice 3TD [110].....	71
Obrázek 24 Zenmuse H20T [115]	77
Obrázek 25 DJI Zenmuse H20N [118]	78
Obrázek 26 DJI Zenmuse H30T [121].....	79
Obrázek 27 Předpokládaná oblast výskytu pohřešované osoby [vlastní]	84
Obrázek 28 Předpokládaná oblast výskytu pohřešované osoby - letecký snímek [vlastní].	84
Obrázek 29 Graf souvztačnosti koeficientů KARi a KPRi [vlastní]	95
Obrázek 30 Nastavení parametrů pro let [vlastní]	99
Obrázek 31 Nastavení pátracího území a místa bodu vzletu [vlastní]	99
Obrázek 32 Vizualizace plánované letové trasy v UgCS [vlastní]	100
Obrázek 33 Výškový profil plánovaného letu [vlastní]	100
Obrázek 34 Možný postup IZS [vlastní].....	101

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Srovnávací tabulka vybraných dronů [vlastní]	73
Tabulka 2 Porovnání dronů DJI Matrice 4T a DJI Matrice 4TD [vlastní]	75
Tabulka 3 Srovnávací tabulka kamerových systémů [vlastní].....	81
Tabulka 4 Pohřešované osoby za rok 2023 [122]	83
Tabulka 5 Srovnání využití bezpilotního letadla a vrtulníku [vlastní].....	85
Tabulka 6 Parametry a jejich váha [vlastní].....	86
Tabulka 7 Nejnižší a nejvyšší hodnoty u zvolených dronů [vlastní]	87
Tabulka 8 Multikriteriální analýza dronů [vlastní]	87
Tabulka 9 SWOT analýza DJI Matrice 4TD [vlastní]	89
Tabulka 10 KARS analýza rizik při hledání pohřešované osoby [vlastní]	92
Tabulka 11 Hodnoty aktivity a pasivity rizik v % [vlastní]	93

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

FO	Fyzická osoba
PO	Právnícká osoba
HZS	Hasičský záchranný sbor
IZS	Integrovaný záchranný systém
CBRN	Chemical, Biological, Radiologic and Nuclear
RGB	Red-Green-Blue (barevný model snímání obrazu)
UAS	Unmanned Aircraft System (bezpilotní letecký systém)
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (bezpilotní letoun)
DJI	Da-Jiang Innovations (čínský výrobce dronů a kamerových systémů)
RTH	Return To Home (návrat domu)
RTK	Real-Time Kinematic (technologie přesného určování polohy)
GPS	Global Positioning System
GNSS	Globální navigační satelitní systém
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunites, Threats
UTM	Unmanned Traffic Management
ÚCL	Úřad pro civilní letectví
EU	Evropská unie
OkP	Oprávnění k letu
ID	Identifikační číslo
OSVČ	Osoba samostatně výdělečně činná
IČO	Identifikační číslo osoby
DRI	přímá dálková identifikace
NRI	síťová dálková identifikace
EASA	Evropská agentura pro bezpečnost letectví
ŘLP	Řízení letového provozu

NETD Noise Equivalent Temperature Difference (ekvivalent teplotní rozdíl šumu)

FOV Field of View (zorné pole)

LiDAR Light Detection and Ranging

IMU Inertial Measurement Unit

NIR Near Infrared (blízké infračervené záření)

MIR Mid Infrared (střední infračervené záření)

TIR Thermal Infrared (termální infračervené záření)

OGI Optical Gas Imaging (optické zobrazení plynů)

TDLAS Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy

GPR Ground Penetrating Radar (georadar)

AI Artificial Intelligence (umělá inteligence)

3D Three-Dimensional (trojrozměrný)

IP Ingress Protection (stupeň krytí)

MP Megapixel

4G Fourth Generation (čtvrtá generace mobilních sítí)

CE Conformité Européene (evropská shoda)

CSM Collision Avoidance System Module (modul systému pro vyhýbaní se kolizím)

CMOS Complementary Metal-Oxide Semiconductor

Hz Hertz

PX Pixel

LRF Laser Range Finder (laserový dálkoměr)

UgCS Universal ground Control Software (plánovací software pro drony)