



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Tomáš Tlučoř

Porovnání detekčních systémů proti UAS

Bakalářská práce

2020



K621**Ústav letecké dopravy**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Tomáš Tluchoř

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Porovnání detekčních systému proti UAS**

Název tématu (anglicky): Comparison of Detection Systems Against UAS

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

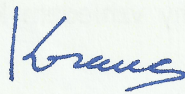
- Cílem práce je porovnat detekční systémy, jejich využitelnost, provést analýzu pro jejich použití a na základě výsledků vybrat nejvíce vyhovující systémy vzhledem k navrženým kritériím.
- Potřeba ochrany před UAS
- Charakteristika jednotlivých detekčních systémů a technologií
- Návrh metody porovnání možností detekce
- Vyhodnocení systémů podle kritérií a stanovení nejlepších možností

- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Radar Handbook ; editor in Chief M. I. Skolnik. 2. ed. New York: McGraw-Hill Publishing Company, 1990
AUSTIN, Reg. Unmanned aircraft systems: UAVs design, development and deployment. Wiley, 2010
Nařízení Evropské komise 2019/945 a 2019/947

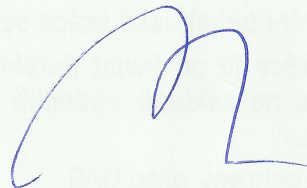
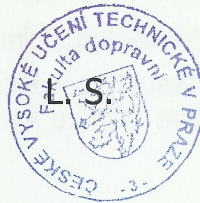
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.**
Ing. Šárka Hulínská

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2019**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **10. srpna 2020**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

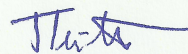


doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Tomáš Tlučoř
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....9. října 2019

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této bakalářské práce. Zvláště pak děkuji panu doc. Ing. Jakubu Krausovi, Ph.D. za odborné vedení, dozor a konzultování bakalářské práce. Dále pak za ochotu a rady, které mi poskytoval po dobu mého studia. Poděkování také patří Ing. Sabině Lajdové za odborné konzultování práce na Letišti Václava Havla Praha. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat rodině, blízkým a přátelům za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 6. srpna 2020



.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Porovnání detekčních systémů proti UAS

Bakalářská práce

srpen 2020

Tomáš Tluchoř

ABSTRAKT

Bezpilotních systémů neustále přibývá, a proto je třeba korigovat jejich pohyb, dále je regulovat, monitorovat a projevit určitou snahu o omezení hrozeb s ním spojených. S jejich neustále se zvyšujícími počty totiž roste riziko možného vzniku ohrožení. Aby se předešlo těmto možným nedopatřením, je k tomu zapotřebí výběru a následného pořízení detekčních systémů z dostupných možností na současném trhu. Proto předmětem této bakalářské práce „Porovnání detekčních systémů proti UAS“ je vytvoření metody, dle které se dají detekční systémy porovnat, a dle které se stanoví nejvhodnější detekční systémy pro dané subjekty. Metoda je založena na porovnání konkrétních hodnot jednotlivých detekčních systémů, které se liší svým významem pro jednotlivé subjekty. Dle osobních preferencí si pak každý sám nastaví váhu daných hodnot. Každý subjekt má různé požadavky, nároky a kritéria pro výběr detekčního systému, metoda je tak vytvořena pro kompatibilitu za každé situace. To znamená, že touto metodou se bude moci řídit kterýkoliv subjekt a k porovnání bude moci být použit jakýkoliv výběr detekčních systémů.

KLÍČOVÁ SLOVA

bezpilotní systém, detekční systém proti UAS, subjekt, technologie, kritéria, detekce

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of transportation sciences

Comparison of Detection Systems Against UAS

Bachelor thesis

August 2020

Tomáš Tluchoř

ABSTRACT

The number of unmanned aircraft systems are currently increasing, and therefore it is desirable to regulate their movement, further monitor it, and make an effort to reduce threats associated with it. With their numbers constantly increasing, the percentage of risks and possible threats is growing. To avoid these possible oversights, this requires the selection and subsequent acquisition of detection systems from several options on the market. Therefore, the subject of this bachelor thesis "Comparison of detection systems against UAS" is the creation of a method that compares detection systems, according to which the most suitable detection systems for specific subjects are determined. The method is based on the comparison of specific values of individual detection systems, which differ in their significance for individual subjects. According to personal preferences, the user then sets the weight of the given values. Each subject has different requirements, demands, and criteria for selecting a detection system, so the method is compatible in every situation. This means that any subject will be able to follow this method and any selection of detection systems can be used for comparison.

KEYWORDS

unmanned system, detection system against UAS, subject, technology, criteria, detection

Obsah

Úvod	9
1 Potřeba ochrany před UAS	10
1.1 Historie bezpilotních systémů.....	10
1.2 Rozdělení bezpilotních systémů.....	14
1.2.1 Rozdělení podle účelu	14
1.2.2 Rozdělení podle typu konstrukce	14
1.2.3 Rozdělení dle české legislativy.....	16
1.3 Možné ohrožení bezpilotními systémy.....	19
1.3.1 Omezené vzdušné prostory.....	19
1.4 Pozitivní a negativní užití bezpilotních systémů.....	22
1.4.1 Pozitivní užití bezpilotních systémů.....	22
1.4.2 Negativní užití bezpilotních systémů	23
2 Charakteristika jednotlivých detekčních systémů a technologií.....	25
2.1 Používané technologie	25
2.1.1 Primární radar	25
2.1.2 Detektory rádiového spektra (RF detectors)	26
2.1.3 Optické senzory (EO sensors).....	26
2.1.4 Infračervené senzory (IR sensors)	26
2.1.5 Akustické senzory.....	27
2.1.6 Kombinované senzory	27
2.2 Dostupné detekční systémy	28
2.2.1 AeroScope	28
2.2.2 Ardronis	29
2.2.3 AUDES Anti-UAV Defence System	31
2.2.4 Discovair	32
2.2.5 DROM.....	33
2.2.6 Drone Dome	34
2.2.7 DroneTracker.....	35
2.2.8 Elvira.....	36
2.2.9 UAVX	37
2.2.10 Informační tabulka vybraných detekčních systémů.....	39
3 Návrh metody porovnání možností detekce	40
3.1 Kritéria	40

3.1.1 Vyřazovací kritéria	40
3.1.2 Kritéria výběru	41
3.2 Váhy	42
3.2.1 Škálování kritérií	43
3.3 Metoda	45
3.3.1 Obecná definice metody	45
3.3.2 Aplikace metody	45
4 Vyhodnocení systémů podle kritérií a stanovení nejlepších možností.....	49
4.1 Modelový příklad č. 1	49
4.1.1 Postup aplikace metody	49
4.1.2 Výsledek příkladu č. 1.....	51
4.2 Modelový příklad č. 2	52
4.2.1 Postup aplikace metody	52
4.2.2 Výsledek příkladu č. 2.....	54
4.3 Informační tabulka získaných hodnot k jednotlivým detekčním systémům	55
4.4 Validita metody	56
5 Diskuse.....	57
6 Závěr	59
Použité zdroje	61
Seznam obrázků	65
Seznam tabulek.....	66

Seznam použitých zkratk

3D	Trojdimenzionální	Three Dimensional
AFIS	Letištní letová informační příručka	Aerodrome Flight Information
AIP	Letecká informační příručka	Aeronautical Information Publication
AMSL	Nad střední hladinou moře	Above Mean Sea Level
ATS	Letové provozní služby	Air Traffic Services
ATZ	Letištní provozní zóna	Aerodrome Traffic Zone
ARP	Vztažný bod letiště	Aerodrome Reference Point
CTR	Řízený okrsek	Control Zone
CIA	Ústřední zpravodajská agentura	Central Intelligence Agency
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze	Czech Technical University in Prague
EASA	Evropská agentura pro bezpečnost v letectví	European Aviation Safety Agency
EU	Evropská unie	European Union
EUR	Společná evropská měnová jednotka	European Currency Unit
ft	Stopa (<i>měrová jednotka</i>)	Feet (<i>dimensional unit</i>)
IR	Infračervený	Infrared
IZS	Integrovaný záchranný systém	Integrated Rescue System
kg	Kilogram (<i>měrová jednotka</i>)	Kilogram (<i>dimensional unit</i>)
km	Kilometr (<i>měrová jednotka</i>)	Kilometer (<i>dimensional unit</i>)
LKD	Nebezpečný prostor	Dangerous area
LKP	Zakázaný prostor	Prohibited area
LKR	Omezený prostor	Restricted area
LUC	LUC certifikát	Light operator certificate
m	Metr (<i>měrová jednotka</i>)	Meter (<i>dimensional unit</i>)
MCTR	Vojenský řízený okrsek	Military Control Zone
MTOM	Maximální vzletová hmotnost	Maximum Take-Off Mass
NM	Námořní míle	Nautical Miles
PSR	Primární přehledový radar	Primary Surveillance Radar
RADAR	Rádiové rozpoznávání a zaměrování	Radio Detection And Ranging
RF	Radiofrekvenční	Radio Frequency
SSSR	Sovětský svaz	Soviet Union
TRA	Dočasně rezervovaný vzdušný prostor	Temporary Reserved Airspace

TSA	Dočasně vyhrazený prostor	Temporary Segregated Airspace
UAS	Bezpilotní systém	Unmanned Aircraft System
UAV	Bezpilotní letadlo	Unmanned Aircraft Vehicle
UCAV	Bezpilotní bojový vojenský prostředek	Unmanned Combat Aerial Vehicle
USA	Spojené státy americké	United States of America
USAF	Letectvo Spojených států amerických	United States Air Force
WLAN	Bezdrátová lokální síť	Wireless Local Area Network

Úvod

V dnešním světě plném technologií se potýkáme s mnoha problémy, hrozbami a protiprávními činy. Jednou z těchto hrozeb jsou i bezpilotní systémy, které jsou dosti často opomíjeným tématem k diskuzím. Dříve jsme se s těmito systémy potýkali především v oblasti vojenského letectví, dnes však zasahují i do sféry civilní. Vývoj v posledních letech zaznamenal obrovský pokrok vpřed. V civilní sféře se proto bezpilotní systémy stávají čím dál tím více dostupnějším a oblíbeným zbožím. Tento fakt s sebou přináší mnohá rizika spojená s jejich provozem. Snadná a cenová dostupnost vede k tomu, že mnoho uživatelů není dostatečně informováno o jejich bezpečném provozu a vystavují tak sebe i své okolí značným problémům a nebezpečím. Ochrana a detekce před bezpilotními systémy je proto nezbytně důležitá.

Žijeme v době, kdy není důležité mít přehled pouze o bezpilotních systémech, které spolupracují a nijak neohrožují sami sebe, své okolí, ale je důležité mít přehled hlavně o těch bezpilotních systémech, které se jeví jako potencionální hrozba a neprojevují snahu o spolupráci s danými orgány. Tyto nespolupracující bezpilotní systémy představují hrozby, jakými mohou být teroristické útoky, špionáž strategických míst, objektů či osob, pašování látek a materiálů přes hranice států nebo za perimetr věznic a jiných objektů nebo narušení leteckého provozu a mnohé další.

Hovoříme-li např. o problematice z pohledu letišť, jedná se zde především o rostoucí počet incidentů zapříčiněných právě bezpilotními systémy. Největším rizikem tohoto subjektu je možné ohrožení letadel při vzletu a přistání, kam spadá ohrožení pilota, posádky i celé společnosti. Dále se může jednat o omezení letového provozu jako celku. Tyto hrozby vedou k zavedení ochrany v podobě detekčních systémů proti UAS a jejich případné integraci eliminační funkce.

Cílem této bakalářské práce je definování možných hrozeb způsobených bezpilotními systémy, vymezení existujících technologií detekce bezpilotních systémů, představení a rozbor některých ze systémů a dále pak vytvoření metody pro porovnání detekčních systémů proti UAS a stanovení nejvíce vhodného detekčního systému pro daný subjekt. V bakalářské práci je stanovena metoda, díky které daný subjekt bude moci rychleji a efektivněji najít detekční systém nebo systémy, které budou splňovat všechny jeho požadavky a zvolená kritéria. Ve výsledku pak bude metoda aplikována na dvou vzorových příkladech, dle kterých bude subjekt moci lépe pochopit použití metody v praxi.

1 Potřeba ochrany před UAS

V této kapitole je nezbytné definovat ochranu před bezpilotními systémy (UAS, Unmanned Aircraft System). Budou zde proto důkladně rozebrány základy bezpilotních systémů, kde bude postupováno od historie a rozdělení bezpilotních systémů až po možné ohrožení jimi samými společně s jejich pozitivním a negativním užitím.

1.1 Historie bezpilotních systémů

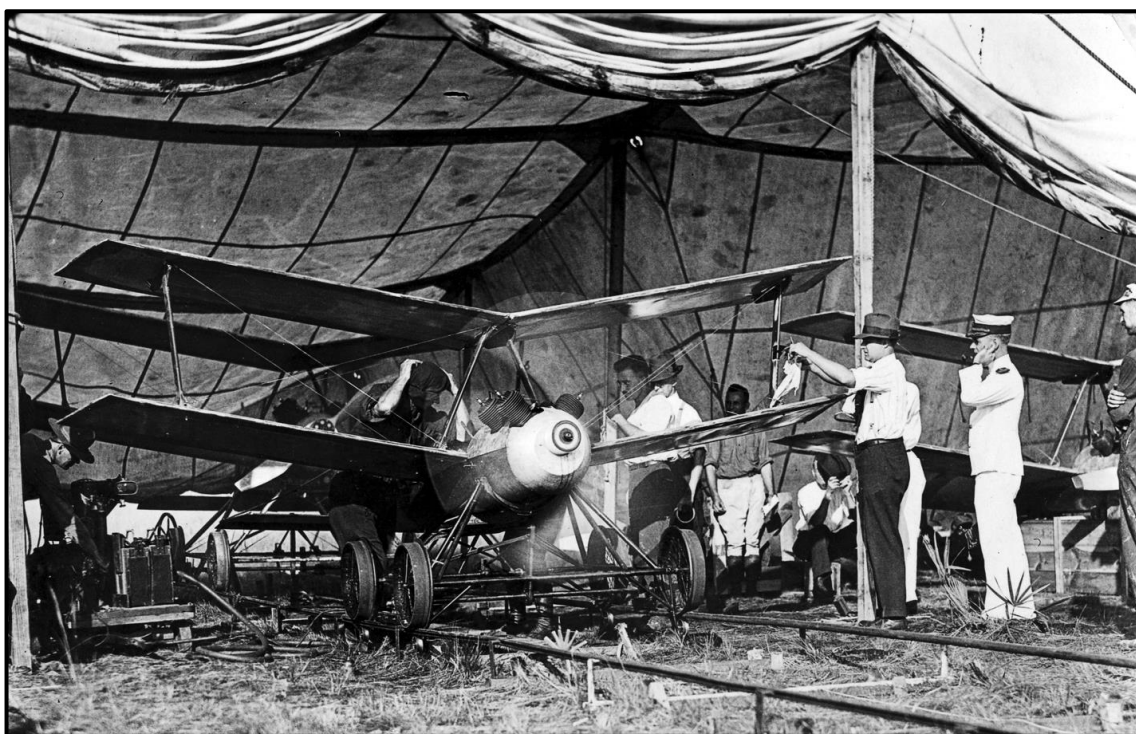
Bezpilotní systémy tu jsou již po celá staletí a byla používána výhradně pro vojenské účely. Historicky první zmínka o použití bezpilotních systémů sahá až do roku 1849. Dne 22. srpna roku 1849 rakouští vojáci zaútočili na Benátky, a to pomocí neřízených balónů, které byly naloženy výbušninami. Balóny byly vypuštěny za účelem zničení určité oblasti Benátek, nicméně změna směru větru způsobila, že většina balónů se vrátila na Rakouské území a tento útok nebyl velmi úspěšný. [1] [2]

Zásluhu o další pokus sestrojení bezpilotního systému má známý americký vynálezce srbského původu, Nikola Tesla. V roce 1898 předvedl svůj vynález na výstavě v Madison Square Garden v podobně rádiem řízené loďky, za kterou stál patent tzv. teleautomatizace. Tento vynález dal podnět k dalšímu rozvoji v oblasti dálkového řízení. Při důkladném zkoumání jeho poznámek se ukázalo, že Nikola Tesla uvažoval i o sestrojení bezpilotního leteckého systému. [3] [4]

V roce 1916 se o první bezpilotní letadlo zasloužil anglický inženýr Archibald Montgomery Low, který byl nazýván otcem radiových systémů. Byl též známý jako vynálezce řízených raket, letadel a torpéd. Jeho první bezpilotní letadlo neslo název Aerial Target neboli Vzdušný cíl. Během první světové války byl letoun určen jak pro obranu proti vzducholodím Zeppelins, kde byl kontrolován ze země, tak jako řízená létající bomba, kde byl bezpilotní letoun kontrolován z doprovodného letounu s posádkou kvůli dosahu radiového signálu, který byl zapotřebí pro jeho řízení. [5]

Ihned po těchto vynálezech následoval vývoj letadel řízených na dálku, která byla konstruována za účelem dálkově řízeného torpéda. Nejznámějším experimentálním bezpilotním letadlem bylo Kettering Bug, které sestrojil s pomocí bratří Wrightů americký vynálezce Charles Kettering. Jednalo se o první létající bombu s automatickým naváděcím systémem. Letoun nebyl vybaven podvozkem, startoval z železničního vozu, který můžeme

vidět na obrázku č. 1. Pravděpodobná kruhová výchylna cíle byla okolo 3 km. Plánované využití stroje bylo pro útoky na německá města, a tak vysoká přesnost nebyla zapotřebí. [6]



Obrázek 1: Kettering Bug [6]

