

Problematika bezpilotních letadel v bezpečnosti osob, objektů a utajovaných informací

Roman Riedl

Bakalářská práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman Riedl**
Osobní číslo: **A15759**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Problematika bezpilotních letadel v bezpečnosti osob, objektů a utajovaných informací**

Téma anglicky: **The Problem and Issues of Unmanned Aircraft in the Safety of Persons, Objects and Classified Information Fields**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Analyzujte trh z bezpilotními letadly, rozdělte do skupin dle nosnosti a způsobu letu.
3. Zpracujte přehled a výtah zákonů, které se týkají bezpilotních letadel a jejich provozu.
4. Na základě analýzy trhu vytypujte modely vhodné pro ohrožení bezpečnosti osob, objektů a utajovaných informací.
5. Zjistěte způsoby a principy detekce pohybu bezpilotních letadel pro daná ohrožení.
6. Zjistěte možnosti eliminace bezpilotních letadel na základě platné legislativy.
7. Analyzujte způsoby hrozby, proveďte analýzu rizik.
8. Pro analyzované hrozby navrhnete systém obrany.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. ZAVRŠNIK, Aleš. Drones and Unmanned Aerial Systems. Praha: Springer, 2016. ISBN 9783319237596.
2. ARKIN, William M. Unmanned: drones, data, and the illusion of perfect warfare. New York: Little, Brown and Company, 2015. ISBN 9780316323352.
3. MARSICO, Katie. Drones. New York, NY: Children's Press, an imprint of Scholastic, 2016. True book. ISBN 9780531224809.
4. KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. Drony. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 9788025146804.
5. Provoz ostatních letadel bez pilota na palubě, Úřad pro civilní letectví. Úřad pro civilní letectví [online]. Copyright ? 2001 [cit. 22.11.2017]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/provoz-ostatnich-letadel-bez-pilota-na-palube>
6. Zákon č. 49/1997 Sb. Zákon o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů
7. Letecká informační služba [online]. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/>

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ján Ivanka

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. prosince 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

24. května 2018

Ve Zlíně dne 12. prosince 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne



.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Literární rešerše problematiky bezpilotních letadel v bezpečnosti osob, objektů a utajovaných informací se zabývá problematikou bezpilotních letadel v dnešním světě. V dané problematice řeší bezpilotní letadla dle vlastností a způsobu použití. Rešerše řeší také legislativu České republiky týkající se bezpilotních letadel. Práce uspořádává jednotlivé zákony a omezení do logických celků tak, aby byly seřazeny podle skutečné potřeby létání s drony.

V teoretické části literární rešerše se také řeší legalita eliminace dronů v různých situacích. Primárně však legalita provozu a eliminace na svém pozemku jak z pohledu majitele pozemku, tak z pohledu provozovatele dronu.

Výstupem práce je komplexní přehled o rizicích pro bezpečnost osob, objektů a utajovaných skutečností a možnost obrany před nimi. Nedílnou součástí práce je i rozbor používaných detekčních systémů, jejich klady, zápory a místa vhodná pro použití. Detekční systémy jsou zároveň v práci ukázkově nasazeny na různých objektech včetně rozboru jejich detekčních vzdáleností a omezením dosahu vlivem profilu detekované zóny.

Klíčová slova: bezpilotní letadlo, dron, detekce, legislativa, dělení, eliminace, vzdušný prostor, bezletová zóna, rizika

ABSTRACT

The literary research of unmanned aircraft in the area of security of persons, objects and classified information deals with the problem of unmanned aircraft in today's world. The problem solves unmanned aircraft according to the characteristics and the way of use. The search also deals with the Czech legislation on unmanned aircraft. The work arranges individual laws and constraints into logical units so that they are ranked according to real drones flying needs.

The theoretical part of literary research also solves the legitimacy of drones elimination in various situations. Primarily, however, the legality of operation and removal on its land, both from the point of view of the owner of the land and from the point of view of the operator of the drones.

The output of the thesis is a comprehensive overview of the risks to the safety of persons, objects and classified information and the possibility of defending them. An integral part of the work is the analysis of the detection systems used, their pros and cons and the sites suitable for use. Detection systems are simultaneously shown on various objects, including the analysis of their detection distances and the limitation of impact by the profile of the detected zone.

Keywords: unmanned Airplane, drone, detection, legislation, division, elimination, airspace, No-Flight Zone, risks

Úvodem práce bych chtěl poděkovat Ing. Jánovi Ivankovi, za pomoc, toleranci a podporu při vypracovávání této bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická, nahraná do IS/STAG, jsou totožné.

OBSAH

OBSAH	7
ÚVOD	9
I. TEORETICKÁ ČÁST	11
1 HISTORIE A SOUČASNOST KOMERČNÍCH DRONŮ	12
1.1 SOUČASNÝ TRH.....	12
2 LEGISLATIVA ČESKÉ REPUBLIKY OHLEDNĚ PROVOZU DRONŮ	14
2.1 LETECKÉ PŘEDPISY	14
2.2 ROZDĚLENÍ VZDUŠNÉHO PROSTORU V ČESKÉ REPUBLICE.....	17
2.3 ODPOVĚDNOST ZA ŠKODU.....	18
2.4 MÍSTA PROVOZU DRONU	20
2.5 LEGISLATIVA OCHRANY OSOBNÍCH ÚDAJŮ	20
3 LEGISLATIVA ČESKÉ REPUBLIKY OHLEDNĚ ELIMINACE DRONŮ	22
4 DĚLENÍ DRONŮ	24
4.1 DLE ÚŘADU PRO CIVILNÍ LETECTVÍ	24
4.2 PODLE TYPU LETU, KONCEPCE	25
4.3 PODLE VELIKOSTI	26
4.4 PODLE DOSAHU.....	27
II. PRAKTICKÁ ČÁST	29
5 DETEKČNÍ SYSTÉMY	30
5.1 RADAROVÉ	30
5.2 RÁDIOVÉ SNÍMAČE – SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTORY	32
5.3 RÁDIOVÉ RADAROVÉ SNÍMAČE	32
5.4 VIZUÁLNÍ.....	34
5.5 AKUSTICKÉ.....	35
5.6 KOMBINOVANÉ.....	36
6 ELIMINAČNÍ SYSTÉMY	37
6.1 RUŠIČKY RF PÁSEM S PEVNOU MONTÁŽÍ.....	37
6.2 MOBILNÍ SMĚROVÉ RUŠIČKY RF PÁSEM	38
6.3 MOBILNÍ PLOŠNÉ RUŠIČKY RF PÁSEM	39
7 VYBRANÉ TYPY DETEKČNÍCH TECHNOLOGIÍ	40
7.1 INFRAČERVENÁ DETEKCE SPYNEL	40
7.2 KOMBINOVANÁ OCHRANA – DRONESENTRY	43
7.3 RF OCHRANA AARONIA AG	48
8 PŘÍKLADOVÉ HROZBY A JEJICH ŘEŠENÍ	51
8.1 OBECNÉ PRINCIPY PRO NÁVRH SYSTÉMU	51
8.2 ÚNIK INFORMACÍ – TESTOVACÍ POLYGON ŠKODA AUTO	51

8.2.1	Prostředí a situace	51
8.2.2	Možnosti řešení	52
8.2.3	Návrh řešení.....	53
8.2.4	Závěr.....	57
8.3	OHROŽENÍ BEZPEČNOSTI PROVOZU – JE DUKOVANY.....	57
8.3.1	Prostředí a situace	57
8.3.2	Možnosti řešení	59
8.3.3	Návrh řešení.....	60
8.3.4	Závěr.....	63
8.4	SHROMÁŽDĚNÍ OSOB NA VOLNÉM PROSTRANSTVÍ LETENSKÁ PLÁŇ.....	63
8.4.1	Prostředí a situace	63
8.4.2	Možnosti řešení	63
8.4.3	Návrh řešení.....	64
8.4.4	Závěr.....	66
ZÁVĚR		67
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		69
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....		71
SEZNAM OBRÁZKŮ		72
SEZNAM TABULEK.....		74
SEZNAM PŘÍLOH.....		75

ÚVOD

Drony neboli také bezpilotní letadla jsou v současnosti velice častým tématem. Většinou o nich slyšíme nejen v souvislosti s ozbrojenými konflikty, natáčením reportáží, dokumentů, filmů, sportovních videí, ale také i v souvislosti s neoprávněným pohybem, porušováním zákonů, ohrožováním a sledováním osob.

Literární rešerše se nebude věnovat vojenským dronům, ale bude zaměřena na drony volně dostupné, které si může pořídit kdokoliv, kdo si připraví dostatečný obnos finančních prostředků.

Právě kategorie komerčních dronů představuje hrozbu i mimo země postižené válečným konfliktem. Může způsobit zranění, ztráty na životech, anebo úniky informací, a to jak cíleně, tak pouhým omylem provozovatele. Jejich pohyb je sice omezen zákonem a leteckými předpisy, ale na velkém území se těžko kontroluje jejich provoz a smysl jejich použití, protože díky principu jejich fungování je velice obtížné vystopovat majitele, potažmo pilota, pokud on sám o to nebude mít zájem.

Informací, kde a jak správně provozovat dron, je v poslední době dostatek. Jsou dostupné informace, kde se nesmí létat, jaká jsou ochranná pásma, letové hladiny a bezletové zóny.

Dron ve své podstatě není výdobytek poslední doby, počátky bezpilotního létání se datují od 20. let 20. století, kdy se jim začal věnovat inženýr a fyzik Archibald Montgomery Low, který s nástupem 1. Světové války hledal řešení pro operace nad nepřátelským územím bez rizika ztráty na životech ve vlastních řadách. V České Republice můžeme mluvit o počátku kolem 60. let 20. století, kdy se elektronika stala relativně dostupnou, jak po stránce finanční, tak i vzhledem k vysokému školství a informovanosti odborné veřejnosti.

„Proč je ale v poslední době o nich tolik slyšet?“, „Jaká jsou rizika jejich používání?“ a „Jaká je legální obrana proti nim a co mohou způsobit?“

Drony jsou pro bezpečnost obrovskou hrozbou, o které se sice ví, ale reálně se na obranu nevynakládají téměř žádné prostředky. Z mého pohledu je informací ohledně pořízení, stavby, provozu a natáčení všude dostatek. V dnešní době dostupnosti internetu, kde jsou k dispozici videa a podrobné návody co a jak dělat, zvládne nákup, stavbu a provoz člověk s minimálními technickými znalostmi.

Na základě průzkumu u mých zákazníků jsem zjistil, že jsou velice dobře informováni o tom, kde a jak se může létat, jaké jsou restrikce provozu a zda jsou nad jejich objekty bezletové zóny. O obraně před nimi, avšak ví naprosté minimum. Jen pár z nich, řeší pouze pozorováním, které není dostatečně rychlé, účinné a hlavně spolehlivé.

Výrobci různých obranných systémů je na trhu mnoho, některé vznikají ve startupech a jiné již dlouho zavedené společnosti. Zavedení výrobci upravují a vyvíjí systémy, které byly dříve určeny třeba pro detekci ptactva v okolí letišť a jiných zájmových objektů, či sloužily jako radary na detekci letadel.

Tato práce má poskytnout ucelený přehled nad možnostmi detekčních systémů, jejich legalitu a podmínky jejich pořízení a používání. Zároveň má poskytnout ucelený přehled nad jednotlivými způsoby detekce, jejich výhodami, nevýhodami a ideálními místy pro jejich nasazení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE A SOUČASNOST KOMERČNÍCH DRONŮ

Výzkum a vývoj prvních prototypů bezpilotních letadel, známých jako drony, začal ve skutečnosti před více jak sto lety, tehdy se jednalo o výzkum pro armádní účely. Dokonce již v roce 1918 měla americká armáda k dispozici první dron, který měl rozpětí křídel 12 metrů a byl nadstavbou nad bombu.

Díky armádnímu výzkumu se technologie pro komerční sektor postupně zlevňovala, až se kolem 60. až 70. let s rozmachem bezdrátové komunikace dostala do modelářství, které ji aplikovalo na modely letadel, následně s rozvojem mikropočítačů docházelo k postupnému amatérskému vývoji dronů. V posledních 5 letech vlivem extrémně nízkých cen motorů, akumulátorů a mikročipů s dostatečným výkonem došlo k opravdovému boomu. Nejlépe je rozmach vidět na údajích americké FAA (Federal Aviation Administration)¹, která za rok 2014 evidovala 2 žádosti o povolení k provozu dronů pro komerční účely, v roce 2015 žádostí bylo již 1000 a v posledním zatím zveřejněném roce 2016 bylo těchto žádostí 3100. Dalším ukazatelem je počet mezinárodních patentů týkajících se dronů. V roce 2000 bylo podáno 54 patentů, v roce 2014 více než 1600 patentů.

1.1 Současný trh

V současnosti na trhu s komerčními drony silně dominuje Čína, následována Jižní Koreou a až na 3. místě se nacházejí Spojené státy americké.

V roce 2018 je odhadovaná velikost trhu s drony pro komerční sektor na 50 miliard Kč. Při průměrné ceně dronu i s vybavením pohybujícím se na úrovni 25 000 Kč (ze statistik se vynechávají RC² modely kvadrokoptér nazvané jako drony), to vychází, že se letos prodá kolem 2 milionů dronů po celém světě. Trh samozřejmě bude růst, plánovaný roční růst trhu je cca 25 %.

Problémem pro bezpečnost, nejsou jen drony provozované lidmi, ale také společnostmi typu Amazon.com, Inc., které plánují zavést dopravu drobného zboží drony. Otázkou však zůstává, jak budou ošetřeny bezletové zóny, pohyb kolem osob a záruka toho, že si nepošlu balíček se zbožím do vězení, nebo třeba do jaderné elektrárny. Jaký toto může být problém

¹ Obdoba Českého úřadu pro civilní letectví

² Radio Controlled – rádiově řízené

si můžeme ukázat na společnosti Amazon.com, Inc., která v tuto chvíli provozuje 262 tisíc kusů dronů. (1)

2 LEGISLATIVA ČESKÉ REPUBLIKY OHLEDNĚ PROVOZU DRONŮ

V České republice má na starosti letecké předpisy Úřad pro civilní letectví. Provoz bezpilotních prostředků určuje letecký předpis L2 – pravidla létání v Doplnku X. Toto nařízení je snadno pochopitelné pro lidi, kteří se letectvím zabývají, ale pro laiky je velice náročné na pochopení.

2.1 Letecké předpisy

Základem vnitrostátní úpravy pohybu ve vzdušném prostoru České republiky je zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví. Letadlo je v něm definováno jako „zařízení schopné vyvolat síly nesoucí jej v atmosféře z reakcí vzduchu, které nejsou reakcemi vůči zemskému povrchu“. Pro účely tohoto zákona se nepovažuje za letadlo model letadla, jehož maximální vzletová hmotnost³ nepřesahuje 20 kg. Pod takovým zařízením je možné si představit jak letadlo s křídly⁴ tak i vrtulník, jehož rotory slouží zároveň jako nosné plochy. Dále se sem samozřejmě řadí vzducholodě i horkovzdušné balóny.

Modelem letadla je možno označit létající zařízení jedině za splnění všech následujících podmínek:

- a) jsou určena pro nekomerční a neprofesionální charakter provozu (jen účely soutěžní, sportovní nebo rekreační),
- b) nepřerušovaný přímý vizuální kontakt s pilotem během letu,
- c) nenesou vlastní řídicí a navigační prvky – nejsou schopny autonomního letu,
- d) nejsou schopna nést člověka na palubě.

Bezpilotním letadlem obecně je letadlo určené k provozu bez pilota na palubě. Bez ohledu na svou hmotnost podléhá provoznímu povolení ze strany úřadu pro civilní letectví, jedinou výjimkou jsou výše zmíněné modely do 20 kg vzletové hmotnosti.

Provoz bezpilotního letadla a provoz modelu podléhají jednak českým zákonům (popř. předpisům EU) a jednak mezinárodním leteckým předpisům, které jsou založeny na Chicagské

³ hmotnost letadla včetně všech provozních kapalin a nákladu, při které je letadlo schopno uskutečnit let

⁴ poháněné nějakým druhem motoru i bezmotorové

úmluvě. Jde o letecké předpisy vydávané Mezinárodní organizací pro civilní letectví dále ICAO⁵, Sdružením leteckých úřadů podle předpisů Evropské unie a také Evropskou organizací pro bezpečnost leteckého provozu EUROCONTROL. Zákon o civilním letectví těmto zvláštním normám dává normativní sílu. Letecké předpisy ICAO jsou českém prostředí vedeny jako letecké předpisy řady "L". Letecké předpisy ICAO mají základ v článku 37 Chicagské úmluvy. Jde o normativní standardy týkající se leteckého provozu vydávané za účelem potřebného sjednocení úpravy civilního létání v jednotlivých státech. Vztahují se zejména k pravidlům létání, letové způsobilosti letadel, označení letadel, způsobilosti pozemního personálu a leteckých služeb.

Provozu bezpilotních letadel a modelů se věnuje zvláštní Doplněk X k obecným pravidlům létání L 2. Je to vlastně ryze český doplněk jinak mezinárodního leteckého předpisu L 2 (ukotveného v našem právním řádu na základě § 102 odstavec 2 zákona o civilním letectví), což z hlediska normativní síly evokuje otázky v té souvislosti, že povinnosti je možné podle naší ústavy ukládat jen na základě zákona. Ve skutečnosti je Doplněk X vydaný Ministerstvem dopravy bez zřetelného normativního zmocnění, funguje vlastně jako provizorní povolení provozu dronů v části zákona, která zakazuje jejich použití. Podstatná změna zákona o civilním letectví nebo zvláštní zákon, jež by daly provozovatelům dronů zákonný základ, nejsou prozatím na dohled. Celková úprava zákonů ohledně dronů v oblasti letectví chybí a vymezená pravidla nemají prozatím oporu v předpisu adekvátní zákonné síly. Let dronu je principiálně vázán na zvláštní povolení, dron se považuje za cizí, nežádoucí věc, pro kterou musí být povolena výjimka na každý individuální případ, avšak dodržování Doplněku X má zaručit jeho beztrestný, vlastně legální provoz. Otázka dodržení požadavků uvedených v Doplněku X při mimořádné události ve vzdušném prostoru bude stěžejní při posouzení možné odpovědnosti za vzniklý incident a obdobným pohledem bude na Doplněk X nahlíženo i při soudním posuzování odpovědnosti za způsobenou škodu. Ať už je zákonný význam Doplněku X v prostředí ústavy a právního státu jakkoli sporný, stojí rozhodně za to znát jej a přizpůsobit se mu nejen v zájmu vlastní bezúhonnosti, nýbrž také v zájmu bezpečnosti ostatních pilotů, posádek a cestujících, ale též ostatních jednotlivců a kdekoli, kam dron může proniknout.

⁵ International Civil Aviation Organization – Mezinárodní organizace pro civilní letectví

Přijetí pozitivních zákonů pro drony by bylo více než žádoucí. Drony samy o sobě zřejmě nepředstavují zásadní etický problém a dílčí etické otázky s nimi spojené bude třeba řešit relativně vždy ve vztahu ke konkrétním způsobům jejich využití. Uzákonění dronů je ovšem v plenkách i u našich západních sousedů. Tak např. v Německu teprve letos přistoupili k jejich úpravě, a to formou podzákonního předpisu. Pravidla v něm obsažená jsou dosti přísná.