Během druhé světové války se první bezpilotní systémy používaly nejen jako dálkově řízená torpéda, ale také jako terče pro nácvik střelby na letící cíl. Příkladem je bezpilotní systém s názvem The Queen Bee. Radiově řízený letoun byl ve 30. letech 20. století navržen jako cvičný cíl pro britské královské námořnictvo. Trup byl sestaven z dřevěné překližky, kvůli nižší ceně a karburátor byl instalován obráceně, aby zvládl vysoké zrychlení, ke kterému docházelo při startu z katapultu. První let se uskutečnil s posádkou v roce 1935 v Hatfieldu. Později téhož roku byl let dálkově řízen bez posádky. Mezi roky 1933 a 1943 bylo postaveno 412 kusů s možností přistání na vodě. [7]

V 50. letech 20. století používala americká armáda k nácviku střelby bezpilotní systémy Ryan Firebee. Ryan Firebee, jakožto létající terč, byl jeden z prvních bezpilotních systémů, který měl tryskový pohon, a také se jedná o jeden z nepoužívanějších bezpilotních systémů, který sloužil jako terč pro cvičení pilotů. [4]

V 60. letech se bezpilotní systémy začaly používat jako průzkumná letecká zařízení. Svůj účel začaly plnit např. během arabsko-izraelské války nebo během války ve Vietnamu. Následující roky se vývoj bezpilotních systémů přesunul z USA a SSSR do Izraele. Větší uplatnění

sledovacích bezpilotních systémů přichází při mapování válečného konfliktu v 90. letech 20. století v Bosně a Kosovu. [4]

Vojenské bezpilotní systémy se vyvíjely především pro mapování území ve válečných zónách. Velký důraz byl kladen na délku provozu ve vzduchu, dosah ovládnutí v rámci tisíců kilometrů, a také na vysoké rozlišení obrazových dat. Jeden z nejznámějších vojenských bezpilotních systémů je MQ-1 Predator, který můžeme znát pod názvem RQ-1 Predator a můžeme ho vidět na obrázku č. 2. Jedná se o průzkumný bezpilotní letoun ve válečných konfliktech, který byl vyvinut společností General Atomics. Byl využíván především Letectvem Spojených států amerických (USAF, United States Air Force) a Ústřední zpravodajskou agenturou (CIA, Central Intelligence Agency). První let se uskutečnil v roce 1994 a do provozu se dostal o rok později. [8]



Obrázek 2: MQ-1 Predator – vojenský dron firmy General Atomics [4]

Vše se změnilo po teroristickém útoku 11. září 2001. K průzkumným funkcím letounů se začaly přidávat funkce schopného boje. MQ-1 Predator v roce 2002 změnil svůj název z RQ-1 na MQ-1. To znamenalo, že z prvotně výzkumného letounu se stal víceúčelový bezpilotní systém. Byl upraven tak, aby mohl nést a vystřelit rakety AGM-114 Hellfire nebo jiný druh munice. Stal se z něj bezpilotní systém určený k likvidaci teroristů. Dálkově pilotovaný letecký systém Predator je nadále využíván k akcím a během srpna v roce 2011 překonal jeden milion hodin

celkového vývoje, testování a výcviku, což je významný úspěch pro americké letectvo. V České republice sahá vývoj bezpilotních systémů do roku 1999, kde se ve Vojenském technickém ústavu letectva a protivzdušné obrany v Praze podařilo vyvinout bezpilotní průzkumný letoun Sojka III. Můžeme ho vidět na obrázku č. 3. Letoun sloužil primárně pro vzdušný průzkum a monitoring v reálném čase u Pozemních sil Armády České republiky v letech 2000 až 2010, kdy došlo k jeho vyřazení z provozu. Dalším využitím bylo střežení hranic, monitorování dělostřelecké palby, použití jako vzdušný cíl nebo jako nosič infračervených zářičů při nácvičku střelby tepelně naváděných raket. [27]



Obrázek 3: bezpilotní průzkumný letoun Sojka III¹

V současnosti disponují některé armády i nanodrony, které se používají především pro průzkumy interiérů budov a k přenosu obrazu do vzdálenosti několik desítek metrů. [4]

Vývoj bezpilotních systémů zaznamenal v posledních letech obrovský pokrok v nejnovějších technologiích, které jsou základem pro dostupné komerční bezpilotní systémy. Využití tedy přechází i do civilní sféry, kde se čím dál tím častěji setkáváme s běžnými uživateli, kterým slouží k natáčení videí nebo jako zdroj zábavy. K hromadnému rozšíření dostupných bezpilotních systémů přispěla francouzská společnost Parrot, která v roce 2010 představila

¹ Zdroj: <https://www.muzeum-kunovice.cz/sojka-iii-tvm/>

letoun, který je možné ovládat přes WiFi z mobilního zařízení. Další firmy se neustále připojovaly, až v roce 2013 přišla na trh čínská společnost DJI s prvním masově prodávaným bezpilotním letounem DJI Phantom. Snadná a cenová dostupnost vede k tomu, že mnoho uživatelů není dostatečně informováno o jejich bezpečném provozu a vystavují tak sebe i své okolí značným problémům a nebezpečí. Může tak docházet k úrazům, poškození majetku anebo ohrožení letového provozu. Proto je ochrana před bezpilotními systémy nezbytná. [10]

1.2 Rozdělení bezpilotních systémů

Bezpilotní systémy jsou v dnešní době velice rozšířené. Lze je tak dělit dle různých kritérií. Především záleží na tom, jaké aspekty jsou pro člověka důležité. Za jedno z hlavních rozdělení bezpilotních systémů se dá považovat rozdělení podle účelu, a to na kategorii vojenské a civilní. Dalším dělením může být dělení podle typu konstrukce, velikosti, hmotnosti a jiné.

1.2.1 Rozdělení podle účelu

Ve vojenské sféře se bezpilotní systémy neustále vyvíjí a jsou čím dál tím více využívány. Jak už bylo řečeno, bezpilotní systémy byly vynalezeny primárně pro vojenské účely a slouží především pro průzkum a monitoring oblastí, později začali svou službu plnit k přímému útoku na daný cíl. Tyto bezpilotní systémy řadíme do kategorie bezpilotních bojových leteckých prostředků (UCAV, Unmanned Combat Aerial Vehicle). Velký důraz se v této sféře klade na dobu letu, dosah ovládnutí a spolehlivost. [4]

V civilní sféře dělíme bezpilotní systémy pro komerční a nekomerční účely a pro osobní účely. Hlavní odlišností těchto skupin je velikost, hmotnost, použitý materiál, funkce a cena. V komerční sféře se setkáme s použitím bezpilotních systémů především u filmařů pro natáčení filmů nebo reklamních spotů, u zemědělců při monitorování půdy nebo u společností, které vytváří mapové podklady. [4] V nekomerční sféře slouží zejména složkám integrovaného záchranného systému (IZS) nebo pro monitorování kritické infrastruktury státu. [9] Bezpilotní systémy pro osobní účely bývají často velmi malé a cenově dostupné a slouží především běžnému uživateli pro pořizování fotografií či videa z ptačí perspektivy nebo jako zdroj zábavy. [4]

1.2.2 Rozdělení podle typu konstrukce

Podle typu konstrukce sledujeme aspekty jako jsou dolet, manévrovatelnost a rychlost. Dále můžeme podle konstrukce bezpilotní systémy dělit na letouny, které jsou obdobou klasických letadel s křídly. Disponují vysokými rychlostmi a velkým doletem díky klouzavému letu. Jejich účel je primárně pro monitorování a mapování. Pro vzlet se nejčastěji používá vzletová

a přistávací dráha, odpalovací rampa nebo hod z ruky, který se nachází na obrázku č. 4. Přistání může být automatické, z manuálního režimu nebo přistání za použití padáku. Momentálně se můžeme setkávat i s hybridními bezpilotními letouny, které dokáží kolmý vzlet a přistání. [4]

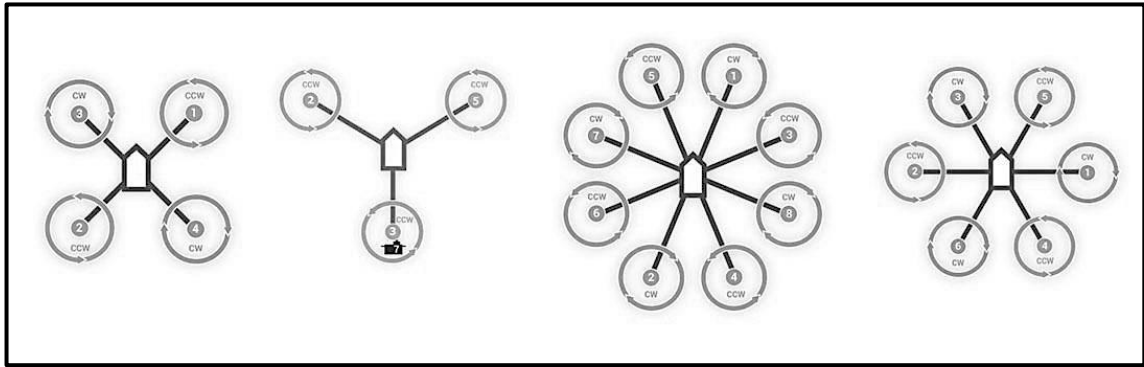


Obrázek 4: vzlet hodem z ruky RQ11-raven²

Nejčastější typ bezpilotního systému a zároveň jeden z nejrozšířenějších konstrukčních typů uspořádání jsou multikoptéry. Multikoptéra umožňuje kolmý vzlet za pomoci určitého počtu vrtulí a motorů. Více vrtulí umožňuje dobrou stabilizaci. Řídí se pomocí změny počtu otáček některých vrtulí, kde dojde ke změně vztlaku. V posledních letech dosáhly velké inovace. Úřad pro civilní letectví považují multikoptéru za vrtulník. Nejčastější dělení multikoptér je podle počtu vrtulí, které můžeme vidět na obrázku č. 5, a to na:

- 4 vrtule (kvadrokoptéry)
- 6 vrtule (hexakoptéry)
- 8 vrtule (oktokoptéry)

² Zdroj: <https://www.army-technology.com/projects/rq11-raven/>



Obrázek 5: uspořádání dle počtu vrtulí³

Pokud jsou vrtule uloženy na ramenech vedle sebe, sousední vrtule se otáčejí opačným směrem. Větší počet vrtulí znamená větší bezpečnost při vzletu a přistání, pokud dojde k poškození jedné z vrtulí nebo motoru. Výhodou je, že multikoptéry ke vzletu a přistání potřebují minimální prostor a mohou létat jak v exteriéru, tak v interiéru. Mezi hlavní nevýhody oproti letounům patří kratší výdrž ve vzduchu. [4] [11]

Bezpilotní vrtulníky jsou další skupinou konstrukčního dělení. Pro stabilitu musí mít bezpilotní vrtulník další rotor, který se bude otáčet vertikálně nebo horizontálně v opačném směru. Oproti multikoptérám bývají většinou větší, a tak dokáží unést větší zátěž potřebnou k daným úkonům. [12]

Dále můžeme konstrukční uspořádání dělit na vzducholodě, balóny a ostatní bezpilotní systémy. V současnosti mají pouze malé využití. Balóny a vzducholodě se mohou používat pro meteorologické činnosti. Meteorologický balón je vypouštěn za účelem měření tlaku, teploty, vlhkosti, rychlosti a směru větru ve volné atmosféře. Bezpilotní vzducholodě se pak dají používat pro průzkumné účely nebo jako nosiče reklamy. [13]

1.2.3 Rozdělení dle české legislativy

Důležitým kritériem je dělení podle velikosti a hmotnosti. Úřad pro civilní letectví stanovil hmotností kategorie podle maximální vzletové hmotnosti (MTOM), které se nacházejí v Předpisu L2 – Pravidla létání dále v kapitole Doplněk X – Bezpilotní systémy. Doplněk X je komplexní předpis o používání bezpilotních prostředků v České republice. [14]

³ Zdroj: <https://www.droni.cz/kvadrokoptera-octocoptera-dron/>

Dělení dle maximální vzletové hmotnosti, na základě [15], je následovné:

- $\leq 0,91$ kg
- $> 0,91$ kg a < 7 kg
- 7 kg – 25 kg
- > 25 kg

Jedná se však o rozdělení dle české legislativy, které bude platit do doby, než bude platit harmonizovaná legislativa Evropské unie (EU, European Union).

1.2.4 Rozdělení dle evropské legislativy

Podle evropské agentury pro bezpečnost letectví (EASA, European Aviation Safety Agency) může být provoz bezpilotních systémů rozdělen do těchto tří kategorií dle [17]:

- otevřená (open) kategorie, u které, s ohledem na rizika, není vyžadováno předchozí povolení příslušného úřadu, ani prohlášení provozovatele bezpilotního systému před jeho provozem, jejíž rozdělení můžeme vidět na obrázku č. 6,
- specifická (specific) kategorie, u které, s ohledem na rizika, je vyžadováno povolení příslušného úřadu před provozem bezpilotního systému, s uvážením zmírňujících opatření v posouzení provozního rizika, s výjimkou standartních scénářů, u kterých je dostačující prohlášení provozovatele nebo v případě, že provozovatel vlastní osvědčení o provozovateli lehkého bezpilotního systému (LUC, Light operator certificate) s náležitými právy,
- certifikovaná (certified) kategorie, u které, s ohledem na rizika, je vyžadována certifikace bezpilotního systému, osvědčení způsobilosti provozovatele a jeho schválení příslušným úřadem, kvůli zajištění dostatečné úrovně bezpečnosti.

Operation		Remote pilot competency (age according to MS legislation)	UAS				UAS operator registration
Subcategory	Area of operation (far from aerodromes, maximum height 120 m)		class	MTOM/ Joule (J)	Main technical requirements (CE marking)	Electronic ID/ geo awareness	
A1 Fly over people	You can fly over uninvolved people (not over crowds)	Read consumer info	Privately built	< 250 g	N/a	No	no
			C0		Consumer information, Toy Directive or <19 m/s, no sharp edges, selectable height limit		
		<ul style="list-style-type: none"> Consumer info online training online test 	C1	< 80 J or <900 g	Consumer information, <19m/s, kinetic energy, mechanical strength, lost-link management, no sharp edges, selectable height limit.		
A2 Fly close to people	You can fly at a safe distance from uninvolved people	<ul style="list-style-type: none"> Consumer info online training online test theoretical test in a centre recognised by the aviation authority 	C2	< 4 kg	Consumer information, mechanical strength, no sharp edges, lost-link management, selectable height limit, frangibility, low-speed mode.	Yes + unique SN for identification	yes
A3 Fly far from people	You should: <ul style="list-style-type: none"> fly in an area where it is reasonably expected that no uninvolved people will be endangered keep a safety distance from urban areas 	<ul style="list-style-type: none"> Consumer info online training online test 	C3	< 25 kg	Consumer information, lost- link management, selectable height limit, frangibility.	if required by zone of operations	
			C4		Consumer information, no automatic flight		
			Privately built		N/a		

Obrázek 6: rozdělení UAS otevřené kategorie dle EASA⁴

Rozdělení bezpilotních systémů otevřené kategorie, které můžeme vidět na obrázku vychází z regulace 2019/947 vydané Evropskou agenturou pro bezpečnost letectví (EASA). [18]

Od 1.7.2020 ale dojde k nové právní úpravě dle práva EU. Bude se jednat o rozdělení do následujících tříd s určitými parametry dle [16]:

- **C0** – maximální vzletová hmotnost nižší než 250 g, maximální rychlost 19 m/s a maximální dosažitelná výška 120 m,
- **C1** – maximální vzletová hmotnost nižší než 900 g, maximální rychlost 19 m/s, maximální dosažitelná výška 120 m (popřípadě vybaven omezovačem výšky) a další požadavky na vybavení, jako jsou ztráta spojení, přímá identifikace na dálku atd.,
- **C2** – maximální vzletová hmotnost nižší než 4 kg (včetně užitečného zatížení), maximální dosažitelná výška 120 m (popřípadě vybaven omezovačem výšky) a další požadavky,
- **C3** – maximální vzletová hmotnost nižší než 25 kg, rozměr menší než 3 m, maximální dosažitelná výška 120 m (popřípadě vybaven omezovačem výšky) a další požadavky,
- **C4** – maximální vzletová hmotnost nižší než 25 kg, bez maximální výšky a rychlosti a další požadavky.

⁴ Zdroj: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Opinion%20No%20001-2018.pdf>

1.3 Možné ohrožení bezpilotními systémy

Možné ohrožení je nutné nejdříve rozdělit na dva případy, a to na úmyslné a neúmyslné ohrožení. Jak už z názvu vyplývá, neúmyslné ohrožení je způsobeno především z neznalosti uživatelů, kteří nerespektují zakázané prostory a jiná ochranná pásma. Dochází tak k ohrožení bezpilotními systémy, které vznikne z nevinné zábavy, fotografování nebo natáčení soukromých videí. U ohrožení, které vzniklo úmyslně můžeme vidět čistý úmysl. Jedná se například o narušení letového prostoru, sbírání dat z utajených oblastí nebo úmyslná špionáž a poškození strategických míst. Takovéto úmyslné ohrožení vede k závažným prohřeškům. Často se jedná o stejné nebo podobné hrozby, které se mění až v úhlu pohledu na danou situaci.

Další rozdílnou situací je ohrožení v rámci letového provozu, kde se jedná o ohrožení letového provozu jako takového, ohrožení pilota či letecké společnosti nebo se v druhém případě může jednat o jiné ohrožení, jakožto ohrožení státu, za kterým se může skrývat zjišťování citlivých informací, narušení činnosti nebo jiných aktivit např. u jaderných elektráren, rozvaděčů elektrické energie nebo ostatních strategicky důležitých míst pro stát. Možné ohrožení bezpilotními systémy by v takovýchto případech mělo dopad na bezpečnost obyvatel, chod menších institucí, které by pak mohly vést i k narušení chodu státu. [29]

Let bezpilotního systému je v určitých oblastech omezen dle ustanovení 7 – Prostory, Doplněk X, předpisu L2 – Pravidla létání, které bude rozebráno v následující kapitole.

1.3.1 Omezené vzdušné prostory

Bez předchozího povolení lze provádět let bezpilotního systému dle [15] v těchto prostorech:



- ve vzdušných prostorech třídy G
- v letištní provozní zóně (ATZ, Aerodrome Traffic Zone)
- v řízeném okrsku letiště (CTR/MCTR, Control Zone/Military Control Zone)

Vzdušný prostor třídy G je neřízený vzdušný prostor, který sahá od země do výšky 1000 ft včetně. Můžeme ho vidět na obrázku č. 8. [19]

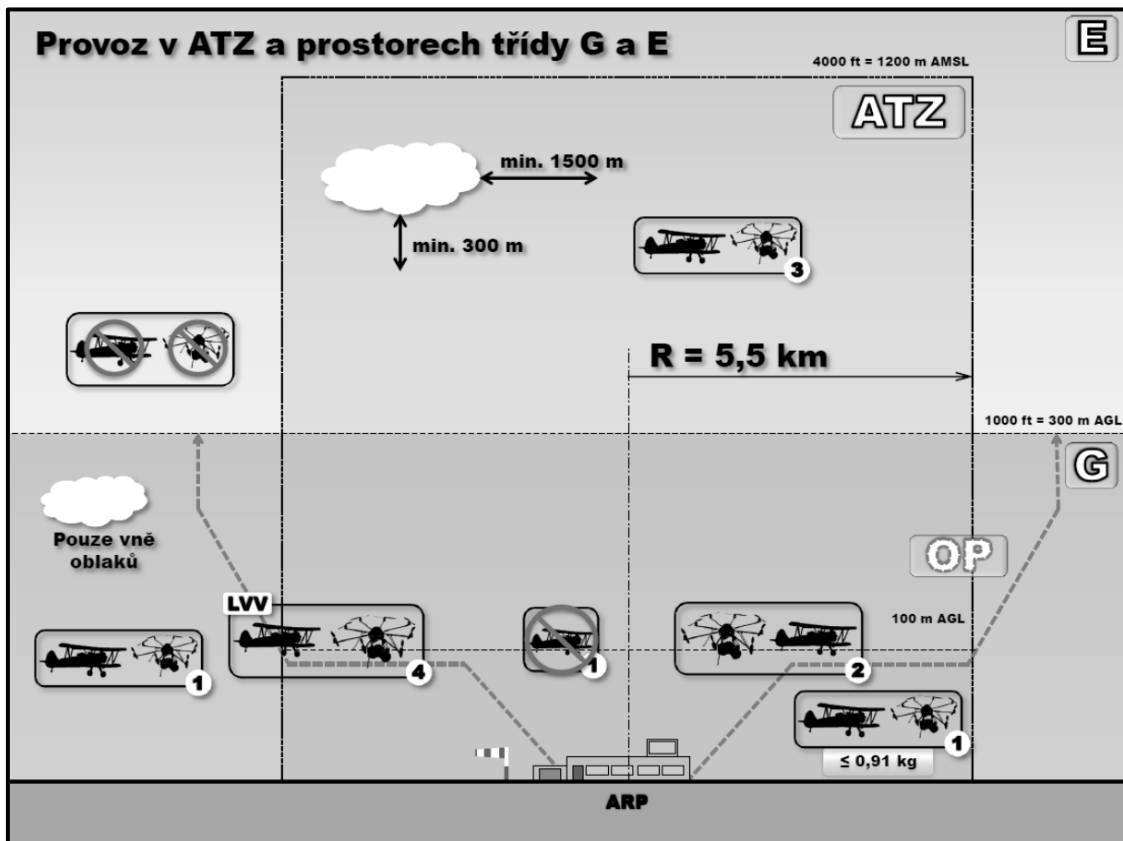
S letištní provozní zónou ATZ (viz obrázek č. 8) se setkáme na letištích, kde není poskytována služba od řízení letového provozu. Tato zóna je horizontálně vymezena kružnicí nebo její částí o poloměru 3 NM a vertikálně od země a nadmořskou výškou 4000 ft, pokud Úřad pro civilní letectví nestanoví jinak. V letištní provozní zóně ATZ lze provést let po splnění podmínek

určených provozovatelem letiště a na základě koordinace s letištní letovou informační službou (AFIS, Aerodrome Flight Information) nebo stanovištěm poskytování informací provozu či provozovatelem letiště, pokud není provozu zajištěno poskytování informací nebo AFIS. Nad vzdušným prostorem třídy G lze provádět let pouze tehdy, když je poskytnut AFIS nebo za poskytnutí informací známému provozu. Výjimkou může být let s bezpilotním systémem, který má maximální vzletovou hmotnost do 0,91 kg. Tyto bezpilotní systémy mohou být provozovány v ATZ bez koordinace, avšak pouze do výšky 100 m nad zemským povrchem a mimo ochranná pásma daného letiště. [15] [20]

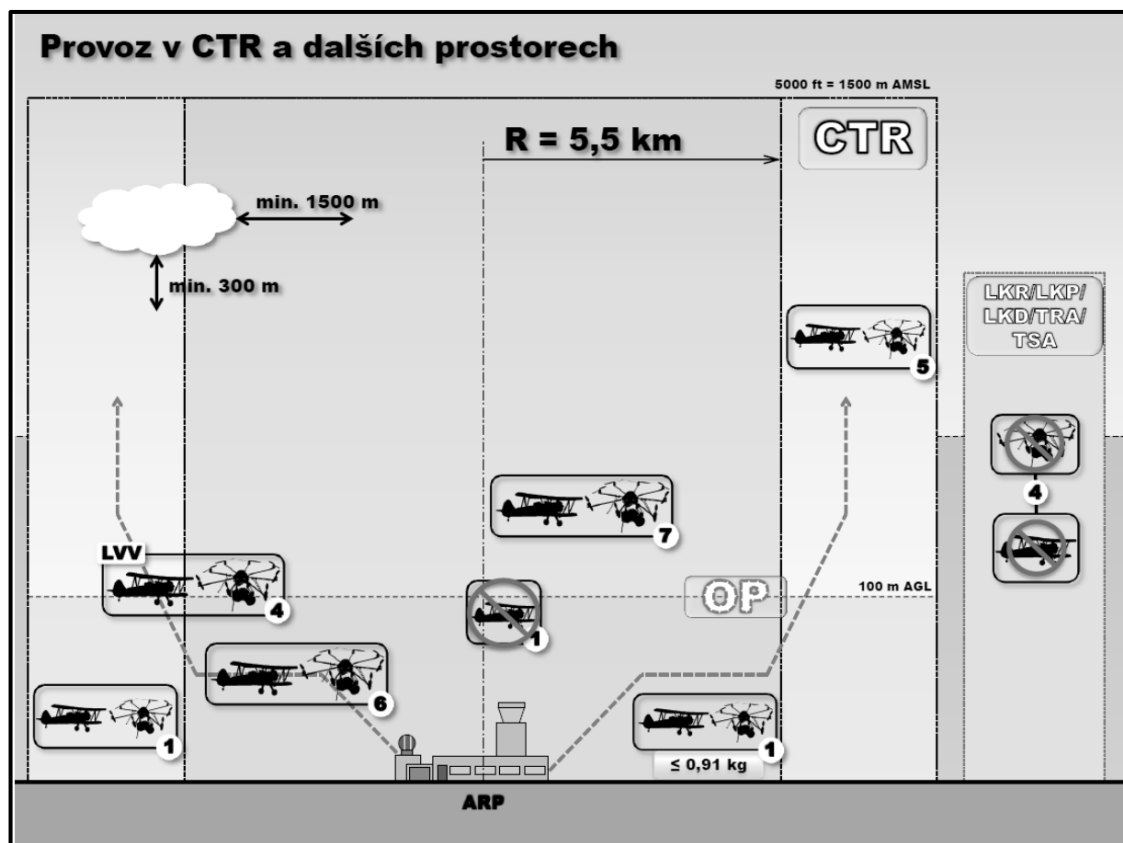
V řízeném okrsku letiště CTR/MCTR může být let bezpilotního systému prováděn do maximální výšky 100 m nad zemským povrchem a v horizontální vzdálenosti 5500 m od vztažného bodu řízeného letiště s možným udělením výjimek k provedení letu v menší vzdálenosti od řízení letového provozu. Další výjimkou mohou být opět bezpilotní systémy s maximální vzletovou hmotností do 0,91 kg, s kterými může být provádět let v řízeném okrsku bez koordinace do maximální výšky 100 m nad zemským povrchem a mimo ochranná pásma daného letiště. Můžeme ho vidět na obrázku č. 9. [15]

	Modely letadel s maximální vzletovou hmotností do 25 kg	
	Bezpilotní letadla (tj. včetně modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nad 25 kg)	
CTR	Řízený okrsek letiště	LKR Omezený prostor
ATZ	Letištní provozní zóna neřízeného letiště	LKP Zakázaný prostor
OP	Ochranná pásma letišť	LKD Nebezpečný prostor
G / E	Označení třídy vzdušného prostoru	TSA Dočasně vyhrazený prostor
ARP	Vztažný bod letiště	TRA Dočasně vymezený prostor
AMSL	Nadmořská výška	AGL Nad úrovní země
1	Lety bez koordinace	
2	Splnění podmínek provozovatele letiště (PL) + koordinace s letištní informační službou (AFIS)	
3	Splnění podmínek PL + koordinace s AFIS	
4	Souhlas/povolení ÚCL	
5	Letové povolení příslušného stanoviště řízení letového provozu (ŘLP). ŘLP může dále požadovat: stálé obousměrné spojení a odpovídač sekundárního radaru	
6	Povolení ÚCL (nebo v případě leteckých prací (LP) koordinace s ŘLP + koordinace s PL). ŘLP může dále požadovat: stálé obousměrné spojení a odpovídač sekundárního radaru	
7	Povolení ÚCL (nebo v případě LP koordinace s ŘLP + koordinace s PL) + letové povolení ŘLP. ŘLP může dále požadovat: stálé obousměrné spojení a odpovídač sekundárního radaru	

Obrázek 7: legenda k obrázkům 8 a 9 [15]



Obrázek 8: provoz v prostorách třídy G a E a v ATZ [15]



Obrázek 9: provoz v CTR/MCTR [15]

Dalším omezením pohybu pro bezpilotní systémy dle [15] a [19] jsou následující prostory:

- zakázaný prostor, označován jako LKP (Prohibited area), je vymezený vzdušný prostor, kde jsou zakázány lety všech systémů, jedná se o prostory nad strategickými místy, žádosti uživatelů o lety do zakázaných prostorů vyřizuje Úřad pro civilní letectví a v případě naléhavé situace je vstup do zakázaných prostor povolen pro policejní lety, lety záchranné služby, lety za účelem pátrání a záchrany a pro lety provádějící leteckou hasičskou činnost,
- omezený prostor, označován jako LKR (Restricted area), je vymezený vzdušný prostor, kde se nesmí provádět lety v případě, že je prostor aktivován bez povolení příslušného stanoviště ATS (Air Traffic Services), aktivace těchto prostor se uvádí v denním plánu a může se jednat o vzdušný prostor nad centrem Prahy,
- nebezpečný prostor, označován jako LKD (Dangerous area), je vymezený vzdušný prostor, kde mohou probíhat činnosti, které jsou nebezpečné pro let všech systémů, jako je např. likvidace výbušnin,
- dočasně rezervovaný prostor, označován jako LKTRA, je vymezený prostor, kde může probíhat jen letecká činnost a v daný okamžik se prostorem nesmí proletět, pokud není uděleno zvláštní letové povolení, tento prostor je určen pro provoz všeobecného letectví,
- dočasně vyhrazený prostor, označován jako LKTSA, je vymezený vzdušný prostor, kde může probíhat jen letecká činnost a v době jeho aktivace není povolen jeho průlet,
- dočasně omezený prostor, jedná se o dočasnou rezervaci částí vzdušného prostoru, které nejsou publikovány v letecké informační příručce (AIP, Aeronautical Information Publication) prostřednictvím NOTAM nebo AIP SUP.

1.4 Pozitivní a negativní užití bezpilotních systémů

Bezpilotní systémy mohou být použity pro negativní účely, které vedou k velkému ohrožení nás všech. Nesmíme ale opomenout, že bezpilotní systémy mají i řadu pozitivních využití. Oba tyto případy budou zmíněny níže.

1.4.1 Pozitivní užití bezpilotních systémů

Využití pro letecké fotografie a videa je jedním z nejčastějších využití bezpilotních systémů. Kritériem pro pořizování fotografií je především náš cíl, tedy subjektivní pohled na kvalitu fotografie. Letecké fotografie mají dále využití např. pro marketingové účely, jakou jsou letecké virtuální prohlídky a panoramatické fotografie, dále pro dokumentaci stavu, jako letecké fotografie developerských projektů, snímkování určité časové periody nebo snímkování pro

architekty. Letecká fotografie může sloužit také jako podklad pro analýzy zpracování obrazu. Využití pro letecké video je poněkud složitější, protože musíme dbát na kvalitu přenosu, vibrace a rušivé elementy. Video má pak využití pro filmové či marketingové účely, pro leteckou dokumentaci a natáčení a sdílení videí v reálném čase. [4]

Využití pro letecký monitoring a letecké inspekce se neustále rozrůstá. Bezpilotní systémy můžeme využívat namísto velkých pilotovaných letadel a helikoptér nebo jako usnadnění práce leteckým kontrolám. V této oblasti využití se tedy jedná o monitoring a inspekci výškových objektů např. přehradních hrází, chladicí věže elektráren, stožáry vysokého vedení. Letecký monitoring je velkým přínosem pro záchranné složky. Dalším využitím leteckého monitoringu je letecká dokumentace aktuálního stavu staveb, monitoring pro ochranu životního prostředí, jako je kontrola zvěře, sopek, znečištění ovzduší nebo pro preventivní monitorování potencionálně nebezpečných míst. [4]

Využití pro mapování je velice oblíbené u veřejnosti při plánování nebo hledání v mapě. Mapování terénu zobrazuje kolmý pohled na celý svět a ukazuje nám reálné místo shora. Bepilotní systémy nabízí při mapování velmi vysoké rozlišení vůči tomu, když se na mapování podílely speciální pilotovaná letadla nebo družice, u kterých nebylo rozlišení na takové úrovni. Letecké mapování lze tedy využít pro aktuální letecké mapy, mapování škod ihned po incidentu, pro geografické informační systémy nebo pro 3D (Three Dimensional) a digitální modely, jako jsou např. prostorové analýzy nebo výpočty objemů terénních prvků. [4]

Využití pro monitoring zemědělské půdy. Zemědělci využívají nových metod bezpilotních systémů pro monitorování kvality půdy, růstu plodin a míst potřebných ke zkvalitnění produkce plodin. Další užití je pro doručování poštovních zásilek, které zatím u nás není legislativně povoleno, nicméně v budoucnosti má doručování zásilek pomocí bezpilotních systémů veliký potenciál. [4] Využití bezpilotních systémů v letecké dopravě také nachází uplatnění při inspekci letadel a kontrolu poškození těžko dostupných míst po událostech, jako je zásah blesku. Dalším využitím může být inspekční kontrola na všech dráhách letišť. [21]

1.4.2 Negativní užití bezpilotních systémů

O negativním užití bezpilotních systémů jsme již lehce zmínili v předešlých podkapitolách. Bepilotní systém může být upraven tak, že dokáže nést určité množství výbušnin a shazovat je na konkrétních místech. Nejenom, že dokáže nést zmíněné výbušniny, ale také chemické látky, které dokáže rozprášit nad vybranou oblastí a zamoří tak strategicky významnou oblast nebezpečnými látkami, které mohou být životu nebezpečné. Jako další negativní užití můžeme

zmínit nálet bezpilotních systémů s cílem poškodit vybranou infrastrukturu, který můžeme klasifikovat jako pokus o teroristický útok. Pašování látek a materiálů přes hranice států nebo za perimetr věznic a jiných objektů je považováno za protiprávní čin, a tudíž taky jako jeden z mnoha možných negativních užití bezpilotních systémů. Další možnou skupinou negativního užití může být špionáž nebo pořizování kompromitujících fotografií. Tyto možnosti mohou prostředkem vydírání nebo pro vytipování objektů ke spáchání trestné činnosti. Jako poslední zde zmíněné negativní užití je narušení vymezených vzdušných prostor a prostorů letišť, ke kterému může dojít úmyslně i neúmyslně především neznalostí uživatelů, kteří mohou narušit vymezené vzdušné prostory nebo zakázané oblasti. [22]

2 Charakteristika jednotlivých detekčních systémů a technologií

Aby bylo možno poskytnout účinnou obranu proti bezpilotním systémům, musí se v první řadě zajistit lokalizace a identifikace potenciálně nebezpečných bezpilotních systémů. Bepilotní systémy větších rozměrů lze snadno detekovat pomocí běžných letištních radarů. U malých bezpilotních systémů je ovšem detekce složitější, což zapříčiňuje malá velikost odrazové plochy. [23]

Výrobou a vývojem detekčních systémů pro identifikaci malých i velkých bezpilotních systémů se dnes zabývá řada firem po celém světě. Detekční systémy jsou často kombinací několika typů senzorů a metod vyhodnocujících přítomnost bezpilotních systémů. Metody používané pro detekci mohou být např. přijímání odražených vln, tvorba akustického vlnění, vyzařování tepla, optická viditelnost nebo kombinace těchto jmenovaných metod. Systémy jsou schopné pracovat nepřetržitě 24 hodin denně a reagovat jen v případě, pokud je prostor narušen. Dokáží též rozlišit, zda se jedná o bezpilotní systém nebo jiný předmět, jako jsou ptáci apod. [23]

Způsob detekce bezpilotních systémů se také liší v tom, kde bude detekční systém provozován. V místě otevřeného prostranství, jako jsou letiště, továrny, věznice, hraniční přechody a různé další velké areály, budou účinnější jiné metody detekce než na místech se zástavbou, jako jsou vládní budovy, sídla IZS, místa s velkou koncentrací osob a další, kde je detekce rušena okolními vlivy a infrastrukturou. [23]

V první podkapitole budou rozebrány a popsány používané technologie detekčních systémů a v té druhé bude prostor vyhrazen pro samotné detekční systémy, které tyto technologie využívají ke své činnosti. Na závěr bude zpracována tabulka s přehledem vybraných detekčních systémů bezpilotních prostředků.