Na předním místě Doplnku X stojí zásada, že let bezpilotního letadla smí být prováděn pouze takovým způsobem, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti létání ve vzdušném prostoru, osob a majetku na zemi a životního prostředí. Tento předpis je právně závazným předpisem pro bezpilotní letadla. Pro modely do maximální vzletové hmotnosti 20 kg má pouze doporučující povahu, a to s výjimkou článku 7, v němž jsou vymezeny prostorové podmínky létání. Ovšem v zásadě doporučující povaha pro modely se může stát, byť jen přeneseně, závaznou, přijde-li v možném soudním sporu (zejména o náhradu škody) na otázku, zda let modelu vyhovoval zásadě prevence.

Za hlavní pravidla společná pro modely do maximální vzletové hmotnosti 20 kg i ostatní bezpilotní letadla do 20 kg je nutno považovat hlavně:

- v zásadě je možno létat jen ve vzdušném prostoru třídy G, což znamená výšku do 300 m n. m. a vně oblaků. Přísnější pravidla platí hlavně pro lety v blízkosti letišť (5,5 km od středu letiště), resp. v jejich provozních zónách, popř. řízených okrscích a v jejich ochranných pásmech a v jiných ochranných pásmech či zakázaných zónách,
- výjimku mají modely s maximální vzletovou hmotností do 0,91 kg. Ty smějí v zónách letišť létat do výšky maximálně 100 m,
- bezpilotní letadla dále nesmějí převážet nebezpečné náklady a v zásadě ani shazovat žádné předměty,
- pilot se při řízení letu nesmí sám pohybovat pomocí jiného zařízení,
- bezpilotní letadla nesmějí být poháněna raketovým či pulzačním motorem,
- autonomní letadla (tedy předem naprogramovaná nebo prostě samostatně letící a neřiditelná) jsou ve společném vzdušném prostoru zcela zakázána.

Z některých pravidel může učinit povolením výjimku Úřad pro civilní letectví.

Další provozní omezení pro bezpilotní letadla (modely nad 20 kg) představují minimální vzdálenosti od osob odlišných od pilota a hustě osídleného prostoru (při vzletu a přistání

horizontální vzdálenost nejméně 50 m od jiné osoby, jinak horizontální vzdálenost 100 m od jiných osob, prostředků a staveb a 150 m od hustě osídleného prostoru). Provoz bezpilotního letadla podléhá povolení dle § 52 zákona o civilním letectví. Bepilotní letadlo a stejně tak jeho pilot jsou evidováni u Úřadu pro civilní letectví. Pilot může získat oprávnění pilotovat tato zařízení jedině na základě prokázání základní schopnosti bezpečně řídit bezpilotní letadlo a mít požadované teoretické znalosti.

Je třeba si uvědomit, že tato omezení platí nejen pro provozování letadla o max. vzletové hmotnosti vyšší než 20 kg, ale také pro modely, které jsou určeny pro komerční užití. Právě využívání třeba i jen malého bezpilotního prostředku, řízeného na krátkou vzdálenost a na dohled ze země, podléhá na rozdíl od létání jen pro vlastní potěchu mnohem přísnější regulaci, jejímž patrně nejzávažnějším prvkem je nutnost získat příslušné povolení od Úřadu pro civilní letectví jak pro letadlo, tak i pro pilota. Za leteckou činnost přitom musíme považovat i takové činnosti, jakými jsou např. fotografování svatebčanů profesionálním fotografem z výšky pomocí dronu, nebo třeba také průzkum konstrukčních prvků výškové stavby kamerou ovládanou stejným způsobem, jakým třeba instalatér prozkoumává útroby kanalizace obytného domu. V takových případech vyvstává otázka, zda současné provizorní povolení dronů není bezúčelně přísné. (2)

2.2 Rozdělení vzdušného prostoru v České republice

Prostor třídy C v řízených prostorech a v České republice od FL95⁶ a výše. Pro vlet sem potřebujete povolení Řízení letového provozu, dále jen ŘLP, letový plán a oboustranné rádiové spojení v leteckém pásmu. Od FL100 (3050 m) je navíc povinný buď kyslík, nebo přetlaková kabina. Lety IFR⁷ i VFR⁸.

Prostor třídy D lety IFR i VFR. ŘLP zajišťuje rozestupy letům IFR navzájem a informace o letech VFR. Letům VFR jsou podávány informace o provozu. Všechny lety jsou předmětem letového povolení. Je požadováno oboustranné spojení mezi letadlem a ŘLP a podání letového plánu. Prostor třídy D CTR⁹ a TMA¹⁰ řízených letišť.

⁶ Flight Level – letová výška, číslo za FL určuje výšku v tisícínásobcích stop

⁷ instrument flight rules – let podle přístrojů

⁸ Visual flight rules – pravidla letu za viditelnosti

⁹ Control Zone – řízený okrsek

¹⁰ Terminal Control Area – Koncová řízená oblast

Prostor třídy E je v České republice od 300 m AGL¹¹ (above ground level) do FL95 (2900 m) mimo TMA a CTR řízených letišť. V této oblasti mohou létající zařízení létat rychlostí až 460 km/h a mohou zde být i letadla letící IFR¹². SLZ¹³ letící VFR musí tedy létat dále než 1,5 km horizontálně a 300 m vertikálně od mraků, aby letadlo po vylétnutí z mraku mělo čas se vyhnout. Letíme-li VFR musíme létat pouze za dobré viditelnosti, což znamená, že je přímá viditelnost země a pokrytí oblačností pod SLZ menší než 4/8.

Prostor třídy G je v České republice 300 m AGL mimo CTR a TMA, v této oblasti se smí létat pouze VFR, a tedy odpadá pravidlo 1,5 km horizontálně a 300 m vertikálně od mraků. Maximální rychlost zde je stále 460 km/h a lety zde musí být realizované za dobré viditelnosti (přímá viditelnost země a pokrytí oblačností pod SLZ menší než 4/8). (3)

Dělení na jednotlivé třídy a jejich pohyb je graficky znázorněno v příloze. (Příloha 1)

2.3 Odpovědnost za škodu

Odpovědnost za škodu způsobenou provozem letadla je určena ustanovením § 2927 občanského zákoníku. Je postavena na principu odpovědnosti objektivní, tj. není podmíněna zaviněním ve formě nedbalosti nebo úmyslu. Provozovatel dopravního prostředku včetně letadla se nemůže zprostit odpovědnosti za škodu způsobenou okolnostmi, jež mají původ v provozu, ale mimo tyto okolnosti se zprostit, jestliže prokáže, že škodě nemohl zabránit ani při vynaložení veškerého úsilí, které lze požadovat.

Předpokladem vzniku odpovědnosti za škodu je vždy vznik škody, určité jednání a příčinná souvislost mezi nimi. Příčinnou souvislost mezi provozem letadla a škodou musí v případě soudního sporu tvrdit a prokázat žalobce, avšak žalovaná strana se může před soudem zprostit odpovědnosti způsobitelným tvrzením a prokázáním vynaložení veškerého úsilí k zabránění škodě. Příčinná souvislost musí být adekvátní, tj. řetězec událostí vedoucích k škodě musí gradovat takovým způsobem, že bez události mající původ v provozu letadla by ke škodě nebylo došlo.

Drony do vzletové hmotnosti nepřesahující 20 kg a nepoužívané pro přímé nebo nepřímé komerční účely (modely letadel) však z definice zákona o civilním letectví nejsou letadly,

¹¹ above ground level – vzdálenost nad zemí

¹² uvnitř mraků

¹³ sportovní létající zařízení, ultralehké letadlo

resp. nepovažují se za ně. Vzhledem k tomu, že model letadla slouží ke sportovně-rekreačním účelům, tedy nikoli k dopravě osob nebo nákladu, je nejspíš namístě přiklánět se k tomu, že provoz dronů – modelů spadá do režimu obecné odpovědnosti za škodu způsobenou zejména porušením zákonné povinnosti počínat si s náležitou opatrností § 2910 občanského zákoníku. V takovém případě platí obdobně totéž co výše o důkazním břemenu, avšak žalovaná strana má relativně snazší postavení, neboť vyvinut se může způsobitelným tvrzením a prokázáním absence nedbalosti ve svém jednání.

Otázku směřující k režimu odpovědnosti však neevokuje model do 20 kg, který, jak bylo řečeno, není letadlem ve smyslu zákona o civilním letectví, ale dron jakýkoli, který sice bude letadlem ve smyslu zákona o civilním letectví, avšak spornou může být jeho dopravní funkce. I kdyby vzdušný prostor mohly legálně brázdit drony přepravující předměty nebo třeba i lidi, jak se bude zákon dívat na dron, který nic nepřeváží a ani k tomu není uzpůsoben, avšak má např. v sobě integrálně zabudovanou kameru? A co když bude sloužit třeba jen k odhánění zvířat? Nebude v takovém případě přenášet žádné instrumenty, pouze sama sebe? Bude v takových případech vůbec možné podřadit provoz takového dronu odpovědnostnímu režimu dopravních prostředků? Nebo se bude jednat o provoz zařízení ve smyslu § 2024 občanského zákoníku, kdy však důvod zproštění se odpovědnosti za škodu způsobenou takovým zařízením vyznívá méně přísně ve vztahu k bezprostředně hrozící kolizi než liberační důvod stanovený zákonodárcem provozovateli dopravního prostředku? Tyto otázky opět zodpoví soudní praxe. Smyslu jednotlivých skutkových podstat deliktů odpovědnosti by patrně odpovídalo více rozšíření civilně-právního pojmu dopravního prostředku (včetně letadla v nejširším smyslu slova) na všechny přístroje s vlastním pohonem, které se pohybují ve veřejném prostoru, bez ohledu na to, zda v nich někdo sedí nebo zda jsou ovládány dálkově a zda jsou schopny transportovat náklad a jsou také k tomu účelu používány. Zdá se být zjevným, že autoři osnovy nového civilního kodexu s provozem dronů nepočítali a nelámali si s ním hlavu, což nepřekvapuje ve světle toho, jak rychle vznikají nové technické vymoženosti a rozšiřuje se pole jejich využití a jak dlouho byla osnova připravována; v důvodové zprávě k novému občanskému zákoníku není o dronech, tedy bezpilotních létajících zařízeních zmínka.