2.1 Používané technologie

2.1.1 Primární radar

Primární přehledový radar (PSR, Primary Surveillance Radar) je typ zařízení, které je schopné zjistit přítomnost objektu a určit jeho polohu v prostoru. Tento radar pracuje na principu odrazu radiového vlnění, vysílaného vysílačem, od objektu zpět k vysílači. Zde je zároveň umístěn i přijímač, který tento odražený signál přijme a zpracuje. Radar tedy nepotřebuje k získání informací žádný aktivní prvek na palubě letadla. Je tedy možné použít tento typ radaru pro

cíle, které nespolupracují. Po zpracování tohoto signálu je výsledek vyobrazen na indikátoru. Pracují na principu měření časového intervalu mezi vysláním impulsu a jeho příjmem, čímž určí vzdálenost zachyceného cíle. Anténa primárního přehledového radaru je pohyblivá, a tak umožňuje postupně vysílat signál do celého prostoru. [24]

2.1.2 Detektory rádiového spektra (RF detectors)

Pasivní monitoring rádiového spektra je dalším důležitým typem detekce bezpilotních systémů fungující na principu identifikace přítomnosti bezpilotních systémů skenováním frekvenčního spektra, o kterém je známo, že na něm pracuje většina bezpilotních systémů. Algoritmy vybírají a lokalizují RF-emitující zařízení v oblasti, kde je velká pravděpodobnost výskytu bezpilotních systémů. [28]

Bezpilotní systém lze detekovat ihned po jeho spuštění. Monitoring rádiového spektra využívá komunikace probíhající mezi bezpilotním letadlem a vysílací stanicí. Systém nevysílá žádné elektromagnetické vlny, pouze pasivně sleduje své okolí. Tento druh detekce je vhodný pro jakákoliv využití, jelikož komunikace probíhající mezi bezpilotním letadlem a vysílací stanicí probíhá téměř u každého bezpilotního systému. Mezi nejpoužívanější frekvence pro komunikace pak řadíme frekvence pohybující se okolo 2,4 GHz a 5 GHz, které jsou stejné, jako pro přenos WiFi signálu. Tím lze zajistit, že při detekci může být vyloučena falešná detekce a záměna s jinými objekty. [25]

2.1.3 Optické senzory (EO sensors)

Tyto senzory detekují bezpilotní letadla (UAV, Unmanned Aircraft Vehicle) na základě jejich vizuálního podpisu. Optické senzory jsou založeny na použití kamerových systémů schopných identifikovat pohybující se objekt v prostoru. Komerční kamery mohou dosáhnout operativního dosahu zhruba 350 ft (106 m). Hlavním problémem souvisejícím s tímto typem metody detekce je to, že v případě malých UAV je velmi obtížné je odlišit od ptactva nebo jiných možných létajících objektů. Kamerový systém je obvykle vybaven senzory nebo detekcí pohybu, které se pokouší odlišit automatické a mechanické pohyby UAV od přirozeného chování ptáků. Kamery jsou také velmi citlivé na světelné a povětrnostní podmínky a mohou identifikovat objekty pouze tehdy, když je cíl v dohledu. Pokud kamerový systém není spřažen s infračerveným senzorem, není použitelný za tmy. [25]

2.1.4 Infračervené senzory (IR sensors)

Infračervené senzory detekují UAV na základě jejich tepelného podpisu. Jedná se o detekční metodu využívající infračerveného záření vyzařovaného motory či akumulátory od UAV.

Použité termokamery rozlišují odlišné teploty předmětů. Každý předmět, který má vyšší teplotu, než je absolutní nula, vyzařuje elektromagnetické infračervené záření. Termovizní kamera vytváří obraz na základě emitovaného infračerveného záření povrchem tělesa. Tento způsob detekce je tedy možné použít nejen ve dne, ale i v noci, při snížené viditelnosti, v mlze či dešti a v jiných nepříznivých meteorologických podmínkách. [22]

Velké množství komerčních UAV jsou však prostředky s elektrickým pohonem, které nevyzařují dostatečné množství tepla k tomu, aby mohly být touto metodou bezprostředně detekovány. Rozsah účinnosti této techniky je zhruba 350 ft, implementační náklady jsou velmi vysoké a míra identifikace UAV je omezená, což obvykle vede k použití tohoto typu senzoru jako senzoru doplňkového k jiným hlavním detekčním systémům UAV. Důležitým nedostatkem této techniky je to, že ji nelze namontovat na palubu hlídkového UAV, jelikož by teplota samotného UAV narušovala měření senzorů. [25]

2.1.5 Akustické senzory

Akustické senzory detekují UAV rozpoznáváním jedinečných zvuků produkovaných od jejichž motorů. Akustické systémy se spoléhají na databázi zvuků produkovaných známými UAV, které jsou pak porovnávány se zvuky detekovanými v operačním prostředí. Kvalita detekce je ovlivňována kvalitou zvuků nahraných v databázi a mírou okolních rušivých elementů. [28]

Tato metoda spočívá v použití mikrofonů k zachycení okolních zvuků. Většina mikrofonů má pracovní dosah zhruba 25–30 ft. Důvodem pro tento druh techniky je to, že UAV obvykle produkují typický vysokofrekvenční zvuk kolem 40 kHz díky jejich stejnosměrným motorům. Tento druh detekce funguje dobře v klidném prostředí, obvykle dochází k selhání v městských oblastech nebo v hlučných podmínkách. Další nevýhodou detekce na bázi zvuku je opět to, že zvukové senzory nemohou být namontovány na palubu hlídkového UAV pro detekční účely, jelikož by také zachytily zvuk sebe samých. Výhodou je pak především detekce komerčních vrtulových UAV, nízká pořizovací cena a možnost pasivní detekce. [25]

2.1.6 Kombinované senzory

Jak už bylo zmíněno v předešlých kapitolách, je nutné, aby pro dokonalé výsledky detekce byla zprostředkována kombinace několika metod zmíněných detekčních technologií. Použití více detekčních prvků přispívá k zvýšení pravděpodobnosti úspěšné detekce, jelikož žádná metoda detekce není samostatně zcela odolná vůči selhání. [28]

Příkladem je pak DroneTracker od společnosti Dedrone, který disponuje kombinací několika senzorů, jako jsou akustické senzory s dosahem kolem 50-80 m, WiFi senzory detekující WLAN (Wireless Local Area Network) signály, infračerveným senzorem pro nožní detekci a optickým senzorem pro detekci denní. Celkový systém lze dále rozšířit a kombinovat s dalšími senzory, jako jsou pasivní senzory detekce rádiové frekvence nebo rušičem signálu. [26]

2.2 Dostupné detekční systémy

2.2.1 AeroScope

Čínská firma DJI zabývající se výrobou bezpilotních systémů vyvinula vlastní detekční systém DJI AeroScope. DJI AeroScope je komplexní systém skládající se ze stacionární jednotky a softwarového vybavení, který umožňuje sledování bezpilotních systémů a napomáhá k zajištění bezpečnějšího veřejného vzdušného prostoru. Můžeme ho vidět na obrázku č. 10. Jde o alternativní formu technologie detekčních systémů, která je známá jako elektronická identifikace, a která umožňuje vzdálený přístup k informacím, jako je jméno operátora, jeho přesné umístění, typ modelu a registrační číslo bezpilotních prostředků operujících v okolí. Takové informace by mohly být použity k určení, zda bezpilotní systém představuje bezprostřední hrozbu, tudíž k tomu, co běžné detekční systémy nemohou udělat. Systémy elektronické identifikace by také mohly uživatelům poskytnout přesnou polohu pilota bezpilotního systému, na rozdíl od mnoha stávajících detekčních systémů, které bezpilotní systém pouze lokalizují. [28] [30]

Nevýhodou těchto systémů je, že budou kompatibilní pouze s bezpilotními systémy od výrobců, kteří ochotně poskytují své komunikační protokoly výrobcí tohoto systému. Systém tedy dokáže identifikovat většinu bezpilotních systémů na trhu, a to sledováním a analýzou jejich elektronických signálů. Jedná se o komplexní platformu pro detekci bezpilotních systémů, která v reálném čase rychle identifikuje spojení bezpilotního systému a shromažďuje informace jako např. letový status, trasa a další. Sled těchto dat pomáhá uživatelům co nejrychleji učinit relevantní odezvu. Pokud jsou příznivé podmínky, systém může detekovat bezpilotní systémy až do 50 km a získat jejich klíčové informace za 2 sekundy. Výsledná data mohou být integrována s již existujícími bezpečnostními systémy uživatelů, aby bylo možné zajištění integrovaného monitorovacího systému. Pozemní jednotka je navržena pro mobilní rozmístění. Celá jednotka je umístěna v kufru, který uživateli umožňuje použití na kterémkoli místě. Zařízení může být napájeno z akumulátorů nebo z dostupného zdroje napájení. Použití není závislé na konkrétním místě, poskytuje tedy praktické řešení pro monitorování

bezpilotních systémů při mimořádných událostech a v případech, kdy stacionární jednotka není k dispozici. [30]



Obrázek 10: stacionární a mobilní systém AeroScope firmy DJI⁵

2.2.2 Ardronis

Systém Ardronis, který můžeme vidět na obrázku č. 11, vyvinula německá mezinárodní společnost Rohde & Schwarz. Firma se specializuje na ochranu vzdušného prostoru, kybernetickou bezpečnost a další. Detekční systém Ardronis pracuje s příjmem vysokofrekvenčních signálů a s jejich následným zpracováním. Skládá se z monitorovacího přijímače se zaměřovačem, rušičky, antény a výpočetní stanice. Pokud R&S Ardronis detekuje komerční aktivitu bezpilotních systémů, tak automaticky klasifikuje typ signálu, určí jeho směr a jeho pilota. Na příkaz naruší rádiové řídicí spojení, aby bylo zabráněno bezpilotnímu systému dosáhnout svého cíle. V případě detekce systém automaticky nahrává radiokomunikační signál, který slouží jako zajištění důkazů. R&S Ardronis kombinuje snímače Rohde & Schwarz a vytváří tak spolehlivé, vysoce výkonné řešení pro zabezpečení předdefinovaného vzdušného prostoru proti bezpilotním systémům. Při ideálních podmínkách umožňuje systém detekovat bezpilotní systémy až do 5 km. Ardronis využívá ke své činnosti integrovanou rušičku signálu rušící signál detekovaného cíle s minimálním negativním dopadem na okolní provoz, který využívá stejné frekvenční pásmo. Výhody, kterými disponují všechny základní balíčky tohoto systému jsou např.: včasné varování o činnosti bezpilotních systémů, jejich

⁵ Zdroj: <https://counterdronesolutions.com.au/dji-aeroscope/>

přesná klasifikace, záznam signálu pro evidenci důkazů, oznámení hrozby předdefinovaným osobám nebo orgánům a další. [31]

Klíčovými vlastnostmi tohoto systému ale [31] jsou následující funkce:

- Včasné varování, které je klíčem k boji proti hrozbám. Systém dokáže detekovat aktivitu bezpilotních systémů ještě před jejich samotným vzletem.
- Vyhledávání směru detekovaného cíle poskytuje personálu taktickou výhodu. Systém vyobrazí azimut směřující k pilotovi bezpilotního systému, a také k samotnému bezpilotnímu systému. Směr a lokalizace cíle umožňuje rychlou a účinnou reakci na bezpilotní systém.
- Situační povědomí kolem detekovaného prostoru, které zapříčiňuje nepřetržité hlášení aktivity bezpilotních systémů na všech příslušných frekvencích v oblasti pokrytí.
- Automatické upozornění na hrozby znamená, že R&S Ardronis lze provozovat s minimálním proškolením. Pokud je detekovaný signál klasifikován jako hrozba, obsluha je upozorněna prostřednictvím uživatelského rozhraní.
- Zachycení videa, systém dokáže zachytit a vizualizovat různé formáty, jako jsou např. běžné standardy PAL, NTSC a WLAN, používající se pro přenos živého videa. Tento proces zachycení je možný díky demulaci signálů, která probíhá ve výpočetní stanici. Bezpečnostní pracovníci mohou vidět, co pilot bezpilotního systému vidí, což může být přínosem během i po incidentu souvisejícím s bezpilotním systémem.
- Zajištění důkazů, které je zprostředkováno pomocí dekódování video signálu a záznamu bezpilotního systému umožňuje bezpečnostním pracovníkům shromažďovat cenné důkazy, které lze následně použít k prokázání účasti pilota bezpilotního systému na nezákonných činnostech.
- Otevřené rozhraní umožňuje systému jeho integraci do multisenzorových detekčních systémů, díky čemuž je R&S Ardronis zajímavý pro integrátory. Multisenzorové systémy umožňují integrátorům využívat silné stránky jednotlivých typů senzorů a současně překonávat stránky slabé.



Obrázek 11: systém Rohde & Schwarz Ardronis⁶

2.2.3 AUDDS Anti-UAV Defence System

Detekční systém AUDDS Anti-UAV Defence System je navržen tak, aby narušoval a neutralizoval bezpilotní systémy, které jsou schopné potenciálně škodlivé činnosti. Jedná se o první integrovaný Anti UAS systém na světě. AUDDS jsou inteligentní senzory, které jsou schopny vzdáleně detekovat malé UAV a poté je sledovat a klasifikovat. Systém může být použit ve vzdálených nebo městských oblastech. Dokáže detekovat, sledovat a zneškodnit bezpilotní systémy přibližně za 15 sekund při vzdálenosti do 10 km. AUDDS detekuje bezpilotní systémy elektrickým skenováním mikro dopplerovským radarem, který vyvinula společnost Blighter Surveillance Systems. Detekované cíle jsou sledovány za pomoci infračervených kamer a softwaru pro rozpoznávání objektů, který vyvinula společnost Chess Dynamics. Umožňuje také provozovateli včas převzít kontrolu nad bezpilotním systémem a přinutit jej k bezpečnému přistání. Tento detekční systém je k vidění na obrázku č. 12. [32] [33]

Systém byl vyvinut ve spolupráci tří předních britských společností (Blighter Surveillance Systems, Chess Dynamics a Enterprise Control Systems), z nichž každá má jedinečné schopnosti potřebné k vytvoření efektivního detekčního systému UAV. Jde o strategický systém, který je navržený pro použití vládními i nevládními organizacemi pro ochranu kriticky důležité infrastruktury. Standardně je nabízen ve třech konfiguracích, a to v mobilní verzi, ve verzi, která je určena na místa, kde bude systém dlouhodobě používán a v konfiguraci, kde bude umístěn trvale. [33]

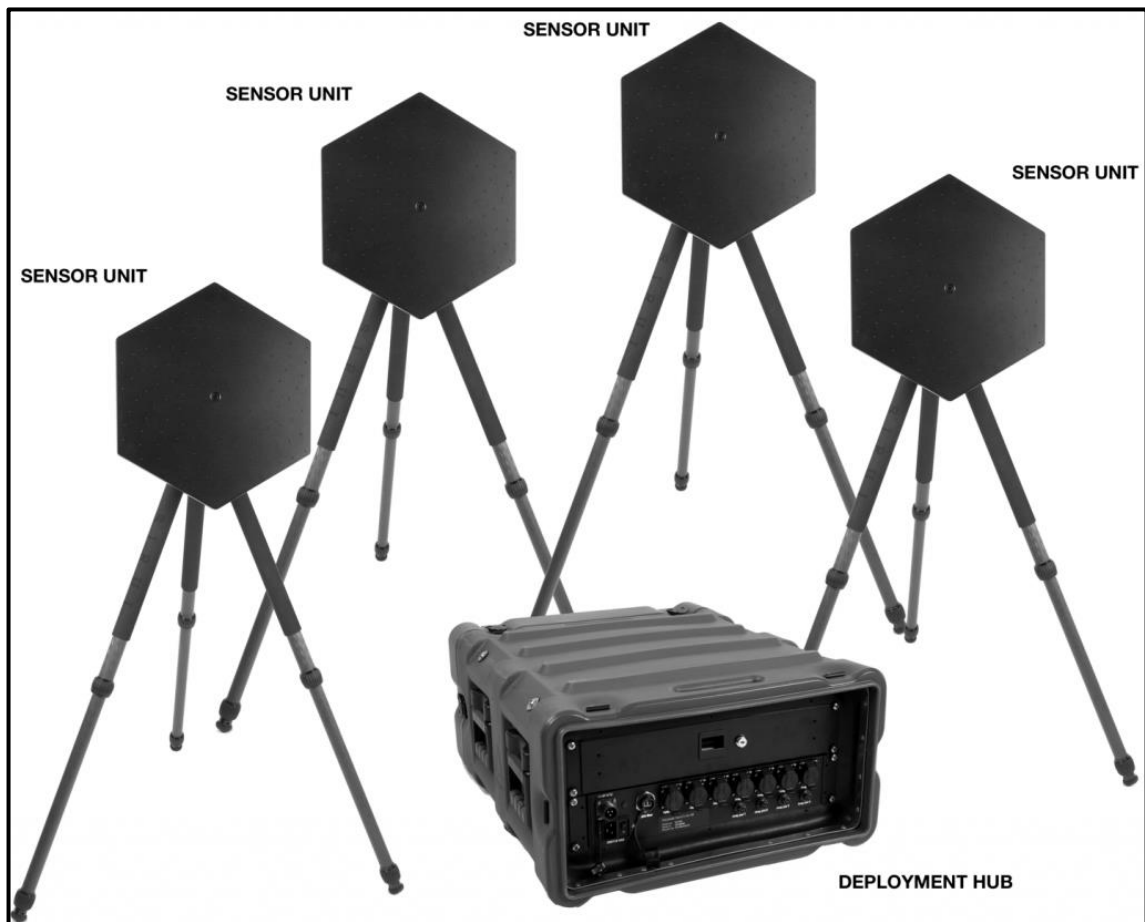
⁶ Zdroj: https://www.rohde-schwarz.com/gr/product/ardronis-p-productstartpage_63493-617999.html



Obrázek 12: systém AUDES Anti-UAV Defence System [32]

2.2.4 Discovair

Detekční systém Discovair je pasivní, směrový systém detekce, který je založen na akustické technologii od norské společnosti Squarehead. Systém se skládá z akustického senzoru Discovair G2, který je složen ze 128 vzájemně propojených mikrofónů. Discovair G2 může pracovat samostatně nebo ve spojení s jinými detekčními technologiemi. Systém je určen pro nepřetržité operace za každého počasí s minimálním zásahem uživatele, který po detekování cíle obdrží zvukové i vizuální upozornění. Celkové nastavení systému lze provést za méně než 5 minut a celková hmotnost vybavení pro pokrytí ochrany v rozmezí 360° je menší než 50 kg. Discovair používá namísto databází konkrétních zvuků jednotlivých bezpilotních systémů pokročilé algoritmy, tudíž budou detekovány i dosud nevynalezené nebo sestrojené UAV. V otevřeném prostoru dosahuje systém detekční vzdálenosti do 500 m a v zastavěné oblasti se tato detekční vzdálenost pohybuje do 200 m. Systém můžeme vidět na obrázku č. 13. [42] [43]



Obrázek 13: systém Discoverair od společnosti Squarehead [42]

2.2.5 DROM

DROM, od izraelské společnosti Orad, je detekční systém, který používá pro detekci bezpilotních systémů detektory rádiového spektra (RF detector), 3D pulzní dopplerovský radar a EO i IR elektrooptický kamerový systém. Systém umožňuje detekci malých multikoptér ze vzdálenosti větší než 3,5 km. Dále pomocí rušičky signálu na vzdálenost okolo 2,5 km přebírá řídicí schopnosti detekovaných UAV a bezpečně s nimi přistává. Jedná se o modulární systém, který je schopen v dané situaci vytvořit ochranu kopuli kolem požadované oblasti. Může být jak ve stacionární verzi pro ochranu strategických míst, tak ve verzi mobilní, jako řešení pro ochranu příležitostných událostí. Na obrázku č. 14 můžeme vidět tento systém při použití na sportovním stadionu. Klíčovými vlastnostmi tohoto detekčního systému je jeho dosah detekce do již zmíněných 3,5 km, celková hmotnost kolem 38 kg a senzor ochrany proti přehřátí systému. Dále může být DROM využíván za každého počasí, a také v městských oblastech se zástavbou. [44] [45]



Obrázek 14: izraelský detekční systém DROM⁷

2.2.6 Drone Dome

Drone Dome, na obrázku č. 15, je detekční systém od izraelské společnosti Rafael, který poskytuje 360° pokrytí, a který disponuje rychlou odezvou. Systém je schopen identifikovat neznámé cíle, poskytovat výstrahy a pracovat, aniž by způsoboval rušení ostatních vzdušných prostředků, které nejsou cílem detekce. Zahrnuje tři provozní fáze a to detekci, identifikaci, neutralizaci. V hustém vzdušném prostoru se tedy dokáže zaměřit na konkrétní cíle. Jedná se modulární systém, který lze použít jako stacionární nebo mobilní verzi. Na přání zákazníka jde ovšem na míru upravit, aby vyhovoval všem potřebám. Drone Dome má otevřenou architekturu umožňující integraci s ostatními senzory. Systém může být propojen s různými externími systémy a podporuje možnost růstu do budoucna, který by zahrnoval možnou integraci dalších senzorů. Detekuje malé cíle o velikosti 0,002 m² do vzdálenosti 3,5 km. Dokáže pracovat za všech povětrnostních podmínek, tudíž není nijak limitován. Detekuje bezpilotní systémy s jejich operátory pomocí RF senzoru. S integrací rušičky blokuje jejich kanály s reaktivním rušením. [37] [39]

Británie se stala prvním zákazníkem, který v srpnu v roce 2018 zakoupil šest detekčních systémů Drone Dome, o nichž se předpokládá, že stojí okolo 20 miliónů amerických dolarů.

⁷ Zdroj: <https://www.jpost.com/business-and-innovation/tech/israeli-company-showcases-drone-interception-technology-496344>

Systémy zakoupené britskou armádou nejsou vybaveny eliminačním laserovým paprskem, ale jsou schopny rušit rádiové frekvence, aby okamžitě zabránily pohybu detekovaného bezpilotního systému. [46]



Obrázek 15: systém Drone Dome od firmy Rafael Advanced Defense Systems [37]

2.2.7 DroneTracker

DroneTracker od americké firmy Dedrone je stacionární nebo přenosná jednotka s více senzory a s aktualizovatelným softwarem, který může být nainstalován na počítači, tabletu či smartphonu. DroneTracker využívá řadu senzorů k detekci bezpilotních systémů v reálném čase. Jedná se například o RF senzory, kamerový systém s vysokým rozlišením nebo mikrofony s dosahem 50-80 metrů. Systém je vybaven kamerou pro denní světlo, ale také může být vybaven i infračervenou kamerou pro detekci za snížené viditelnosti. Inteligentní software DroneTracker analyzuje každý UAV, který detekuje na základě jeho individuálních charakteristik, jako je jeho velikost, tvar, pohyb a zvuk. Poté je tento detekovaný záznam nazývaný jako DroneDNA uložen do cloudové databáze. DroneDNA rozpozná bezpilotní systémy všeho druhu. Testování proběhlo na milionech obrázků, a tak dokáže rozlišit různé modely bezpilotních systémů a detekovat rozdíl mezi nimi a jinými pohyblivými objekty, jako jsou ptáci, letadla nebo další jiné objekty. Tato databáze je pravidelně aktualizovaná. DroneDNA spolupracuje s DroneTracker, aby se spojila data z více zdrojů a zvýšila se tak spolehlivost. Data z RF senzorů, videa, radarů a dalších senzorů jsou poté automaticky zpracovány. DroneTracker je kompatibilní systém a lze jej integrovat do jiných bezpečnostních systémů. V takovém složení plní úlohu detektoru radiového spektra. Výhodou zařízení

DroneTracker je, že všechna data, která jsou zpracována a jeho systémové inteligentní funkce jsou prováděny v samotném zařízení. K vidění je tento systém na obrázku č. 16. [26] [38]



Obrázek 16: systém DroneTracker od firmy Dedrone [26]

Systém Eagle.one, který byl vyvinut na Elektrotechnické fakultě ČVUT v Praze úzce spolupracuje s touto americkou firmou Dedrone. Eagle.one v této spolupráci zastává eliminační roli mechanickou cestu pomocí vystřelení sítě na základě předešlých výpočtů. Celý tento systém je plně autonomní a je navržen pro nedestruktivní odchyčení neutralizovaných bezpilotních systémů v chráněných oblastech. Díky softwaru pro detekci pohybu dokáže Eagle.one chránit oblast před nedovoleným vniknutím bezpilotních systémů bez nutnosti zásahu člověka. [34]

2.2.8 Elvira

Elvira je nizozemský detekční systém, který je vyvíjený firmou Robin Radar Systems. Tato firma má více jak 20 let zkušenosti z vědeckého výzkumu tzv. „ptačích radarů“. Jejím původním cílem totiž bylo zabránit kolizi mezi nizozemskými letouny a ptactvem. Detekční systém Elvira kombinuje chytrý software s cenově dostupným radarem a je konstruován za

účelem detekce a sledování bezpilotních systémů. Elvira je systém navržený tak, aby splňoval nároky jako je rozlišení UAV od ostatních pohybujících se objektů, detekovat více cílů současně a schopnost detekce při špatných viditelných podmínkách a v zástavbě plné překážek a nástrah. Mapové rozhraní systému se skládá z barevně označených stop, kde lze měnit jejich vizualizace uživatelem. Červené stopy označují UAV a jejich dráhu letu, oranžové stopy pak představují podezřelé UAV a zelené stopy představují ptáky a další pohyblivé cíle. Elvira je také připravena na případnou integraci kamer. [35]

Elvira pokrývá 360° zobrazení a můžeme ji vidět na obrázku č. 17. Detekuje větší cíle s pevnými křídly na vzdálenost 9 km a menší multikoptéry až na 3 km. Úplné zabezpečení oblasti však vyžaduje více. Vyžaduje flexibilitu a spolehlivost. Elvira poskytuje neomezené pokrytí díky tomu, že ji lze kombinovat s více radarovými zařízeními do integrované senzorové sítě. Elvira má schopnost kombinovat pokročilé dopplerovské zpracování s rychlostí aktualizace jednou za 1 s. Kombinuje detekci a klasifikaci bezpilotních systémů pouze v jednom senzoru, a tudíž tato schopnost šetří čas v rozhodovacím procesu. [36]

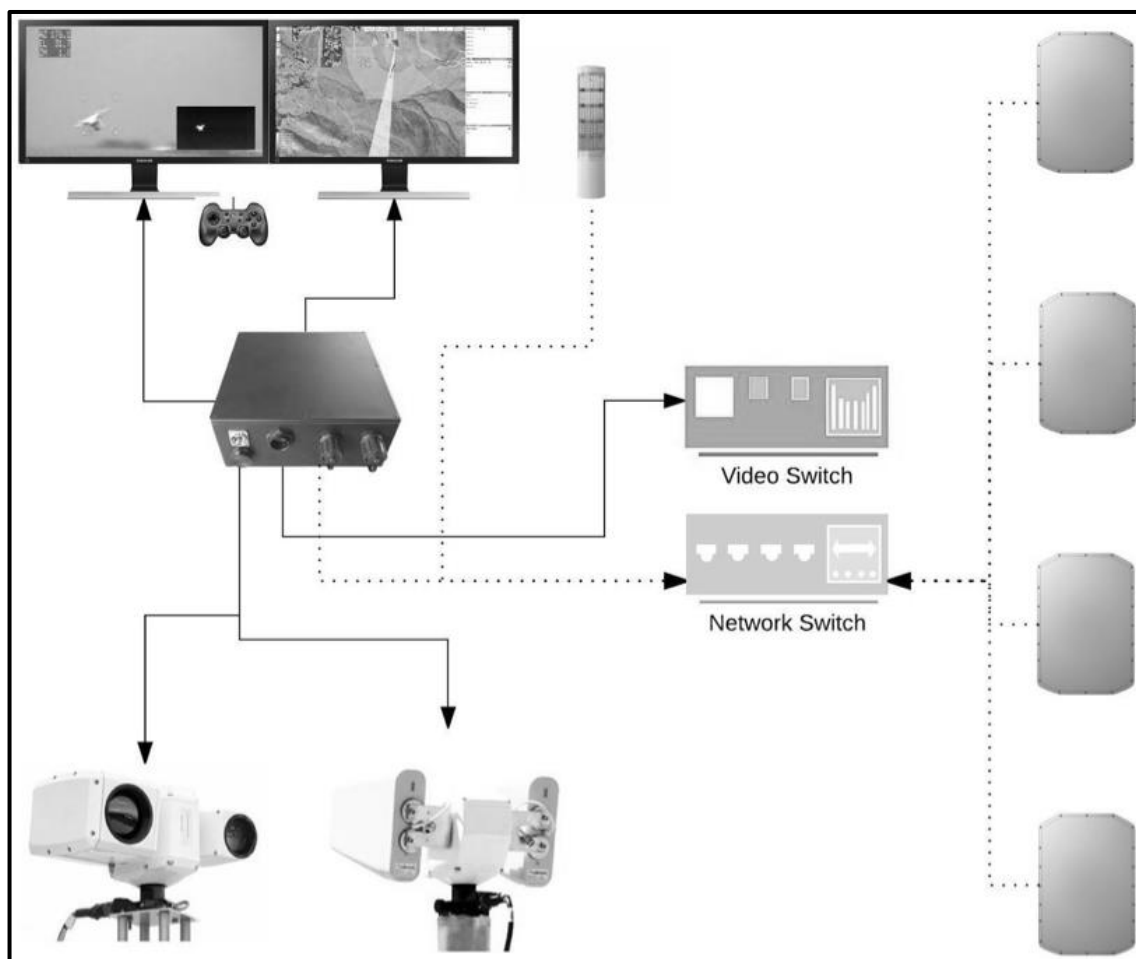


Obrázek 17: systém Elvira od firmy Robin Radar Systems [35]

2.2.9 UAVX

Detekční systém UAVX vyvinutý americkou firmou Black Sage je systém, který kombinuje senzor pro detekci polohy a charakteristik UAV pomocí dopplerovských radarů a senzor pro identifikaci a sledování UAV pomocí EO i IR kamer. Dopplerovské radary jsou primární složkou

detekce. Jedná se o radary propojené IP adresami, které detekují bezpilotní systémy do vzdálenosti větší než 1 km a shromažďují data o detekovaném cíli, jako je jeho rychlost a nadmořská výška. Zorné pole radaru se pohybuje okolo 20° u svislého pohybu a 90° u vodorovného. Tím se vytvoří kopule jako prostor pro optimální detekci. Díky podpoře kvalitních kamerových systémů umožňuje detekci bezpilotních systémů až na 1 km. Dále tento systém kombinuje rušičku (jammer) signálu pro narušení a uzemnění UAV. Standartní kombinace rušiček využívá GPS a WiFi signály s dosahem 1 km. Bepilotní systémy po přerušení signálu přistanou bezpečně na zemi nebo se zůstávají vznášet ve vzduchu na jednom místě. Tento systém může kombinovat až 6 takových rušiček signálu. Celý systém funguje na principu komunikace mezi Black Boxem, jakožto primární hardwarovou skříňkou pro správu a automatizaci dat a ostatními komponenty, které můžeme vidět na obrázku č. 18. Black Box poté poskytuje operátorovi zpětnou vazbu prostřednictvím monitorů a ovladače. [40] [41]



Obrázek 18: detekční systém UAVX od společnosti Black Sage [40]

2.2.10 Informační tabulka vybraných detekčních systémů

Tabulka 1: tabulka vybraných detekčních systémů (zpracováno autorem na základě Counter-drone systems [28])

Výrobce	Název produktu	Země původu	Detekce	Zákrok
DJI	AeroScope	China	Electronic Identification	-
Rohde & Schwarz	Ardronis	Germany	RF	RF Jamming, GNSS Jamming
Blighter/Chess Dynamics/Enterprise Control Systems	AUDS Anti-UAV Defence System	United Kingdom	Radar, EO, IR	RF Jamming
Squarehead	Discovair	Norway	Acoustic	-
Orad	DROM	Israel	RF, Radar, EO, IR	RF Jamming
Rafael Advanced Defense Systems	Drone Dome	Israel	Radar, EO, IR	RF Jamming, GNSS Jamming, Laser
DeDrone, Inc.	DroneTracker	USA	EO, IR, Acoustic, Wifi	-
Robin Radar Systems	Elvira	Netherlands	Radar	-
Black Sage	UAVX	USA	Radar, EO, IR	RF Jamming

3 Návrh metody porovnání možností detekce

V této kapitole je definována metoda pro porovnání vybraných detekčních systémů. Zohledňuje nejen samotná kritéria, ale také jejich jednotlivé váhy. To znamená, že v metodě porovnání je definováno, jak postupovat při přidělování jednotlivých vah k daným kritériím. Ve výsledku se jednotlivým subjektům ukáže, která kritéria budou důležitější pro porovnání vybraných detekčních systémů a které naopak jsou důležité, ale jejich váha při porovnání bude mít nižší hodnotu. Finálním výsledkem je aplikovaná metoda na výběr detekčních systémů bezpilotních prostředků, z jejichž aplikace jednotlivé subjekty zjistí, který/é z detekčních systémů je/jsou pro ně nejvhodnějším produktem.

3.1 Kritéria

V první řadě jsou stanoveny dvě skupiny kritérií, podle kterých se budou jednotlivé subjekty řídit při výběru a porovnání detekčních systémů proti UAS. První skupinou jsou kritéria vyřazovací, podle kterých se subjekt dostane k užšímu výběru detekčních systémů, na které budou aplikována kritéria výběru.

3.1.1 Vyřazovací kritéria

Vyřazovací kritéria slouží k zredukování širšího výběru detekčních systémů. Tato kritéria disponují limitními hodnotami, které si jednotlivé subjekty zvolí dle osobních preferencí. Stanovením limitních hodnot u konkrétních kritérií budou následně vyřazeny detekční systémy, které budou překračovat limity. Aplikace vyřazovacích kritérií bude následovná:

- **Pořizovací náklady** – u pořizovacích nákladů se stanoví limitní hodnota finančních prostředků, která se nesmí překročit. Detekční systémy, které budou překračovat limitní rozpočet, budou vyřazeny a nebude s nimi dále pracováno.
- **Dosah detekce** – zde stanovíme minimální požadovaný dosah detekce. Detekční systémy, které nedosáhnou na minimální dosah detekce, budou vyřazeny a nebude s nimi dále pracováno.
- **Hmotnost** – hmotnost bude určena jako maximální možná na základě únosnosti objektů konkrétních subjektů. Detekční systémy, které budou překračovat maximální povolenou hmotnost, budou vyřazeny a nebude s nimi dále pracováno.
- **Technologie detekce** – u technologií detekce bude zkoumána otázka, zda je detekční technologie použitelná v daném prostředí či nikoliv. Jak důležité, kterou technologii detekce daný detekční systém bezpilotních prostředků využívá? Nachází se budovy nebo centrály v klidné nerušené oblasti bez zástavby, kde není problém použití

technologie detekce založené např. na akustických senzorech nebo se nacházejí ve velmi rušné zastavěné oblasti, kde je zapotřebí použití spíše detekčních systémů na bázi např. primárního radaru? Je oblast, která obklopuje objekty členitá? Bude zde možnost využití optických či infračervených senzorů kvůli okolnímu terénu? Detekční systémy, které nebudou pracovat na požadované technologii detekce, budou vyřazeny a nebude s nimi dále pracováno.