Nějakým způsobem budou muset odpovědnost za škodu z provozu dronů řešit i pojišťovny.

2.4 Místa provozu dronu

V průběhu vzletu a přistání se nesmíte přiblížit k osobě na méně než 50 metrů horizontálně (kromě pilota nebo doprovázejících osob). Pro drony do 7 kg platí, že minimální vzdálenost od osob a staveb musí být bezpečná. Pro ty s větší hmotností už je to omezeno na 100 m horizontálně k osobě a 150 m k husté zástavbě. Dále se dron nesmí pohybovat blíže oblačnosti než 1500 m horizontálně a 300 m vertikálně bez ohledu na jeho hmotnost.

Je velmi důležité vědět v jaké oblasti chceme dron provozovat. K tomuto účelu vám nejlépe poslouží platná letecká mapa ICAO nebo webový portál AisView. Mimo letiště, o kterých si povíme dále, mohou drony létat jen v nejnižším vzdušném prostoru třídy G, a to do výšky 300 metrů nad zemí. Vyhnout se musíme zakázaným prostorům LKP a omezeným prostorům LKR. Ty jsou aktivovány stále a najít je můžete například kolem jaderných elektráren nebo muničních skladů.

Dále je nutné věnovat pozornost prostorům TSA¹⁴ (Temporary Secured Area) a TRA¹⁵ (Temporary Restricted Area). Tyto prostory nejčastěji slouží vojenským letcům ke cvičení a jako koridory do cvičných oblastí (Boletice, Libavá atd.). Aktivovány jsou jen občas, pokud se létá. O víkendech většinou ne. Aktuální stav je k nahlédnutí na portálu AisView po nastavení správného datumu v levém horním rohu mapy. Pokud aktivovány nejsou, mění se do výšky 300 m nad zemí na prostor třídy G a létat se v něm tedy může.

2.5 Legislativa ochrany osobních údajů

Prostřednictvím kamer umístěných na bezpilotních letadlech je možné systematicky zachycovat a zpracovávat záběry identifikovatelných fyzických osob, a to včetně ryze soukromého prostředí, ve kterém se tyto osoby pohybují nebo které obývají (zahrady, byty, domy apod.). Lze tak poměrně jednoduchou cestou získat osobní údaje i z prostředí, které by jinak bylo velmi obtížně dostupné. Jelikož použití dronu v žádném případě neposkytuje důvod k vyloučení aplikace zákona č. 101/2000 Sbírky, o ochraně osobních údajů a o změně některých

¹⁴ Dočasně vyhrazený prostor – využíván armádou při cvičení v nízkých výškách

¹⁵ Dočasně rezervovaný prostor – na rozdíl od vyhrazeného prostoru je po spojení s ŘLP možné povolit vlet

zákonů (dále jen „zákon o ochraně osobních údajů“), bude nutné při shromažďování a zpracování osobních údajů prostřednictvím bezpilotních letadel vybavených kamerovým zařízením plnit i povinnosti tímto zákonem uložené.

Zároveň však bude nutné respektovat i rámec aplikovatelnosti zákona o ochraně osobních údajů. Je evidentní, že zákon o ochraně osobních údajů nebude aplikovatelný, pokud nedojde k cílenému pořizování záběrů identifikovaných nebo identifikovatelných fyzických osob a bude se jednat například o sledování krajiny, zemědělských nebo průmyslových prostor nebo pohybu zvěře. Zákon o ochraně osobních údajů se nepoužije také v případě, že kamery budou pouze přenášet záběry identifikovaných nebo identifikovatelných fyzických osob, aniž by došlo k pořízení záznamu. Stejně tak bude třeba respektovat výjimky, vymezené v ustanovení § 3 odst. 3 zákona o ochraně osobních údajů, týkající se zpracování osobních údajů výlučně pro osobní potřebu fyzické osoby. V případě neaplikovatelnosti zákona o ochraně osobních údajů se poté primárně uplatní jiná právní regulace, která však není předmětem tohoto stanoviska. Jedná se především o § 81 a následující zákona č. 89/2012 Sbírky, občanský zákoník upravující ochranu osobnosti. (4)

3 LEGISLATIVA ČESKÉ REPUBLIKY OHLEDNĚ ELIMINACE DRONŮ

Kdy je a kdy není obrana proti dronu, který nás obtěžuje nebo ohrožuje, adekvátní? Realita masového provozu dronů dá podnět k dodatečnému výkladu tradičních pojmů jako zejména ochrany soukromí, nutné obrany a krajní nouze. Je jasné, že drony kupříkladu mohou být zneužity jako paparazzi. Pokud dron s kamerou navedený živým paparazzim (tomu se říká dronerazzi) překoná hranice soukromého prostoru, vletí na oplocený pozemek nebo se "nalepí" k oknu, má postižený právo dron srazit, aniž by odpovídal za škodu způsobenou majiteli jeho zničením? Zatímco samotného živého paparazziho by postižený ještě nechal být a zdržel se aktu zbití, jak bude posuzováno násilí na věcech pohybujících se a ovládaných dálkově? V případě incidentu nemusí být v právní rovině vždy jasné, zda navedený dron představoval bezprostřední riziko újmy na právech člověka, který následně jednal v krajní nouzi, nebo zda pilot byl původcem útoku (nikoli jen na zdraví či život člověka, ale i na další jeho základní práva a svobody). Meze krajní nouze a nutné obrany proti útoku jsou definovány různě. V určitých případech může jít podle povahy již o útok s mezemi obrany pojatými civilním i trestním právem velmi velkoryse. Patrně ustojí meze nutné obrany, ale i krajní nouze člověk, který zničil dron pozorující přes okno jeho ložnici. Ať už to bude celebrita nebo neznámý smrtelník pronásledovaný soukromým detektivem, ovšem masové rozšíření dronů posune meze krajní nouze do jiné roviny interpretace. Bude možné očekávat konflikty a incidenty vyplývající např. z opakovaného přelétávání dronu nebo dronů nad domem a zahradou. Dron nejen může zasahovat do soukromí člověka svou kamerou schopnou pořizovat snímky či audiovizuální záznam, nýbrž může produkovat imise zejména hluku. Bude tak muset dojít na vyvažování zejména práva na soukromí a práva na nerušený výkon vlastnictví s právy a svobodami provozovatelů dronů.

Existují technické možnosti paralyzovat dron, aniž by muselo dojít k jeho zničení. Nejde o žádnou vystřelovací síťku, jaká se zapletla do vrtule stíhacího Fokkeru německého soupeře J. P. Belmonda ve filmu *Eso es*, nýbrž o jammer fungující na principu rádiové rušičky, jež přeruší dronu spojení s pilotem a signálem GPS a donutí ho tím přistát. Majitel takové rušičky má větší prostor eliminovat dron legálně, v mezích oprávněné obrany svých práv a svobod. Bezdůvodné rušení legálního provozu dronů naopak jako legální posuzováno určitě nebude. Jakmile budou utvořeny legální podmínky k masovému rozšíření dronů, budeme se

muset s nimi o veřejný prostor podělit. V této souvislosti však samozřejmě vyvstane naléhavější otázka, kde také přímo fyzicky veřejný prostor začíná a kde končí. Taková otázka se naskytne v souvislosti s drony zejména ve smyslu vertikální ohraničenosti pozemků. Občanský zákoník říká v § 506 odst. 1, že součástí pozemku je také prostor nad povrchem. Jak vysoký tento nedotknutelný prostor je v konfrontaci m. j. s létajícími aparáty pohybujícími se nad pozemkem, vymezuje obecným způsobem § 1023 odstavce 1 občanského zákoníku. Vlastník pozemku musí strpět užívání prostoru nad pozemkem, je-li pro to důležitý důvod a způsob užívání nezakládá rozumný důvod k obraně, a tehdy se mají právní střety provozovatelů dronů a vlastníků pozemků řešit proporcionálně a jejich práva a oprávněné zájmy se navzájem vyvažují. Rušení dronu náhodně letícího ve velké výšce nad zahradou nebo dokonce ohradou či polem bude představovat neoprávněný zásah do práva provozovatele dronu, naopak dron opakovaně zalétávající do soukromé zahrady nebo dron úmyslně naváděný k neoprávněnému narušení soukromí člověka bude možno legálně eliminovat.

4 DĚLENÍ DRONŮ

Drony můžeme dělit dle klasifikace úřadu pro civilní letectví, což je důležité z hlediska legislativy, povolení pro let a informací, kde se můžeme s dronem legálně pohybovat.

4.1 Dle úřadu pro civilní letectví

Bezpilotní letadlo (UA – Unmanned aircraft)

Letadlo určené k provozu bez pilota na palubě (může se jednat a většinou se jedná o součást bezpilotního systému). V kontextu legislativního rámce České republiky se za bezpilotní letadla považují všechna bezpilotní letadla s výjimkou modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 20 kg.

Autonomní letadlo (AA – Autonomous aircraft)

System skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bezpilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému více.

Dálkově řízené letadlo (RPA – Remotely piloted aircraft)

Bezpilotní letadlo, které pilot může řídit dálkově.¹⁶

Model letadla (MA – Model aircraft)

Letadlo, které není schopné nést člověka na palubě, je používané pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely, není vybaveno žádným zařízením umožňujícím automatický let na zvolené místo, a které v případě volného modelu není dálkově řízeno jinak než za účelem ukončení letu. V případě dálkově řízeného modelu, které je po celou dobu letu pomocí vysílače přímo řízené pilotem v jeho vizuálním dohledu.

¹⁶ Může obsahovat automatické systémy řízení letu.

Bezpilotní systém (UAS – Unmanned aircraft system)

Systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako například datového spoje pro řízení a kontrolu a prvku pro vypuštění a návrat.