- **Integrace eliminační funkce** – zde se pracuje taktéž s otázkou, zda detekční systém splňuje možnost integrace eliminační funkce či nikoliv. Pokud detekční systém detekuje nedovolené vniknutí bezpilotního systému, bude subjekt požadovat jeho následnou eliminaci a zabránění dalším jeho činnostem, které by mohly vést k nepříznivým následkům? Pokud ano, detekční systémy, které nebudou disponovat integrací eliminační funkcí, budou vyřazeny a nebude s nimi dále pracováno.
- **Země původu** – pokud subjekt z jakéhokoliv důvodu nemůže navázat spolupráci s výrobcem detekčních systémů nebo o obchod nemá zájem z důvodu jemuž známý, bude systém vyřazen z širšího výběru. Subjekt, státní či soukromý, má podepsané jakékoliv smlouvy o společném obchodu a spolupráci? Má vlastní preference a požadavky na zemi původu detekčního systému při jeho pořizování? Detekční systémy, které nebudou tato kritéria splňovat, budou vyřazeny a nebude s nimi dále pracováno.
- **Typ platformy** – subjekt u tohoto kritéria vyřadí takové detekční systémy bezpilotních prostředků kooperujících s typy platform, které nevyhovují jeho požadavkům. Subjekt má dle [47] na výběr z těchto platform vyskytujících se u detekčních systémů:
 - **Pozemní – pevné** – systémy konstruované pro použití ze stacionárních poloh na zemi.
 - **Pozemní – mobilní** – systémy, které jsou určeny k montáži na speciálně upravená vozidla a k provozování za jízdy.
 - **Ruční umístění** – jsou systémy, které jsou navrženy tak, aby byly ovládány jednou osobou, a to ručně. Tyto systémy se podobají ručním zbraním.
 - **Umístění na bezpilotním systému** – jsou takové systémy, které jsou určeny k montáži na bezpilotní systémy.

3.1.2 Kritéria výběru

Po aplikaci vyřazovacích kritérií s limitními hodnotami vznikne užší výběr detekčních systémů, na který budou následně použita kritéria výběru. Těmito kritérii jsou:

- **Pořizovací náklady** – ty nám zde udávají množství peněz, které jsou potřebné k tomu, aby mohlo dojít k výměnnému obchodu, tudíž k pořízení některého z detekčních systémů. Ne každý subjekt při pořizování detekčního systému bezpilotních systémů či jiných služeb má neomezený rozpočet, a proto mohou být pořizovací náklady jedním s hlavních kritérií, které budou hrát zásadní roli při porovnání.
- **Dosah detekce** – je kritérium, které hraje svou roli při detekci objektu na určitou vzdálenost od místa detekčního zařízení. Subjekty se liší svými požadavky a potřebují nakonfigurovat detekční systém tak, aby svým dosahem vyhověl jejich potřebám. Příkladem je letiště, které obklopuje rozsáhlý areál, tudíž tento subjekt bude vyhledávat detekční systémy, které budou disponovat dlouhým dosahem.
- **Hmotnost** – udává, jak složité bude začlenění detekčního systému v prostoru či oblasti konkrétního subjektu. Ne každý totiž disponuje vlastními pozemky o vyhovující rozloze a možném zatížení pro umístění detekčního systému a preference jsou vždy směrem ke kompaktnějším řešením.
- **Technologie detekce** – v užším výběru je technologie detekce kritérium, podle kterého se subjekt rozhoduje, zda je pro jeho potřeby technologie detekce detekčního systému právě ta, kterou požaduje nebo pro subjekt nehraje žádnou roli, a proto může detekční systém disponovat jakoukoliv technologií detekce.
- **Integrace eliminační funkce** – vyvolává u subjektu nutnost rozhodnutí o tom, zda detekční systém disponuje právě tou eliminační funkcí, kterou subjekt požaduje pro své účely nebo subjektu nezáleží na těchto eliminačních funkcích, a proto může detekční systém integrovat s kteroukoliv funkcí na trhu.
- **Země původu** – ze širšího výběru byly vyřazeny nevhodné země původu a nyní je otázkou, zda země původu vyskytující se v užším výběru, jsou např. na základě zkušeností daného subjektu upřednostňovány nebo v užším výběru již konkrétnímu subjektu nezáleží, odkud detekční systém pochází.

3.2 Váhy

V předchozí podkapitole byla definována kritéria, podle kterých budou subjekty přidělovat jednotlivé stupně váhy na základě osobní preference. V druhém bodě tedy bude docházet k přerozdělení vah. Jelikož je definováno 6 kritérií, podle nichž se bude každý subjekt řídit, nejvyšší možná váha, která bude přidělena jedinému kritériu bude 6. Váhy budou přiděleny každému kritériu a to tak, že s postupně ubývajícím preferencím kritérií bude klesat jejich přidělená hodnota váhy, dokud se nevyčerpá všech 6 hodnot vah. Následně dojde k vynásobení přidělených vah s příslušnou hodnotou definovanou u kritérií.

3.2.1 Škálování kritérií

Aby bylo možné násobit váhu hodnotami přidělenými k jednotlivým kritériím, je třeba je nejdříve definovat. Hodnoty jsou tedy následovné:

- **Požizovací náklady** – hodnoty dle následujícího rozdělení v tabulce č. 2 budou násobeny hodnotou 10 000 000 v případě, že není subjektem stanoven limit pro pořizovací náklady. V případě, že limitní hodnota stanovena je, uvedené hodnoty budou násobeny právě touto stanovenou limitní hodnotou.

Tabulka 2: tabulka definující hodnoty pro kritérium pořizovací náklady

Hodnota	Cena od [EUR]	Cena do [EUR]
7	0	10 000 000 / limit * 0,01
6	10 000 000 / limit * 0,01 (+1)	10 000 000 / limit * 0,04
5	10 000 000 / limit * 0,04 (+1)	10 000 000 / limit * 0,1
4	10 000 000 / limit * 0,1 (+1)	10 000 000 / limit * 0,2
3	10 000 000 / limit * 0,2 (+1)	10 000 000 / limit * 0,5
2	10 000 000 / limit * 0,5 (+1)	10 000 000 / limit * 1
1	10 000 000 / limit * 1 (+1)	+

- **Dosah detekce** – hodnoty dle následujícího rozdělení budou násobeny hodnotou 50 000 v případě, že není subjektem stanoven limit pro dosah detekce dle tabulky č. 3. V případě, že limitní hodnota stanovena je, uvedené hodnoty budou násobeny právě touto stanovenou limitní hodnotou dle tabulky č. 4.

Tabulka 3: tabulka definující hodnoty pro kritérium dosah detekce

Hodnota	Dosah od [m]	Dosah do [m]
1	0	50 000 * 0,01
2	50 000 * 0,01 (+1)	50 000 * 0,04
3	50 000 * 0,04 (+1)	50 000 * 0,1
4	50 000 * 0,1 (+1)	50 000 * 0,2
5	50 000 * 0,2 (+1)	50 000 * 0,5
6	50 000 * 0,5 (+1)	50 000 * 1
7	50 000 * 1 (+1)	+

Tabulka 4: tabulka definující hodnoty pro kritérium dosah detekce s limitem

Hodnota	Dosah od [m]	Dosah do [m]
1	limit * 1	limit * 1,2
2	limit * 1,2 (+1)	limit * 1,4
3	limit * 1,4 (+1)	limit * 1,6
4	limit * 1,6 (+1)	limit * 1,8
5	limit * 1,8 (+1)	limit * 2
6	limit * 2 (+1)	limit * 2,5
7	limit * 2,5 (+1)	+

- **Hmotnost** – hodnoty dle následujícího rozdělení v tabulce č. 5 budou násobeny hodnotou 10 000 v případě, že není subjektem stanoven limit pro hmotnost. V případě, že limitní hodnota stanovena je, uvedené hodnoty budou násobeny právě touto stanovenou limitní hodnotou.

Tabulka 5: tabulka definující hodnoty pro kritérium hmotnost

Hodnota	Hmotnost od [kg]	Hmotnost do [kg]
7	0	10 000 / limit * 0,01
6	10 000 / limit * 0,01 (+1)	10 000 / limit * 0,04
5	10 000 / limit * 0,04 (+1)	10 000 / limit * 0,1
4	10 000 / limit * 0,1 (+1)	10 000 / limit * 0,2
3	10 000 / limit * 0,2 (+1)	10 000 / limit * 0,5
2	10 000 / limit * 0,5 (+1)	10 000 / limit * 1
1	10 000 / limit * 1 (+1)	+

- **Technologie detekce** – přidělená váha násobená hodnotou dle následujícího rozdělení:
 - 1 – pokud se jedná o preferovanou technologii detekce
 - 0 – pokud subjekt nemá žádné preference
- **Integrace eliminační funkce** – přidělená váha násobená hodnotou dle následujícího rozdělení:
 - 1 – pokud se jedná o preferenci integrace eliminační technologie a detekční systém jí disponuje
 - 0 – pokud subjekt nemá žádné preference

- **Země původu** – přidělená váha násobená hodnotou dle následujícího rozdělení:
 - **1** – pokud se jedná o preferovanou zemi původu
 - **0** – pokud subjekt nemá žádné nároky na zemi původu

3.3 Metoda

Podle výše uvedených a definovaných kritérií a vah můžeme následně přejít k postupu aplikace metody pro jednotlivé subjekty. Tuto metodu lze aplikovat na jakýkoliv výběr detekčních systémů bezpilotních prostředků, nicméně v této práci bude metoda aplikována na vybrané konkrétní příklady.

3.3.1 Obecná definice metody

Navržená metoda porovnání detekčních systémů proti UAS spočívá v zhodnocení subjektivních priorit daného subjektu při výběru, porovnání s danými kritérii, přerozdělení vah, vynásobení s jednotlivě definovanými hodnotami, celkovém porovnání a následném výběru nejlepší možné shody.

Subjekt na základě definovaných vyřazovacích kritérií porovná své limitní hodnoty širšího výběru detekčních systémů dle vlastní preference s hodnotami, které získal ke konkrétnímu detekčnímu systému. Po porovnání budou z širšího výběru vyřazeny ty detekční systémy, které neprošly vyřazovacími kritérii přes limitní hodnoty daného subjektu. Dále subjekt pracuje s užším výběrem detekčních systémů. Podle kritérií výběru a dle svých osobních preferencí určí, která kritéria jsou pro jeho volbu detekčního systému stěžejní a přejde k hodnocení jednotlivých kritérií. Hodnocení je založeno na přidělení váhy ke konkrétním kritériím. Subjekt tedy na základě definovaných šesti kritérií výběru rozdělí váhy tak, že nejvíce stěžejní kritérium bude ohodnoceno váhou 6 a v opačném případě, tedy nejméně stěžejní, bude mít váhu 1. Všem kritériím bude přidělena pouze jedna hodnota. Žádná dvě kritéria nesmí mít stejnou hodnotu váhy. Po přerozdělení vah k jednotlivým kritériím dojde k vynásobení vah příslušně definovanou hodnotou kritéria. Poté dojde k celkovému porovnání výsledných hodnot a následnému výběru nejlepší možné shody detekčního systému/detekčních systémů.

3.3.2 Aplikace metody

V této podkapitole bude rozebrán přesný postup, jak aplikovat metodu porovnání pro jednotlivé subjekty. Metoda spočívá v dodržování následujících bodů s pokyny, kterými se musí subjekt při výběru detekčního systému řídit.

1. V prvním bodě subjekt vyhodnotí, zda potřebuje detekční systém, či nikoliv. Jsem vlastníkem strategického objektu, místa či území, kde je potenciaální možnost ohrožení bezpilotními systémy? Mám potřebu ochrany takového místa? Čelil jsem někdy v minulosti útokům ze strany bezpilotních systémů nebo jsem byl jako subjekt ohrožen ať už úmyslně či neúmyslně? Nachází se v blízkosti centrály větší výskyt amatérských bezpilotních systémů? Mohou být pro mne jako subjekt potenciaální hrozbou? Je zde možnost, že se útočník pouze za amatérského pilota vydává?
2. Pokud subjekt vyhodnotil pořízení detekčního systému kladně, přichází na řadu výběr potenciaálních detekčních systémů bezpilotních prostředků pro daný subjekt. Subjekt vybere libovolné množství detekčních systémů, které podrobí porovnání dle stanovené metody.
3. Proto, aby bylo možné pokračovat v metodě, je důležité, aby si každý subjekt u svých preferovaných detekčních systémů na trhu zjistil minimálně tato kritéria, která byla definovaná výše: pořizovací náklady, dosah detekce, hmotnost, technologie detekce, integrace eliminační funkce, země původu.
4. V třetím bodě je výběr skupiny detekčních systémů považován za širší výběr, kde subjekt u jednotlivých kritérií stanoví limitní hodnoty, které jsou pro něho přípustné. Následně tyto hodnoty podrobí porovnání s hodnotami u definovaných vyřazovacích kritérií. Po porovnání dojde k vyřazení některých detekčních systémů bezpilotních systémů z širšího výběru. S detekčními systémy, které nebudou splňovat limitní hodnoty nebude dále pracováno.
5. V tomto bodě je již pracováno s užším výběrem detekčních systémů, který prošel přes limitní hodnoty vyřazovacích kritérií. Zde je důležité, aby se subjekt zamyslel nad konkrétními otázkami, vyplývajícími z daných kritérií výběru. Otázky k zamyšlení jsou následující:
 - Ve vyřazovacích kritériích byly vyřazeny z porovnání ty detekční systémy, které překročily určitou hranici finančních možností. Nyní je důležité najít odpověď na otázku, zda je možné čerpat veškerý obnos finančních prostředků na pořízení detekčního systému nebo bude lepší dostat cenu pod aktuální rozpočet a zbylé finanční prostředky investovat do jiného projektu spojeného s pořízením systému? Není potřeba rozšíření nebo úprav pozemku, na který bude systém aplikován? Není lepší mít rezervu v nákladech na případně náhlé nepředvídatelné situace? Je lepší investovat celý rozpočet do detekčního systému, který se jeví jako kvalitnější na rozdíl od levnější varianty?

- Jak moc je důležitý dosah detekce? Pro vlastníka objektu o velké rozloze je důležitý dosah detekce v rámci desítek kilometrů nebo rozloha pozemku či samostatně stojící budovy není rozsáhlá a bude stačit, pokud detekční systém bude disponovat výkonem čili dosahem několika jednotek metrů? Je zapotřebí maximálního dosahu nebo lze slevit z nároků a vybrat detekční systém, který disponuje adekvátním dosahem, ale převyšuje ostatní detekční systémy v jiných kritériích?
- Další otázkou k zamyšlení je hmotnost detekčního systému. Z širšího výběru byly vyřazeny detekční systémy, které svou hmotností nevyhovovaly konkrétnímu subjektu. Nyní je otázkou, zda je subjekt vlastníkem pozemku a jak je limitován prostorem pro vyžití? Nebo subjekt nevlastní žádný pozemek, na kterém by mohl operovat detekční systém, a proto bude muset využít prostor na budově, která má dostatečnou únosnost nebo bude nucen pronajmout si pozemek v blízkosti oblasti, která má být chráněná? Další otázkou je, zda je pro subjekt hraniční lokace umístění detekčního systému. Nabízí se totiž možnost, že subjekt bude mít k dispozici pronájem pozemku, který ale nebude v těsné blízkosti budov nebo centrál, které je potřeba ochránit před nedovoleným vniknutím bezpilotních systémů, a proto nebude možné slevit z požadovaného dosahu za žádných okolností.
- Nyní jsou z širšího výběru vyřazeny nevhodné technologie detekce pro subjekt. Otázkou je, zda subjekt z osobně vybraných technologií považovaných za vhodné preferuje raději technologie např. na bázi primárního radaru nebo raději preferuje optický kamerový systém, kde by mohl sledovat živě 3D pohyby na externích obrazovkách?
- Následující otázka rozebírá kritérium o integraci eliminačního zařízení. Nyní z pohledu subjektu bude přidělena váha dle konkrétní technologie eliminace. Bude subjekt preferovat např. eliminaci pomocí vystřelovací sítě nebo raději rušičku signálu (RF jamming), aby tak bylo zamezeno případnému poškození detekovaného zařízení po dopadu ve vystřelené síti?
- Jak už bylo výše zmíněno, země původu v některých případech nemusí hrát žádnou roli. Nicméně pro některé subjekty toto kritérium určitou váhu má, a proto si musí položit otázky, které vyřeší problém, jak velkou váhu přidělit právě tomuto kritériu. Z širšího výběru byly vyřazeny země, s kterými subjekt neměl zájem spolupracovat z důvodu jemuž známý. Nyní přichází rozhodnutí o tom, zda konkrétní země původu bude disponovat pro subjekt vyšší váhou např. z důvodu lepších vztahů s danou zemí nebo ze

zkušeností z již proběhlých obchodů na rozdíl od zemí, které budou představovat krok do neznáma.

6. V návaznosti na zodpovězené otázky v předchozím bodě nyní dojde ke stanovení jednotlivých vah k daným kritériím, a to na základě nejvyšší preference. Pokud tedy je počet kritérií stanoven na šest, nejvyšší možná váha přidělená právě jednomu klíčovému kritériu bude 6. Dále se bude pokračovat obdobným způsobem a bude se postupně snižovat hodnota váhy s ubývajícími již ohodnocenými kritérii, dokud nebudou vyčerpány všechny možnosti a každé z kritérií nebude mít přidělenou právě jednu váhu dle osobní preference.