Systém dálkově řízeného letadla (RPAS – Remotely piloted aircraft system)

Viz definice UAS, pokud letadlem je RPA.

Stanice dálkově řídicího pilota (RPS – Remote pilot station)

Zařízení umožňující pilotovi řídit RPA. (5)

4.2 Podle typu letu, koncepce

Základním parametrem pro rozlišení dronu je jeho koncepce. Standardně se drony dělí podle konstrukce draku modelu a z toho vycházejícího způsobu letu.

Vícerotorové

Nejoblíbenější koncept na trhu, quadrokoptéry a multikoptéry využívají umístění rotorů do rohů své platformy, standardně se používá koncept se 4 a více rotory. U vícerotorových profesionálních dronů se používá i koncept nezávislých napájecích a řídicích větví to znamená, že liché rotory jsou napájeny a řízeny jednou řídicí elektronikou a sudé jsou řízeny druhou nezávislou elektronikou, tím lze docílit vyšší bezpečnosti, protože v případě závady je dron stále schopný alespoň omezeného řízeného pohybu. Vícerotorová koncepce se používá hlavně z důvodu toho, že dron může viset na jednom místě a díky více rotorům odpadá nutnost řešení gyroskopického efektu. Tím se dosahuje vysoké stability a rychlosti. Tento návrh se používá jak pro hračky, tak i pro pracovní drony.

Pevné křídlo

Jedná se o koncept, který vychází z konstrukce letadel a RC modelů letadel. Dron pro svůj let na rozdíl od vícerotorových dronů používá vzlaku křídla a motor využívá pouze pro dosažení rychlosti – motor funguje v horizontálním směru. Tato koncepce má výhodu ve vyšší rychlosti, nosnosti a delšímu doletu, ale na druhou stranu dron neumí viset na místě a není tak hbitý jako vícerotorové varianty.

Jeden rotor

Tato koncepce vychází z původního konceptu vrtulníku, na rozdíl od vícerotorové varianty stačí k provozu tohoto dronu pouze 2 rotory, kde jeden se stará o pohon a druhý o stabilizaci kvůli gyroskopickému efektu. Tato varianta se dříve používala kvůli jednodušší regulaci a stabilizaci než u vícerotorových dronů, ale s rozvojem elektroniky se od ní už pomalu upouští, zároveň v případě výpadku pohonu je tento dron neřiditelný.

4.3 Podle velikosti

Velmi malé drony

Ty mohou být stejně malé jako velikost hmyzu, až do délky 5 cm. Tato varianta se v soukromém sektoru využívá pro interiérové létání a pro výzkum kooperace na úrovni umělé inteligence – drony si navzájem vyměňují informace o své poloze, rychlosti a plánovaném pohybu. Kvůli pohybu uvnitř budovy bývají vybaveni ochranou rotorů proti poškození okolí i svého vlastního zařízení.

Malé drony

Tato kategorie je asi nejobsáhlejší, patří do ní veškeré drony větší než velmi malé a horní hranice je cca 50 kg a rozpětí 1,5 m. Do této kategorie patří naprostá většina komerčních dronů, které se využívají pro natáčení a přesun materiálu. Koncepčně se používají všechny typy konstrukce uvedené v kapitole výše.

Tato kategorie vlivem klesajících cen elektroniky, a hlavně baterií, zažívá obrovský rozkvět. Náklady pro jejich pořízení jsou od pár tisíc korun. Lidé je používají pro zachycování svých zážitků místo klasických kamer.

Jejich nosnost může být v závislosti na konfiguraci v řádech kilogramů, a proto představují poměrně velké riziko. Jak v případě pádů, tak i v případě plánovaného útoku.

Výhodou pro detekci a eliminaci malých dronů je to, že obecně používají pro komunikaci frekvence 2,4GHz a 5,8GHz, které se velice snadno detekují a následně i ruší. Většinou pro jejich provoz není nutná registrace, pokud se používají pro soukromé účely.

Střední drony

Parametry jsou větší než v předchozích kategoriích, ale musí splňovat váhu do 200 kg. Jejich koncept už je většinou s pevným křídlem, protože vícerotorová varianta by byla již velice

energeticky náročná a dron by nevydržel ve vzduchu příliš dlouho. Používají se hlavně u bezpečnostních složek jako průzkumné pro pátrání po osobách, popřípadě jako zásobovací pro nouzové účely. Jejich nosnost je v řádech desítek kilogramů.

Velké drony

Do této kategorie spadají všechny drony větší, než je určeno v předchozí kategorii, vzhledem k jejich velikosti jsou již náklady na provoz a údržbu velice velké, a proto jsou většinou provozovány armádou, bezpečnostními složkami, popřípadě vědeckými institucemi. Jejich nosnost je ve stovkách kilogramů a dolet v tisících kilometrech. Pro jejich provoz je samozřejmě nutná registrace a respektování zákonů o provozu letadel. Komunikace vzhledem k dosahu a určení neprobíhá na standardních frekvencích, ale využívají se satelity. (6)

4.4 Podle dosahu

Dalším typem členění je dle dosahu dronu, ten je určen samozřejmě rychlostí, dobou letu a dosahem komunikačních prostředků.

Velmi blízký dosah

Do této kategorie spadají obvykle drony určené na hraní. Drony mají dosah cca 5 km. Mohou zůstat ve vzduchu kolem 1 hodiny. Tato kategorie je v současné době nejrozšířenější.

Blízký rozsah

Drony mohou být ovládány až od 50 km od uživatele. Výkonná baterie jim umožňuje zůstat ve vzduchu po dobu až 6 hodin. Primární uživatelé jsou ozbrojené složky a složky záchranného systému.

Krátký dosah

Drony, které lze ovládat ze vzdálenosti 150 km, jsou známé jako drony krátkého dosahu. Mohou zůstat ve vzduchu po dobu až 12 hodin a jsou dalším druhem dronů, které jsou oblíbené pro účely šmírování a dozoru.

Střední dosah

Jedná se o drony s doletem do 650 km, jejich použití je primárně armádní a výzkumné. Výzkumníci na ně mohou vzhledem k jejich nosnosti umístit měřicí přístroje a zkoumat tak široké okolí z důvodů geografie, vývoje počasí, eroze půdy anebo vlivu větrů. Tato kategorie

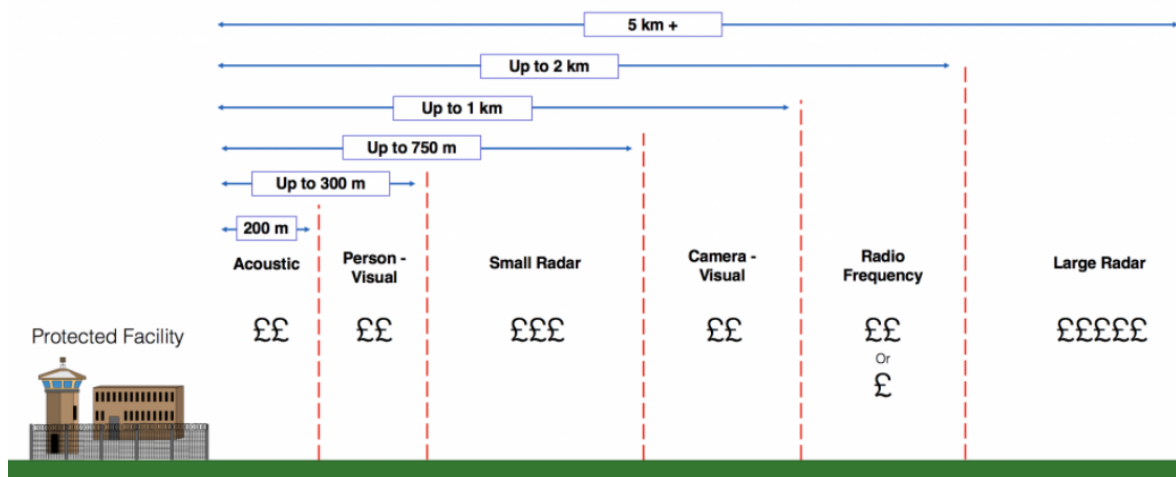
již není určena pro soukromé subjekty, její provoz je velmi nákladný a je svázán s velice přísnými předpisy pro provoz.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 DETEKČNÍ SYSTÉMY

Detekce obecně je získávání konkrétních informací z většího množství informací bez spolupráce s odesílatelem. V případě detekce dronů, se jedná o systém získání informací o směru, rychlosti a výšce pohybu. Tyto informace jsou, v případě potřeby mít prostor pod naprostou kontrolou, nesmírně důležité. Čím dříve získáme informace o blížící se hrozbě, tím dříve můžeme zareagovat a minimalizovat případné následky.

Obranu proti dronům můžeme rozdělit dle použité technologie, ale také dle nákladů, které detekce na určitou vzdálenost nese. Obecně lze říct, že čím větší vzdálenost detekce, tím větší náklady, jak je zobrazeno na obrázku níže (Obr. 1).



Obr. 1 - zobrazení nákladů a technologií pro různé vzdálenosti detekce (7)

Níže jsou vypsány nejčastější možnosti detekčních systémů, které se ve většině případů využívají v kombinaci 2-3 technologií.

5.1 Radarové detekční systémy

Mikrovlnná energie je vysílána v impulzech o určitém výkonu na určité frekvenci (typicky jednotky MHz pro dlouhé dosahy, až po desítky GHz pro krátký dosah). Vyslané vlny se při šíření prostorem odrazí od objektů, které jsou charakteristické tzv. RCS, neboli efektivní odraznou plochou. Takovým objektem může být letadlo, člověk, strom a klidně i mrak. Vzdálenost (u letounů tzv. šikmá dálka) detekovaných objektů je určována pomocí časové korelace vyslaného a přijímaného signálu. U jednoduchých přístrojů se zobrazuje tato vzdálenost v měřítku přístroje jako horizontální délka diagramu, příjem odraženého signálu jako

vertikální úsečka. Prostorovou 3-D souřadnici cíle poskytují modernější radary s aktivními fázovanými řadami, nebo radiolokátory s různými kombinacemi dvou svazku ve tvaru V anebo 3-D souřadnici lze získat fúzí dat radiolokačního výškoměru a dálkoměru. U dnes obvyklých panoramatických přístrojů horizontální anténa rotuje. Není to však podmínkou. Fázované antény umožňují měnit směr vysílání a příjmu i bez pohybu. Moderní 3D přehledový radiolokátor využívá rotaci antény a zároveň manipuluje s hlavním svazkem anténní vyzářovací charakteristiky, což mu umožňuje měřit azimut, délku a výšku cíle najednou. (8)



Obr. 2 - ukázka radarového systému (9)

Výhody:

- přesnost,
- jednoduchost instalace a konfigurace,
- detekce i automatický dronů nevysílajících žádný signál.

Nevýhody:

- cena,
- falešné alarmy,
- obtížná detekce objektu,

- nemožná kvalifikace objektu.

5.2 Rádiové snímače – spektrální analyzátoři

Jejich funkcí je skenovat použité frekvence v okolí a na základě porovnání s interní databází vyhodnocovat, zda detekovaný signál nese prvky komunikace dronu. Systém je založen buď na jednoduchém snímání okolí, kdy nezáleží na směru, výšce a rychlosti pohybu dronu, nebo pouze na informaci o jeho výskytu, anebo je složen z více antén, kdy poskytuje alespoň základní údaje, ze kterých signál přichází – standardně se používá rozložení identifikace na světové strany. Rádiové snímače fungují na pasivním principu příjmu signálu, není proto možné zjistit, že jsou v okolí aktivní.

Výhody:

- cena,
- rychlé na nasazení,
- velký dosah.

Nevýhody:

- nízká přesnost,
- obtížná identifikace přesného pohybu objektu,
- informace pouze o výskytu.



Obr. 3 - 4 směrový spektrální analyzátoř (10)

5.3 Rádiové radarové snímače

Jejich funkcí je pasivně přijímat signály z okolí svých antén a porovnávat je s aktuální databází otisků komunikace ve svém vyhodnocovacím systému. Aktualita databáze je jedna z nutností systému, dosáhneme tím vysoké spolehlivosti a minimalizaci falešných poplachů.

Klíčové parametry RF systému:

- úhel azimutu a vertikálního pokrytí – podobné parametry jako radar,
- funkce RF DF (Direction Finding) – „radiofrekvenční vyhledávání směru“,

- systém na rozdíl od rádiového snímače snímá malý úhel v jeden čas a tím dosahuje vysoké přesnosti a důležitých parametrů pro lokalizaci,
- při použití 2 a více RF radarových snímačů je nejen možné lokalizovat ve 3D narušitele, ale i místo, ze kterého dochází k ovládní dronu,
- systém funguje na principu pasivního skenování, není proto možné detekovat, že je v blízkosti instalován/používán,
- na rozdíl od klasického radaru má systém dosah i 5 km s menší mírou falešných poplachů.

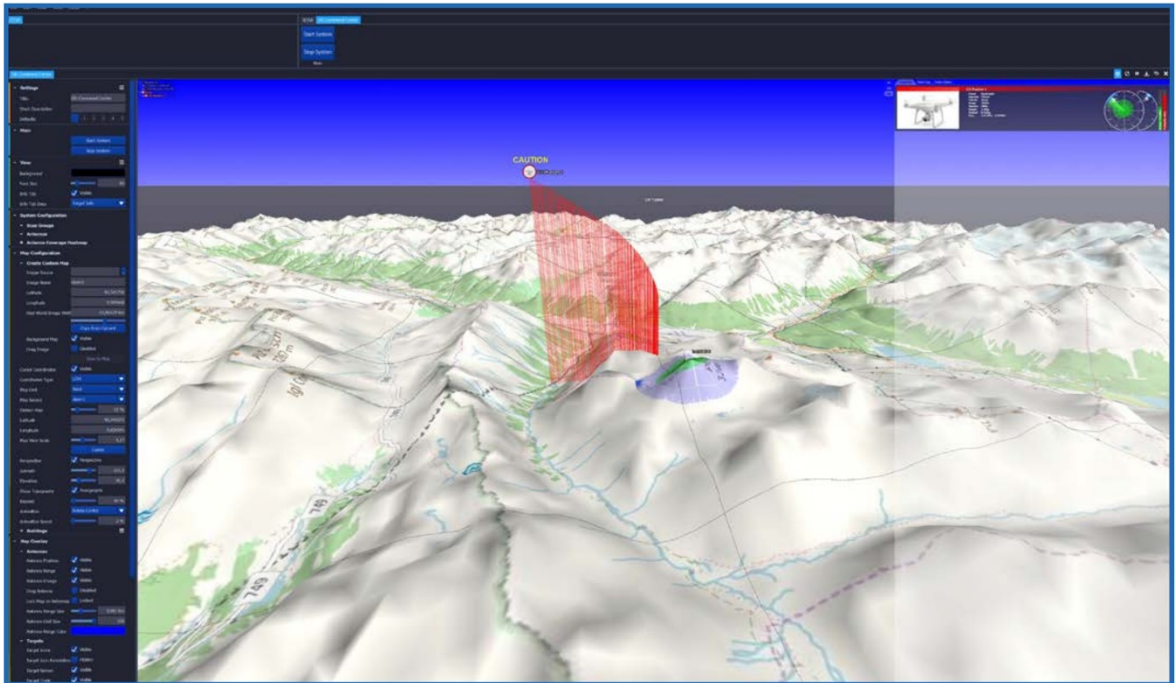
V současné době, kdy cena a datové omezení LTE připojení již nejsou limitem pro použití pro přenos AV signálů i telemetrie (zpoždění v řádu ms nemá na funkci dronu téměř vliv), je nutné přizpůsobovat detekční RF technologie i detekování frekvencí LTE.

Výhody:

- rychlé na nasazení,
- velká plocha dosahu,
- pokud je dron v knihovně, tak identifikace.

Nevýhody:

- nemožnost detekce autonomních systémů spoléhajících na GPS, popřípadě na modelářské frekvence.



Obr. 4 - ukázka 3D vizualizace detekovaného dronu (10)

5.4 Vizuální

Pro potřeby základní detekce je možné použít kamerový systém, který je již instalován. Pro správnou funkci je nutné doplnit systém o kamery s výbornými optickými parametry, kde vše závisí na kvalitě (světlost, šum) obrazu a jeho rozlišení. Na základě snímaného obrazu systém provádí videoanalytické funkce a v obraze vyhledává objekt, anebo jeho pohyb, který splňuje kritéria pro vyhlášení poplachu. Pro detekci je možné použít i kamery, které v infračerveném spektru snímají tepelné záření objektů. Systém pak není tak náchylný na vlivy počasí a na falešné poplachu.



Obr. 5 - PTZ kamera pro detekci dronů (11)

Tento systém je sice levný na nasazení, ale je velice náročné ho nastavit na nízkou chybovost. Obraz ve viditelném spektru totiž není vhodný na detekci rychle se pohybujících malých objektů a zároveň je systém velice náchylný na vlivy počasí.



Obr. 6 - ukázka detekce v obraze viditelné spektrum/termo snímek (11)

Výhody:

- cena,
- rychlé nasazení,
- možnost doplnit současný CCTV systém.

Nevýhody:

- omezeny rozlišením,
- náchylné na počasí,
- falešné alarmy,
- citlivé na videoanalytické funkce.

5.5 Akustické

V současné době jsou k dispozici 2 typy akustických detektorů, a to buď samotné mikrofony, anebo mikrofonové matice. Matice mají výhodu přesnější lokalizace místa pohybu dronu, ale jsou podstatně dražší než samotný mikrofón. Tento systém se používá jako doplněk, jeho cena není zase tak vysoká, ale může poskytnout potřebnou ochranu v případě, kdyby selhal radar nebo snímač rádiových frekvencí

Systém funguje tak, že přes mikrofón anebo mikrofonovou matici snímá zvuk okolí, následně odstraňuje hluk pozadí a výslednou zvukovou stopu porovnává s interní knihovnou, která obsahuje zvukové stopy (akustické podpisy) různých dronů.

Je důležité knihovnu udržovat neustále aktualizovanou, což v případě použití u kritických objektů, kde není standardně možné přistupovat na síť, je dost obtížné.

Dalším důvodem, proč se poslední dobou upouští od samotného používání akustických senzorů je fakt, že největší světoví výrobci se zaměřují na ztišování dronů a tím samozřejmě neúmyslně snižují i dosah akustických detekčních systémů.

Je pravděpodobné, že s nástupem umělé inteligence a strojového učení přesnost těchto systémů vzroste, popřípadě zůstane alespoň na stávající úrovni i pro moderní drony.

Výhody:

- cena,
- rychlost nasazení.

Nevýhody:

- nepřesnost,
- náchylnost na rušení z okolí.

5.6 Kombinované

Pro ideální funkci systému pro detekci dronů se používá kombinace různých detekčních technologií. Ve většině případů se používají tyto kombinace:

- RF detekce + akustická detekce + optická verifikace,
- akustická detekce + optická a termální detekce a verifikace,
- radarová detekce + optická a termální detekce a verifikace.

Kombinací detekčních technologií se dosáhne zvýšení citlivosti systému a zároveň eliminace falešných rizik. Další možností je kombinace tak, aby jeden způsob detekce kompenzoval technologické nevýhody dalších detekčních systémů.

Ideální je kombinace detekčních technologií od jednoho výrobce, dosáhneme tím jednotného prostředí pro dispečery a tím eliminujeme chybovost. Použití různých detekcí od různých výrobců je sice možné, ale integrace do jednotné řídicí nadstavby je velice složité mnohdy až nemožné¹⁷.