- př.: pro subjekt jsou důležitá kritéria v tomto pořadí, a proto byla váha přerozdělena následujícím způsobem:
 - Pořizovací náklady – **5**
 - Dosah detekce – **3**
 - Hmotnost – **2**
 - Technologie detekce – **4**
 - Integrace eliminační funkce – **6**
 - Země původu – **1**

7. Pokud bylo postupováno podle bodu č. 5, jsou nyní přidělené váhy u jednotlivých kritérií. Nyní u jednotlivých vah dojde k vynásobení s příslušně definovanými hodnotami u kritérií uvedených výše. Pokud by však nebyly dohledatelné jakékoliv hodnoty u detekčních systémů nebo by je výrobci nechtěli poskytnout, pro vynásobení hodnoty s jednotlivými vahami bude počítáno s nejnižší možnou hodnotou dle tabulek č. 3, 4 a 5. Detekční systémy budou tímto způsobem penalizovány.

Po vynásobení a získání konkrétních výsledků u jednotlivých detekčních systémů budou následně mezi sebou porovnány právě všechny tyto výsledky. Bude sestaven žebříček výsledných hodnot od nejvyšší po nejnižší a dle něho stanovena nejlepší možná volba detekčního systému/detekčních systémů.

8. Nyní je znám výsledný systém nebo systémy a podle osobních preferencí bude vyhodnoceno, zda je pro subjekt tento systém nebo systémy dostačující. Pokud ne, bude se muset najít jiná alternativa detekčního systému bezpilotních prostředků na trhu, která nebyla zahrnuta, a pokračovat s aplikací metody od bodu č. 2 nebo zatím neexistuje žádný detekční systém, který by vyhovoval požadavkům subjektu.

4 Vyhodnocení systémů podle kritérií a stanovení nejlepších možností

V této kapitole budou namodelovány vzorové příklady s aplikací výše definované metody. První příklad bude zaměřen na věznici v soukromém vlastnictví, která není nijak limitována terénem pro technologii detekce a v druhém případě bude namodelován příklad pro letiště, které se nachází nedaleko od centra města a je ve vlastnictví státu.

4.1 Modelový příklad č. 1

Tento modelový příklad popisuje výběr detekčního systému pro ochranu soukromé věznice, která se nachází na volném prostranství, kde není problém použití jakéhokoliv detekční technologie. Tento subjekt je limitován určitým rozpočtem. Dosah detekce je zde limitován na 3 km. Hmotnost zde také nesmí překročit určitou hodnotu. Subjekt nepožaduje integraci eliminační funkce. Země, s kterou nemá zájem spolupracovat je Čína. Všechny tyto limity a preference jsou uvedeny v tabulce č. 6.

4.1.1 Postup aplikace metody

1. Subjekt rozhodl, že potřebuje detekční systém.
2. Výběr detekčních systémů se nachází v tabulce č. 17.
3. Hodnoty získané pro vybrané detekční systémy jsou uvedeny v tabulce č. 17.
4. Příklad modelujeme pro subjekt, soukromou věznici, s požadavky nacházejícími se v tabulce č. 6. Dále pak po porovnání s hodnotami u vyřazovacích kritérií nebude počítáno s detekčními systémy dle tabulky č. 7.

Tabulka 6: tabulka limit a preferencí pro soukromou věznici

Kritérium	Limity	Preference
Požizovací náklady [EUR]	1 000 000	-
Dosah detekce [m]	3 000	-
Hmotnost [kg]	5 000	-
Technologie detekce	-	Radar
Integrace eliminační funkce	NE	-
Země původu	China	Germany
Typ platformy	-	-

Tabulka 7: tabulka detekčních systémů, které nesplňují vyřazovací kritéria stanovená subjektem – soukromou věznicí

Výrobce	Název produktu
DJI	AeroScope
Rohde & Schwarz	Ardronis
Blighter/Chess Dynamics/Enterprise Control Systems	AUDS Anti-UAV Defence System
Squarehead	Discovair
Orad	DROM
Rafael Advanced Defense Systems	Drone Dome
DeDrone, Inc.	DroneTracker
Robin Radar Systems	Elvira
Black Sage	UAVX

5. – 6. Po uvážení daného subjektu proběhlo přidělení jednotlivých vah k daným kritériím, které je k vidění v tabulce č. 8.

Tabulka 8: tabulka přidělených vah na základě preferencí daného subjektu

Kritéria	Váhy
Pořizovací náklady	6
Dosah detekce	5
Hmotnost	3
Technologie detekce	2
Integrace eliminační funkce	1
Země původu	4

7. – 8. V těchto bodech došlo k vynásobení přidělených vah s definovanými hodnotami. Na základě definované metody došlo k penalizaci detekčních systémů, u kterých nebyly uvedeny některé hodnoty a byla jim proto přidělena nejnižší možná hodnota dle tabulek č. 2, 3, 4 a 5. Výsledkem je sečtení všech násobků u jednotlivých detekčních systémů, které vyhovují požadavkům subjektu. Tyto hodnoty jsou zaznamenány v tabulkách č. 9, 10 a 11.

Tabulka 9: tabulka s výsledky jednotlivých vynásobených vah s hodnotami pro detekční systém Ardronis

Rohde & Schwarz – Ardronis			
Kritéria	Váhy	Hodnota	Násobek
Pořizovací náklady	6	1	6
Dosah detekce	5	4	20
Hmotnost	3	1	3
Technologie detekce	2	0	0
Integrace eliminační funkce	1	0	0
Země původu	4	1	4
Celkem			33

Tabulka 10: tabulka s výsledky jednotlivých vynásobených vah s hodnotami pro detekční systém DROM

Orad – DROM			
Kritéria	Váhy	Hodnota	Násobek
Pořizovací náklady	6	1	6
Dosah detekce	5	1	5
Hmotnost	3	7	21
Technologie detekce	2	1	2
Integrace eliminační funkce	1	0	0
Země původu	4	0	0
Celkem			34

Tabulka 11: tabulka s výsledky jednotlivých vynásobených vah s hodnotami pro detekční systém Elvira

Robin Radar Systems – Elvira			
Kritéria	Váhy	Hodnota	Násobek
Pořizovací náklady	6	4	24
Dosah detekce	5	4	20
Hmotnost	3	7	21
Technologie detekce	2	1	2
Integrace eliminační funkce	1	0	0
Země původu	4	0	0
Celkem			67

4.1.2 Výsledek příkladu č. 1

Z výsledku u příkladu č. 1 lze zjistit, že pro potřeby subjektu, soukromé věznice, se jeví jako nejlepší detekční systém Elvira od společnosti Robin Radar Systems. Tomuto systému dle

preferencí subjektu konkurovaly systémy Ardronis od společnosti Rohde & Schwarz a DROM od společnosti Orad. Detekční systém Elvira v celkovém součtu hodnot získal 67 bodů a předčil tak tímto dvojnásobným počtem bodů konkurenční systémy.

4.2 Modelový příklad č. 2

V druhém případě modelový příklad popisuje výběr detekčního systému pro ochranu letiště, která se nachází nedaleko od centra města, a kde je omezující použití detekční technologie založené na akustických senzorech. Dosah detekce v tomto případě hraje velkou roli a jeho minimální hodnota je stanovena na 5 000 m. Subjekt požaduje integraci eliminační funkce. Všechny tyto limity a preference jsou uvedeny v tabulce č. 12.

4.2.1 Postup aplikace metody

1. Subjekt rozhodl, že potřebuje detekční systém.
2. Výběr detekčních systémů se nachází v tabulce č. 17.
3. Hodnoty získané pro vybrané detekční systémy jsou uvedeny v tabulce č. 17.
4. Příklad modelujeme pro subjekt, letiště, s požadavky nacházejícími se v tabulce č. 12. Dále pak po porovnání s hodnotami u vyřazovacích kritérií nebude počítáno s detekčními systémy dle tabulky č. 13.

Tabulka 12: tabulka limit a preferencí pro letiště

Kritérium	Limity	Preference
Pořizovací náklady [EUR]	2 500 000	-
Dosah detekce [m]	5 000	-
Hmotnost [kg]	-	-
Technologie detekce	Acoustic	Radar, EO, IR
Integrace eliminační funkce	ANO	RF Jamming
Země původu	-	-
Typ platformy	Pozemní – pevná	-

Tabulka 13: tabulka detekčních systémů, které nesplňují vyřazovací kritéria stanovená subjektem – letištěm

Výrobce	Název produktu
DJI	AeroScope
Rohde & Schwarz	Ardronis
Blighter/Chess Dynamics/Enterprise Control Systems	AUDS Anti-UAV Defence System
Squarehead	Discovair
Orad	DROM
Rafael Advanced Defense Systems	Drone Dome
DeDrone, Inc.	DroneTracker
Robin Radar Systems	Elvira
Black Sage	UAVX

5. – 6. Po uvážení daného subjektu proběhlo přidělení jednotlivých vah k daným kritériím, které je k vidění v tabulce č. 14.

Tabulka 14: tabulka přidělených vah na základě preferencí daného subjektu

Kritéria	Váhy
Pořizovací náklady	3
Dosah detekce	6
Hmotnost	2
Technologie detekce	4
Integrace eliminační funkce	5
Země původu	1

7. – 8. V těchto bodech došlo k vynásobení přidělených vah s definovanými hodnotami. Na základě definované metody došlo k penalizaci detekčních systémů, u kterých nebyly uvedeny některé hodnoty a byla jim proto přidělena nejnižší možná hodnota dle tabulek č. 2, 3, 4 a 5. Výsledkem je sečtení všech násobků u jednotlivých detekčních systémů, které vyhovují požadavkům subjektu. Tyto hodnoty jsou zaznamenány v tabulkách č. 15 a 16.

Tabulka 15: tabulka s výsledky jednotlivých vynásobených vah s hodnotami pro detekční systém Ardronis

Rohde & Schwarz – Ardronis			
Kritéria	Váhy	Hodnota	Násobek
Pořizovací náklady	3	1	3
Dosah detekce	6	1	6
Hmotnost	2	1	2
Technologie detekce	4	0	0
Integrace eliminační funkce	5	1	5
Země původu	1	0	0
Celkem			16

Tabulka 16: tabulka s výsledky jednotlivých vynásobených vah s hodnotami pro detekční systém AUDES

Blighter/Chess Dynamics/Enterprise Control Systems – AUDES			
Kritéria	Váhy	Hodnota	Násobek
Pořizovací náklady	3	4	12
Dosah detekce	6	5	30
Hmotnost	2	1	2
Technologie detekce	4	1	4
Integrace eliminační funkce	5	1	5
Země původu	1	0	0
Celkem			53

4.2.2 Výsledek příkladu č. 2

U výsledkem příkladu č. 2 lze zjistit, že pro potřeby subjektu, letiště, se jeví jako nejvíce vhodný detekční systém AUDES Anti-UAV Defence System od společností Blighter/Chess Dynamics/Enterprise Control Systems. Tomuto systému dle preferencí subjektu konkuroval pouze jeden systém, a to systém Ardronis od společnosti Rohde & Schwarz. Detekční systém AUDES Anti-UAV Defence System v celkovém součtu hodnot získal 53 bodů a předčil tak tímto počtem bodů konkurenční systém více jak třikrát. Největší rozdíl zde hrála přidělená hodnota u kritéria „dosah detekce“, jelikož detekční systém AUDES Anti-UAV Defence System má dvojnásobný dosah detekce oproti systému Ardronis. Dále pak hrála roli hodnota kritéria „pořizovací náklady“, jelikož byl detekční systém Ardronis v tomto kritériu penalizován.

4.3 Informační tabulka získaných hodnot k jednotlivým detekčním systémům

Tabulka 17: porovnání kritérií vybraných detekčních systémů (zpracováno autorem na základě [26] [28] [35] [40] [46] [47])

Výrobce	Název produktu	Pořizovací náklady (EUR)	Dosah detekce (km)	Hmotnost (kg)	Technologie detekce	Integrace eliminační funkce	Země původu	Typ platformy
DJI	AeroScope	300 000 (+ 39 000 každý rok)	50	16	Electronic Identification	NE	China	Pozemní – pevná
Rohde & Schwarz	Ardronis	-	5	-	RF	ANO – RF Jamming, GNSS Jamming	Germany	Pozemní – pevná
Blighter/Chess Dynamics/Enterprise Control Systems	AUDS Anti-UAV Defence System	1 335 000*	10	-	Radar, EO, IR	ANO – RF Jamming	United Kingdom	Pozemní – pevná
Squarehead	Discovair	-	0,5	50	Acoustic	NE	Norway	Pozemní – pevná
Orad	DROM	-	3,5	38	RF, Radar, EO, IR	ANO – RF Jamming	Israel	Pozemní – pevná
Rafael Advanced Defense Systems	Drone Dome	3 000 000	3,5	-	Radar, EO, IR	ANO – RF Jamming, GNSS Jamming, Laser	Israel	Pozemní – pevná
DeDrone, Inc.	DroneTracker	-	0,5	3,8	EO, IR, Acoustic, Wifi	NE	USA	Pozemní – pevná
Robin Radar Systems	Elvira	180 000	5	72	Radar	NE	Netherlands	Pozemní – pevná
Black Sage	UAVX	445 000	1	20	Radar, EO, IR	ANO – RF Jamming	USA	Pozemní – pevná

*Kurz použitý k přepočtu: 1 EUR = 26,73 CZK, 1 USD = 23,67 CZK, 1 GBP = 29,72 CZK

4.4 Validita metody

Navržená metoda pro porovnání detekčních systémů proti UAS se jeví jako bezchybná. Po jejím definování, byla metoda použita na dvou modelových příkladech, dle kterých lze vidět její použití v praxi. Výsledky u těchto dvou modelových příkladů jsou pochopitelné a je vidět, dle čeho tyto výsledky vznikly. Metoda je aplikovatelná na jakýkoliv výběr detekčních systémů, proto může být použita kterýmkoliv subjektem. Dle konzultace s odbornými pracovníky pro bezpečnost vůči bezpilotním systémům na Letišti Václava Havla Praha je potvrzené, že tato metoda je navržená správně a může být použita pro výběr detekčních systémů proti UAS v reálném provozu.

5 Diskuse

Tato práce pojednává o porovnání detekčních systémů proti UAS. Cíle této práce byly splněny, konkrétně se jednalo o stanovení hrozeb a rizik spojených s provozem bezpilotních systémů, vymezení existujících technologií detekce, provedení rozboru některých detekčních systémů a hlavním cílem bylo navržení metody pro porovnání detekčních systémů proti UAS. Stanovená metoda tedy popisuje, jak efektivně porovnat výběr detekčních systémů proti UAS a jak vybrat nejvhodnější detekční systém z tohoto výběru pro daný subjekt. Metoda spočívá v zhodnocení subjektivních priorit daného subjektu při výběru, porovnání s danými kritérii, přerozdělení vah, vynásobení s jednotlivě definovanými hodnotami, celkovém porovnání a následném výběru nejlepší možné shody.

Stanovením této metody bylo dosaženo hlavního cíle práce, a to stanovení metody pro porovnání detekčních systémů proti UAS. Výsledky práce ukazují, že metoda je navržena správně a dle konzultací s odbornými pracovníky pro bezpečnost vůči bezpilotním systémům z Letiště Václava Havla Praha, byla uznána jako metoda, dle které se mohou subjekty řídit při jejich výběru.

O navržené metodě pojednávala třetí a čtvrtá kapitola. V první řadě byla metoda stanovena a poté byla aplikována pro dva rozdílné subjekty s různými požadavky na dvou vzorových případech. Jedním ze subjektů byla soukromá věznice, která měla omezený rozpočet pro pořízení detekčního systému, limitující dosah i hmotnost a nepožadovala integraci systému s eliminační funkcí. Dále preferovala radar jako technologii detekce a neměla zájem o spolupráci s detekčním systémem vyrobeným v Číně. Na rozdíl od toho upřednostňovala systémy vyrobené v Německu. Pro tento subjekt se jako nejlepší detekční systém z výběru jevil systém Elvira od společnosti Robin Radar Systems. Tomuto systému konkurovaly dva systémy, které ovšem získaly o polovinu bodů méně. To mohlo být zapříčiněno penalizací, kterou dva konkurenční systémy získaly v hodnocení na základě toho, že od nich nebyly poskytnuty nebo nebyly dohledatelné konkrétní hodnoty. Jednalo se především o hodnoty u kritérií pořizovací náklady a hmotnost. Některé společnosti totiž neposkytují informace ohledně jejich systémů z důvodu jim známý osobám nebo subjektům, kteří nejsou potenciaálními zákazníky. Tento problém, poskytování informací pouze potenciaálními zákazníky, byl vyřešen v tomto případě již zmíněnou penalizací pro daná kritéria. O detekčním systému Elvira byly zjištěny všechny potřebné informace a po přepočítání všech hodnot se tento systém jevil jako nejlepší možná volba.

V druhém případě se jednalo o subjekt letiště. Tento subjekt měl jiné požadavky. Rozpočet byl násobně vyšší než v prvním případě a hmotnost nebyla nijak limitována. Akustická technologie detekce byla z tohoto výběru vyřazena. Dosah detekce byl stanoven na minimální hodnotu, která byla vyšší než v prvním příkladu, a navíc zde subjekt požadoval integraci systému s eliminační funkcí s preferencí technologie RF Jamming, a proto pro něho z daného výběru byly vybrány odlišné detekční systémy. Konkrétně to byly systémy AUDES Anti-UAV Defence System od společností Blighter/Chess Dynamics/Enterprise Control Systems a Ardronis od společnosti Rohde & Schwarz. Detekční systém AUDES zde v bodovém hodnocení vyhrál oproti konkurenčnímu systému o více jak trojnásobek bodů. Tento stav byl znovu zapříčiněn penalizací systému Ardronis, jelikož u něho nebyly poskytnuty některé hodnoty, a navíc systém AUDES disponuje dvojnásobným dosahem detekce. Problém s penalizací jednotlivých kritérií by neměl být omezením pro subjekty, které se budou řídit dle této stanovené metody, jelikož budou potenciálními zákazníky pro konkrétní společnosti nabízející detekční systém a všechny potřebné hodnoty by jim měly být poskytnuty.

Jak už bylo zmíněno, metoda je aplikovatelná na jakýkoliv výběr detekčních systémů, proto může být použita kterýmkoliv subjektem. Subjekt svůj výběr detekčních systémů dosadí do stanovené metody a podle správného definovaného postupu ve výsledku zjistí, jaký detekční systém se pro něho jeví jako nejvíce vhodný. Tato metoda je vytvořena z důvodu neexistence žádné jiné, která by řešila tento problém. Bezpilotních systémů neustále přibývá a s nimi i detekčních systémů, které jsou zapotřebí pro jejich monitorování. Metoda tedy pomůže při výběru detekčního systému z několika dostupných možností na současném trhu.

6 Závěr

Hrozby a rizika spojené s provozováním bezpilotních systémů jsou čím dál tím častější a je třeba se touto problematikou skutečně zabývat a nepřehlížet ji. Bepilotní systémy v komerční i nekomerční sféře vzrostly na oblibě značnou rychlostí a v dalších letech se dá předpokládat jejich další rozvoj a růst. Vzhledem k tomuto nárůstu na oblibě se dá předpokládat i zvýšený počet rizik spojený s jejich provozem. Takto potencionálně velký provoz je zapotřebí regulovat a monitorovat a projevit určitou snahu o omezení hrozeb s ním spojené. Pro tyto případy poslouží detekční systémy proti UAS, které jsou zaměřeny na detekci bezpilotních systémů a pro eliminaci lze tyto systémy integrovat s eliminační funkcí.

Hlavním tématem této bakalářské práce jsou detekční systémy proti UAS, a především vytvoření metody pro jejich porovnání. Práce je členěna na úvod, čtyři kapitoly, diskusi a závěr. První kapitola je zaměřena na historii bezpilotních systémů, kde jsou popsány rané začátky těchto systémů až po současnou masovou výrobu komerčních bezpilotních systémů. Dále jsou zde bezpilotní systémy rozděleny dle kritérií, jako je jejich účel, typ konstrukce a dělení dle české a evropské legislativy. Kapitola se také zabývá v současnosti přibývajícím rizikem ohrožení bezpilotními systémy. Druhá kapitola pojednává o charakteristice jednotlivých detekčních technologií systémů, kterými mohou být primární radary, detektory rádiového spektra, optické a infračervené senzory, senzory akustické nebo v nejlepším případě kombinace několika zmíněných technologií. Druhá polovina je zaměřena na charakteristiku jednotlivých detekčních systémů a na závěr je kapitola doplněna o tabulku s informacemi k jednotlivým detekčním systémům. Ve třetí a čtvrté kapitole je upuštěno od teoretické části a práce se věnuje části praktické. Je zde definována metoda, dle které mohou subjekty snáze porovnat detekční systémy. V kapitole je popsán celkový postup pro aplikaci metody a definovány konkrétní hodnoty, s kterými se v jednotlivých bodech počítá. Metoda je poté aplikována na dvou vzorových příkladech pro dva subjekty s rozdílnými požadavky a pohledy na kritéria.

Představa o metodě byla taková, že u jednotlivých detekčních systémů budou získány všechny potřebné informace a data. To se ovšem nestalo, jelikož při komunikaci s výrobcem detekčních systémů mi bylo několikrát sděleno, že informace o detekčních systémech se nemohou sdělovat osobám, které nejsou potencionálními zákazníky. Tento fakt zapříčinil vytvoření penalizace těchto systémů, aby se s těmito systémy mohlo nadále pracovat. Jako další možnost kritéria pro výběr detekčních systémů by se hodila doba realizace, respektive termín dodání detekčního systému. Od tohoto kritéria však muselo být upuštěno, jelikož se tyto informace nedají nikde dohledat a dodavatelé je neposkytují. Další limitací pro tuto práci byl

dopad pandemie Covid-19. Před vyhlášením nouzového stavu a stanovením mimořádných opatření byly domluveny společné konzultace s odbornými pracovníky pro bezpečnost vůči bezpilotním systémům na Letišti Václava Havla Praha. Ty se ovšem neuskutečnily. Společná konzultace proběhla až čtyři dny před datem odevzdání, a tak nezbyl čas pro velké úpravy a pro vytvoření páté kapitoly byla ponechána forma aplikace metody na dvou vzorových příkladech. Je třeba také zmínit že navržená metoda nedokáže uvažovat problémy spojené s umístěním detekčního systému pro konkrétní subjekty.

Navzdory těmto limitacím byly informace u většiny systémů zjištěny a byla tak vytvořena první metoda výběru detekčního systému proti UAS. Bakalářská práce je tak značným přínosem pro subjekty, které mají zájem o výběr detekčních systémů proti UAS. Vede k rychlejšímu a efektivnějšímu nalezení vhodného detekčního systému nebo detekčních systémů.

Závěrem lze říci, že všechny stanovené cíle byly splněny. Hrozby a rizika spojené s provozováním bezpilotních systémů byly stanoveny. Byly vymezeny existující technologie detekce, byl proveden rozbor některých detekčních systémů a v první řadě byla vytvořena metoda dle které se dají porovnat detekční systémy proti UAS. Vývoj a růst popularity bezpilotních systémů bude v budoucnu stoupat, jelikož mají bezpilotní systémy značný potenciál ve využití. S jejich přibývajícím počtem bude potřeba také korigovat jejich provoz a detekční systémy budou diskutovanějším tématem a jejich pořizování bude zvažovat více subjektů. Věřím, že tato práce nebyla přínosem jen pro mne při jejím zpracování, ale bude i pro subjekty s potenciálem k nákupu detekčního systému proti UAS.

Použité zdroje

- [1] A Short History of Unmanned Aerial Vehicles. *Consortiq* [online]. [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://consortiq.com/media-centre/blog/short-history-unmanned-aerial-vehicles-uavs>
- [2] Remote Piloted Aerial Vehicles: An Anthology. *Monash University* [online]. [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: http://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_home.html#Beginnings
- [3] Everett, H.R. *Unmanned Systems of World Wars I and II*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2015. ISBN 978-0-262-02922-3.
- [4] KARAS, Jakub. TICHÝ, Tomáš. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.
- [5] 1910s & 1920s. *UAV Universe* [online]. [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/uavuni/1910-s>
- [6] Kettering Aerial Torpedo "Bug". *National Museum of the United States Air Force™* [online]. [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: <https://www.nationalmuseum.af.mil/Visit/Museum-Exhibits/Fact-Sheets/Display/Article/198095/kettering-aerial-torpedo-bug/>
- [7] de Havilland DH82B Queen Bee. *de Havilland Aircraft Museum* [online]. [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.dehavillandmuseum.co.uk/aircraft/de-havilland-dh82b-queen-bee/>
- [8] MQ-1B Predator. *U.S. Air Force* [online]. [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104469/mq-1b-predator/>
- [9] IZS a krizové řízení. *DronySIT* [online]. [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://dronysitmp.cz/sluzby/izs-a-krizove-rizeni/>
- [10] KŘAPA, Bc. Adam. *Bezpečnostní aspekty spojené s masovým užíváním dronů*. Zlín, 2019. 93 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky. Vedoucí práce doc. Ing. Martin Hromada, Ph.D.
- [11] Proč jsou tzv. „multikoptéry“ (kvadrokoptéry, hexakoptéry, oktokoptéry atd.) považovány z pohledu klasifikace letadel za vrtulníky? *Úřad pro civilní letectví* [online]. [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/letadla-bez-pilota-na-palube/provoz-ostatnich-letadel-bez-pilota-na-palube/proc-jsou-tzv-multikoptery-kvadrokoptery-hexakoptery-oktokoptery-atd-povazovany-z-pohledu-klasifikace-letadel-za-vrtulniky/>
- [12] KARAS, Jakub. 222 tipů a triků pro drony. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-251-4874-7.

- [13] Nalezli jste radiosondu? Český Hydrometeorologický Ústav [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/aktualni-stav-pocasi/informace-a-zajimovosti/nalezli-jste-radiosondu>
- [14] Ještě jednou o Doplnku X, aneb: Není pravda, že s malým dronem mohu všechno. DRONEWEB [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/legislativa-provozu-dronu/item/153-drony-pravidla-hmotnost-doplnek-x>
- [15] Letecký předpis Pravidla létání L2, Doplněk X – Bezpilotní systémy. Letecká informační služba. [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- [16] ZMEŠKALOVÁ, Mgr. Adéla. Legislativa a provozní předpisy – bezpilotní letadla. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: Poskytnuto Mgr. Adélou Zmeškalovou
- [17] Příprava společných evropských pravidel. Úřad pro civilní letectví [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/letadla-bez-pilota-na-palube/priprava-spolecnych-evropskych-pravidel/>
- [18] Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947. European Aviation Safety Agency [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/document-library/regulations/commission-implementing-regulation-eu-2019947>
- [19] Vzdušný prostor České republiky. Letecká informační služba [online]. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: https://aim.rlp.cz/vfrmanual/actual/pdf/enr_1_cz.pdf
- [20] Kde se nachází jaký druh vzdušného prostoru? (TMA, CTR, ATZ, zakázané, nebezpečné, vyhrazené, atd.). Úřad pro civilní letectví [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/letadla-bez-pilota-na-palube/provoz-ostatnich-letadel-bez-pilota-na-palube/kde-se-nachazi-jaky-druh-vzdušneho-prostoru-tma-ctr-atz-zakazane-nebezpecne-vyhrazene-atd/>
- [21] EasyJet to roll out drone inspections from 2018. FlightGlobal [online]. [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: https://www.flightglobal.com/mro/easyjet-to-roll-out-drone-inspections-from-2018/125561_article
- [22] KRYŠKA, Bc. David. *Hrozby způsobené bezpilotními prostředky a obrany proti nim*. Praha, 2018. 60 s. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy. Vedoucí práce Ing. Stanislav Absolon.
- [23] BAČOVÁ, Bc. Adéla. *Návrh obrany proti vniknutí bezpilotních prostředků na letiště Praha – Kbely*. Praha, 2018. 58 s. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy. Vedoucí práce Ing. Stanislav Absolon.

- [24] *Učebnice pilota 2019: pro žáky a piloty všech druhů letounů a sportovních létajících zařízení, provozujících létání jako svou zájmovou činnost*. Cheb: Svět křídel, 2019. ISBN 978-80-7573-049-7
- [25] Unauthorized Amateur UAV Detection Based on WiFi Statistical Fingerprint Analysis. *IEEE Communications Magazine* [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8337905/>
- [26] Dedrone DroneTracker. *Dronebouncer* [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <http://dronebouncer.com/en/dedrone-dronetracker>
- [27] Vojenský technický ústav letectva: Sojka III – Bezpilotní průzkumný letoun. [online]. 2004. Dostupné z: http://lu.fme.vutbr.cz/cuav/index_soubory/prispevky/kuzdas.pdf
- [28] Arthur Holland Michel. *Counter-drone systems*. [online]. 2018. Dostupné z: <http://www.horizontesdefensayseguridad.net/wp-content/uploads/sites/3/2018/04/COUNTER-DRONE-SYSTEMS.pdf>
- [29] Vojenský technický ústav, s. p.: Vzdušné bezosádkové systémy – aktuální hrozba současnosti. [online]. 2017. Dostupné z: <http://www.rlp.cz/spolecnost/tisk/PrezentaceAMaterialy/Seminář%20o%20problematice%20detekce%20a%20integrace%20dronů%20do%20systému%20ř%C3%ADzen%C3%AD%20letového%20provozu%2027.%206.%202017/Vzdušné%20bezosádkové%20systémy%20-aktuáln%C3%AD%20hrozba%20současnosti.pdf>
- [30] DJI AeroScope. *DJI* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/aeroscope>
- [31] Countering RC drones – every second count. *Rohde & Schwarz ARDRONIS* [online]. [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/ARDRONIS_bro_en_5214-7035-12_v0600.pdf
- [32] AUDES Anti-UAV Defence System. *Blighter Surveillance Systems* [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.blighter.com/wp-content/uploads/auds-factsheet.pdf>
- [33] Strategic Counter-UAS Systems. *Blighter Surveillance Systems* [online]. [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.blighter.com/wp-content/uploads/auds-brochure.pdf>
- [34] The first truly autonomous anti-drone solution. *Eagle.one* [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <https://eagle.one>
- [35] Elvira. *Robin Radar Systems* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.robinradar.com/elvira-anti-drone-system>
- [36] Drone and avian radars. *LabroTek* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.labrotek.com/en/products/avian-radars/>

- [37] DRONE DOME™ – C-UAS. *Rafael Advanced Defense System LTD* [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.rafael.co.il/worlds/air-missile-defense/c-uas-counter-unmanned-aircraft-systems/>
- [38] Counter drone software. *Dedrone* [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.dedrone.com/products/counter-drone-software>
- [39] A Dynamic Defense Against Hostile Drones. *Rafael Advanced Defense System LTD* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.rafael.co.il/wp-content/uploads/2019/03/Drone-Dome-Updated-march-19-1.pdf>
- [40] UAVX Reference. *Klinger* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: https://www.klinger.fi/wp-content/uploads/migrated/attachment/UAVX_Reference.pdf
- [41] This Brilliant Plan Could Stop Drone Terrorism, Too Bad It's Illegal. *WIRED Magazine* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.wired.com/2017/02/sky-net-illegal-drone-plan/>
- [42] Drone Detection. *Squarehead Technology* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.sqhead.com/drone-detection/#1535049829249-0b6538c7-c692>
- [43] Squarehead unveils Discover G2. *Squarehead Technology* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.sqhead.com/squarehead-unveils-discover-g2/>
- [44] DROM Drone Defense System. *Orad* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <http://orad.cc/en/drom-system/>
- [45] DRONE DETECTION & NEUTRALIZATION SYSTEM Product Brochure. *Orad* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: http://orad.cc/wp-content/uploads/2017/09/DROM_Brochure_E.pdf
- [46] Israeli anti-drone technology brings an end to Gatwick Airport chaos. *The Jerusalem Post* [online]. [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <https://www.jpost.com/International/Israeli-anti-drone-technology-brings-an-end-to-Gatwick-Airport-chaos-575054>
- [47] Arthur Holland Michel. *Counter-drone systems 2nd Edition*. [online]. 2019. Dostupné z: <https://dronecenter.bard.edu/files/2019/12/CSD-CUAS-2nd-Edition-Web.pdf>

Seznam obrázků

- Obrázek 1: Kettering Bug [6]
- Obrázek 2: MQ-1 Predator – vojenský dron firmy General Atomics [4]
- Obrázek 3: bezpilotní průzkumný letoun Sojka III (Zdroj: <https://www.muzeum-kunovice.cz/sojka-iii-tvm/>)
- Obrázek 4: vzlet hodem z ruky RQ11-raven (Zdroj: <https://www.army-technology.com/projects/rq11-raven/>)
- Obrázek 5: uspořádání dle počtu vrtulí (Zdroj: <https://www.droni.cz/kvadrokoopera-octocoptera-dron/>)
- Obrázek 6: rozdělení UAS otevřené kategorie dle EASA (Zdroj: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Opinion%20No%2001-2018.pdf>)
- Obrázek 7: legenda k obrázkům 8 a 9 [15]
- Obrázek 8: provoz v prostorách třídy G a E a v ATZ [15]
- Obrázek 9: provoz v CTR/MCTR [15]
- Obrázek 10: stacionární a mobilní systém AeroScope firmy DJI (Zdroj: <https://counterdronesolutions.com.au/dji-aeroscope/>)
- Obrázek 11: systém Rohde & Schwarz Ardronis (Zdroj: https://www.rohde-schwarz.com/gr/product/ardronis-p-productstartpage_63493-617999.html)
- Obrázek 12: systém AUDS Anti-UAV Defence System [32]
- Obrázek 13: systém Discovair od společnosti Squarehead [42]
- Obrázek 14: izraelský detekční systém DROM (Zdroj: <https://www.jpost.com/business-and-innovation/tech/israeli-company-showcases-drone-interception-technology-496344>)
- Obrázek 15: systém Drone Dome od firmy Rafael Advanced Defense Systems [37]
- Obrázek 16: systém DroneTracker od firmy Dedrone [26]
- Obrázek 17: systém Elvira od firmy Robin Radar Systems [35]
- Obrázek 18: detekční systém UAVX od společnosti Black Sage [40]

Seznam tabulek

- Tabulka 1: tabulka vybraných detekčních systémů (zpracováno autorem na základě Counter-drone systems [28])
- Tabulka 2: tabulka definující hodnoty pro kritérium pořizovací náklady
- Tabulka 3: tabulka definující hodnoty pro kritérium dosah detekce
- Tabulka 4: tabulka definující hodnoty pro kritérium dosah detekce s limitem
- Tabulka 5: tabulka definující hodnoty pro kritérium hmotnost
- Tabulka 6: tabulka limit a preferencí pro soukromou věznicí
- Tabulka 7: tabulka detekčních systémů, které nesplňují vyřazovací kritéria stanovená subjektem – soukromou věznicí
- Tabulka 8: tabulka přidělených vah na základě preferencí daného subjektu
- Tabulka 9: tabulka s výsledky jednotlivých vynásobených vah s hodnotami pro detekční systém Ardronis
- Tabulka 10: tabulka s výsledky jednotlivých vynásobených vah s hodnotami pro detekční systém DROM
- Tabulka 11: tabulka s výsledky jednotlivých vynásobených vah s hodnotami pro detekční systém Elvira
- Tabulka 12: tabulka limit a preferencí pro letiště
- Tabulka 13: tabulka detekčních systémů, které nesplňují vyřazovací kritéria stanovená subjektem – letištěm
- Tabulka 14: tabulka přidělených vah na základě preferencí daného subjektu
- Tabulka 15: tabulka s výsledky jednotlivých vynásobených vah s hodnotami pro detekční systém Ardronis
- Tabulka 16: tabulka s výsledky jednotlivých vynásobených vah s hodnotami pro detekční systém AUDES
- Tabulka 17: porovnání kritérií vybraných detekčních systémů (zpracováno autorem na základě [26] [28] [35] [40] [46] [47])