¹⁷ Výrobci jejichž technologie vychází z armádních neuvolňují komunikační protokoly a proto je jejich integrace nemožná

6 ELIMINAČNÍ SYSTÉMY

Pro eliminaci hrozby je nutné znát primárně zákony České republiky, které ošetřují, kdy a jak lze zasáhnout, kdy se jedná o nutnou obranu a kdy o krajní nouzi, popřípadě jestli jako příslušník ozbrojené složky státu mám právo zasáhnout. Jinak je samozřejmě možné dron donutit klesnout na zem i bez jeho zničení, k tomu nám slouží rušičky RF a GPS signálu, které mohou být jak automatické s pevnou montáží přímo na detekční technologii, nebo ve formě speciální pušky s úzce směřovou anténou, která je určena pro lidskou obsluhu.

Jako další možnosti eliminace je možné použít palné zbraně, nejefektivnější jsou brokovnice vybavené náboji s gumovými broky (je zde nutné, v případě použití, brát v potaz zákony České republiky), dravé ptáky, kteří jsou vybaveni kryty končetin a drony loví, anebo kanóny na síť, které jsou ale velice omezeny svým účinným dosahem v řádech pár desítek metrů.

Zabývám se pouze elektronickou ochranou, a proto i zde na ni budu navazovat. Jak bylo uvedeno výše, k eliminaci nejčastěji používáme rušičky RF pásem, a to buď pro pevnou instalaci, anebo pro mobilní osobní užití.

6.1 Rušičky RF pásem s pevnou montáží

Využívají se hlavně sektorové antény, které mají vyzařovací úhly stejné jako RF detektory to znamená $45^\circ \times 90^\circ \text{H}$, čímž je dosaženo toho, že tam, kde je možné dron na základě RF scanneru detekovat, tam je možné ho i eliminovat. Rušičky fungují ve spolupráci s RF skenery, jsou tedy zaměřeny na to, že ruší RF pásmo dronu, který létá kde by neměl, ale způsobují rušení i na pásmech blízkých tomuto. Jejich problémem je obrovský vyzařovací výkon, který může způsobit problémy i jiným přijímačům v okolí a také legalita jejich provozu, která závisí na povolení ČTÚ.

Obecně je jejich výkon kolem 300 W na jeden sektor $45^\circ \times 90^\circ \text{H}$ při dosahu až 8 km, proto je možnost jejich použití značně limitována prostředím a hlavně povolením.

I pro pevnou montáž je možné zvolit mobilní provedení, které je znázorněno na obrázku (Obr. 7).



Obr. 7 - RF sektorová rušička (10)

6.2 Mobilní směrové rušičky RF pásem

Mnohdy je plošné rušení nežádoucí, anebo nemožné, proto se používají směrové rušičky RF signálů, které jsou vybaveny úzce směrovou anténou (3° - 5° horizontálně i vertikálně) a ruší nejčastější pásma, která jsou 2,4 Ghz a 5,8 Ghz. V závislosti na typu dronu a jeho výbavě dojde buď k jeho automatickému návratu na místo startu, nebo ke kontrolovanému bezpečnému sestupu, anebo u levných variant k nekontrolovanému chování/pádu.

Tyto scénáře je nutné při rušení brát na zřetel a počítat s tím, že se dron může zřítit k zemi. V oblasti JE Dukovany popřípadě testovací polygon Úhelnice, kterými se zabývám níže, je riziko úrazu, anebo škody způsobené pádem minimální, ale v případě shromáždění Letenské pláni, to je již podstatný problém.

Pro představu ohledně funkčnosti bych uvedl výrobek od společnosti Hikvision, jedná se o rušičku UAV-D04JA, která je vyrobena ve tvaru pušky i s optickým hledím a má dosah 800 m. Napájení je řešeno externí baterií, která je umístěna v batohu na zádech zasahujícího operátora. Vyzařovací úhel jsou 3° horizontálně i vertikálně. Zařízení je primárně určeno pro použití ve vězení, armádě, při policejních akcích a obraně strategických objektů. Jeho design a rozměry jsou zobrazeny na následujícím obrázku (Obr. 8).



Obr. 8 - mobilní směrová rušička RF pásem (12)

6.3 Mobilní plošné rušičky RF pásem

Pro potřeby preventivního, anebo velice rychlého zásahu v oblasti 1km je možné použít všesměrovou mobilní rušičku, která v okruhu 1km ruší vše v pásmech 2,4Ghz a 5,8Ghz, což je vhodné pro velké akce na otevřených prostranstvích, rušička není v chodu trvale, ale pouze při zjištění nežádoucího pohybu dronu v okolí. Její použití se zase řídí platnou legislativou.

Její koncept je takzvané all-in-one řešení, které je znázorněno na obrázku (Obr. 9).



Obr. 9 - mobilní plošná rušička (10)

7 VYBRANÉ TYPY DETEKČNÍCH TECHNOLOGIÍ

7.1 Infračervená detekce SPYNEL

Představení společnosti HGH Systèmes Infrarouges SAS

HGH Systèmes Infrarouges SAS je odborníkem v oblasti infračervené technologie již více než 30 let. Od roku 1982 HGH navrhuje, vyvíjí, sestavuje a prodává elektrooptické systémy pro průmyslové, civilní, obranné a bezpečnostní aplikace. Společnost se stala mezinárodním referentem, pokud jde o inovace v infračervené technologii, a to díky vývoji více pokročilých senzorů. (13)

SPYNEL – CYCLOPE

Jedná se o komplexní detekční systém, který se skládá, jak z detekční jednotky, tak i z vyhodnocovací části, která se stará o video analytické funkce, alarmy a interpretační software pro obsluhu. Systém je možné pořídit pro statickou i mobilní instalaci.

Systém je založen na principu otočné termokamery, která rotuje kolem vertikální osy jako hlava radaru. Jediným rozdílem je princip funkce, kde místo sledování frekvencí, tento systém sleduje neviditelné (infračervené spektrum) záření, které skládá do panoramatického snímku, na základě, kterého probíhá vyhodnocování pohybu bodů s rozdílnou teplotou.

Tento systém umožňuje při správném nastavení monitorovat jak vzdušný prostor, tak i perimetr monitorované oblasti. Jediným omezením je vertikální vyzařovací úhel 20°. V průběhu provozu systému, je možné upravovat parametry objektů, které vyvolávají poplachy a tím dosáhnout ideální funkce systému – minimalizace falešných alarmů.

Parametry pro instalaci

Pro správnou funkci systému je nutné nejdříve uvážit, zda monitorovaný prostor má ideální parametry pro instalaci. To znamená, že monitorovaný prostor je dostatečně široký a také v místě instalace je možné umístit infračervenou hlavici na stabilní podklad (budova/sloup). Zároveň je nutné uvažovat i o okolním terénu, kde je vhodné, aby tento systém, vzhledem k výškovému profilu monitorovaného okolí, byl umístěn v nejnižší oblasti. Ideální je konvexní tvar výškového profilu – nemůže se totiž stát, že by se sledovaný objekt objevil až u hlídaného prostoru, jelikož nedojde k jeho detekci vlivem podletění zorného pole snímací hlavice.

Ze základního principu termografického snímání vychází, že se obraz interpretuje pouze ve stupních šedi, ale videoanalytické funkce jsou v obraze vyznačeny barevně pro jasnou interpretaci operátorům.

Na obrázku (Obr. 10) je zobrazena detekce dronu včetně dráhy jeho letu. V systému operátora je k dispozici i informace ohledně rychlosti, která je však pouze orientační.

Systém sám o sobě neobsahuje systém pro eliminaci dronu, poskytuje pouze varování, že dochází k narušení, anebo k němu brzy dojde. Eliminace musí probíhat jinými prostředky.



Obr. 10 - detekce dronu SPYNEL (14)

Snímací hlavice je možné pořídit s různými parametry, v tomto případě hlavně rozlišení senzoru, které určují detekční vzdálenost a zároveň také cenu řešení. Pro detekci dronů má výrobce v nabídce zařazené tyto modely (Obr. 11):



Obr. 11 - modely detekčních jednotek SPYNEL (14)

Parametry jednotlivých modelů jsou uvedeny níže v tabulce (Tab. 1).

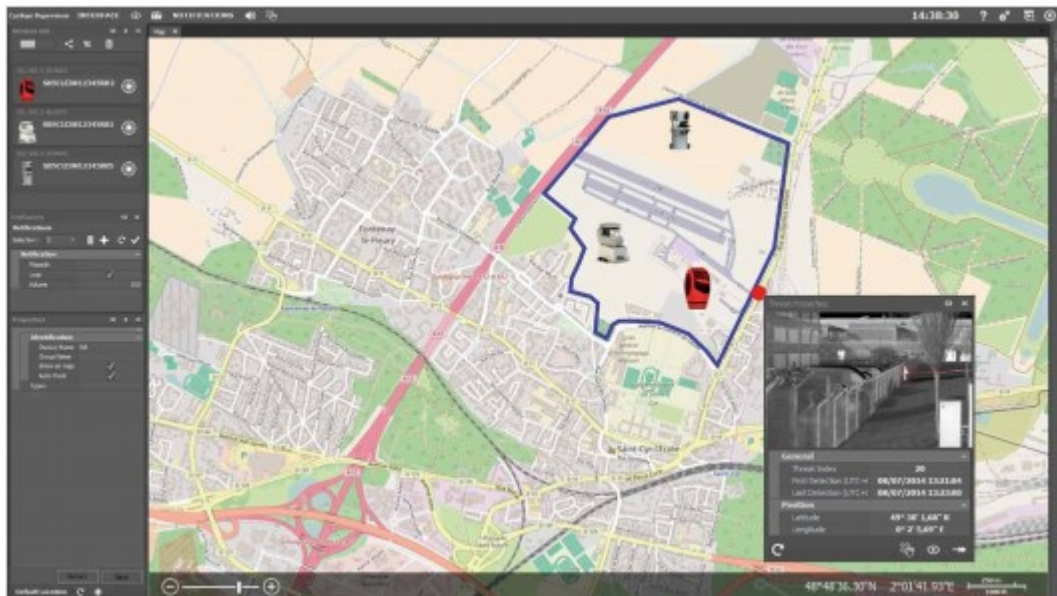
Tab. 1 - přehled vlastností jednotlivých modelů (14)

	SPYNEL-C 1000	SPYNEL-S 2000	SPYNEL-X 3500
Horizontální úhel záběru	360°	360°	360°
Vertikální úhel záběru	20°	20°	20°
Horizontální korekce	-20°/+45°	-45°/+45°	-45°/+45°
Snímkování	2Hz	2Hz	2Hz
Snímané spektrum	LWIR (8-12μm)	MWIR (3-5μm)	MWIR (3-5μm)
Rozlišení obrázku	3 Mpx	7 Mpx	30 Mpx
Detekční vzdálenost dronu	1 km	3 km	4 km

Ovládací aplikace

Celkový systém není omezen na jednu snímací hlavici. Je možné kombinovat více hlavic různých druhů i na více lokalitách. Systém je založen na co nejvyšší možné míře flexibilitě s minimalizací potřeby zásahu operátora. Ve své podstatě operátor má funkci pouze pozorovatele a řeší pouze vzniklé alarmy, proaktivní práce není potřeba. Aplikace je koncipována

jako standalone řešení, kdy se systém připojí do sítě a umožňuje připojení aplikací třetích stran či použití mobilních klientů, pouze v případě požadavku zákazníka.



Obr. 12 - ukázka aplikace CYCLOPE (14)

7.2 Kombinovaná ochrana – DroneSentry

Představení společnosti DroneShield

Založena v Sydney a Virginii. DroneShield je celosvětovým lídrem v technologiích detekce a eliminace dronů. Společnost vyvinula vícevrstvé přední detekční a rušivé řešení, které chrání lidi, organizace a kritickou infrastrukturu před vniknutím z dronů. Její vedoucí pozici přináší odborné znalosti světové úrovně ve strojírenství a fyzice, v kombinaci s hlubokými zkušenostmi v oblasti obrany, inteligence a letectví. DroneShield navrhuje systémy detekce a protiopatření, které používají vysoce specializovanou technologii k dosažení úrovně přesnosti a citlivosti, které nejsou možné s jinými metodami. (15)

Systém DroneSentry

DroneSentry integruje sadu snímačů a protiopatření společnosti DroneShield do jednotné platformy, která slouží jako komplexní systém detekce dronů v dočasných i trvalých instalacích. Systém je možné skládat z radarů, akustických senzorů, RF detektorů, kamer a termokamer tak, aby bylo dosaženo maximální možné míry bezpečnosti s minimální znalostí systému obsluhy. Systém má možnost fungovat zcela samostatně, na rozdíl od výše zmíněného řešení od společnosti HGH Infrared umožňuje systém doplnění i aktivní rušičky signálu, která umožní potenciální hrozbu bezpečně eliminovat tím, že jí vyšle příkazy pro bezpečné usednutí na zem, popřípadě zarušením signálu, kdy většina dronů je naprogramována na vrácení do pozice vzletu.

Díky využití RF scannerů v detekčním systému je možné získat i přibližnou polohu operátora dronu, toto je možné v případě, že byl dron vypuštěn v dosahu systému. Zadržení samotného operátora je mnohdy důležitější než samotná eliminace dronu. Většina kamerového obrazu je totiž přenášena na operátorské pracoviště, kde je i archivována, proto se eliminací dronu problém nevyřeší, pouze se eliminuje okamžité nebezpečí.

Komponenty systému

Radarové snímače – RadarOne

Na základě Dopplerova jevu sleduje 360° prostor kolem své vertikální osy, jeho detekční vzdálenost je závislá na velikosti dronu, ale měla by se pohybovat kolem 1 km i u dronů menších rozměrů. RadarOne je vybaven GPS jednotkou pro určení své pozice a synchronizaci času. Dále je vybaven elektronickým kompasem, který slouží pro přesnou identifikaci pohledu a pohybu radaru. Vertikální zorný úhel má 45° a horizontální 360°. Na obrázku je znázorněno jak RadarOne vypadá (Obr. 1). Jedná se pouze o samotný radar s nohou s motorem určených pro montáž na vrchol sloupu.



Obr. 13 - RadarOne (15)

RF detektor – RfOne

Jedná se o radiofrekvenční detektor, který pracuje na frekvencích 2,4 GHz a 5,8 GHz, které se nejčastěji používají pro komunikaci dronů s operátorem. Informace o zachycených frekvencích předává do řídicí jednotky, která na základě porovnání s databází vyhodnotí druh a model dronu. Jejich detekční úhly jsou $45^\circ \text{V} \times 90^\circ \text{H}$, a proto se pro pokrytí využívají 4 kusy namontované s 90° odchylnou. Tímto způsobem detekce zjistíme hrubý směr, ze kterého k nám dron letí a za pomoci RadarOne zjistíme přesnou polohu. Jejich vzhled a montáž je znázorněna na následujícím obrázku (Obr. 14).



Obr. 14 - ukázka RfOne (15)

Akustické snímače – FarAlert

Akustické snímače s pokročilou detekční technologií dokáží snímat drony, i když jsou neviditelné pro radary nebo postrádají radiofrekvenční spojení. Akustické snímače se používají

k identifikaci neoprávněného proniknutí dronů do chráněných zón. Sensorová síť poskytuje varování v reálném čase, stejně jako sbírku digitálních důkazů.

Detektory rozpoznávají jedinečné zvukové podpisy různých typů dronů. Jinými slovy, akustické snímače naslouchají okolním činnostem v reálném čase a automaticky nasbírají zvukové vzorky v případě, že v okolí detekují činnost dronů. Systém akustické detekce má rozsáhlou databázi akustických podpisů, která umožňuje rozlišit UAV od jiných zdrojů hluku s vysokou přesností a nízkou úrovní falešných poplachů. Vzhled akustického senzoru je znázorněn na obrázku (Obr. 15).



Obr. 15 - akustické snímače FarAlert (15)

Optické snímače DroneOpt a DroneHeat

Jsou založeny na detekci v živém obraze, který poskytuje buď klasická, anebo termální kamera. Dle nastavených parametrů kamer a velikosti dronu může být detekční vzdálenost až 2 km. Kamery jsou umístěny na otočné platformě, která zajišťuje horizontální úhel pohybu 360° a vertikální $\pm 90^\circ$. Snímaný obraz vyhodnocuje server na straně operátora, umožňuje aktivní sledování dronu bez nutnosti zásahu do ovládání (plná automatizace). Vedlejší činností tohoto systému je vizuální ověření alarmu způsobeného jiným detektorem.

Systém je možné dovybavit zdrojem světla, který dělá úzký a výkonný paprsek světla sloužící pro oslepení kamery dronu a také pro upozornění pracovníků, kde se dron vyskytuje. Paprsek DroneBeam je instalován na stejné otočné platformě jako DroneOpt a DroneHeat, tím je zajištěno, že sleduje a oslepuje vždy ten stejný objekt. Způsob montáže je znázorněn na obrázku (Obr. 16).



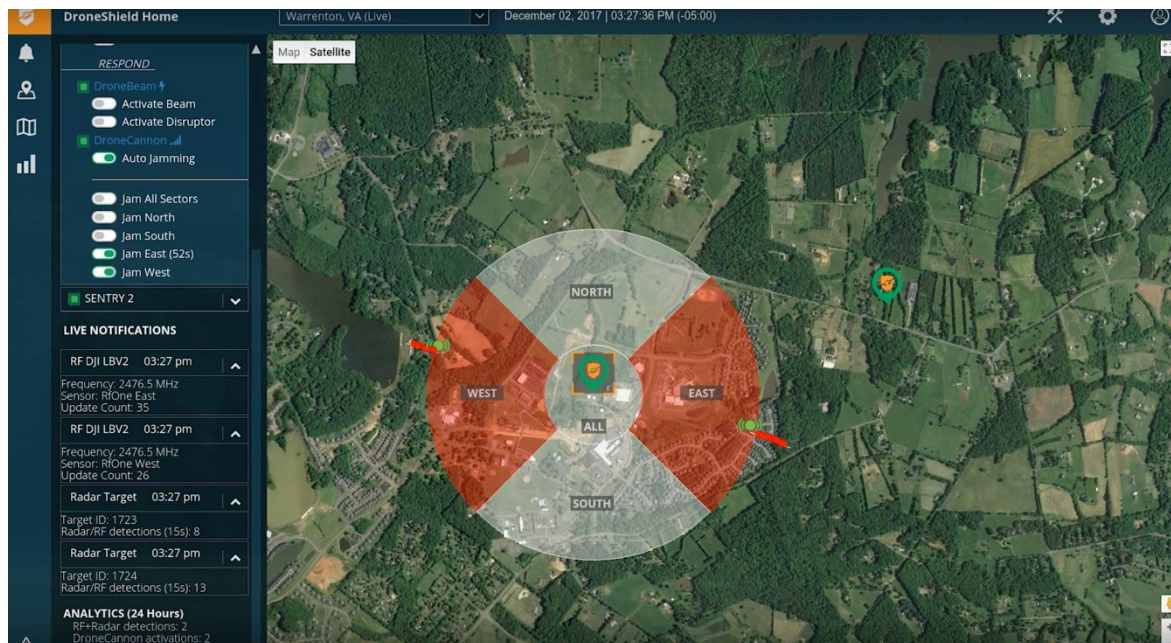
Obr. 16 - umístění DroneHeat, DroneOpt a DroneBeam (15)

Ovládací aplikace

Uživatelské rozhraní DroneShield zajišťuje vysokou přesnost detekce UAV prostřednictvím průběžného sledování nedaleké aktivity dronů. Audiovizuální rozhraní, založené na prohlížeči, pomáhá uživateli nejen prohlížet, ale také kontrolovat činnosti celého systému detekce, protože z přístrojů pro detekci poskytuje informace v reálném čase. Rozhraní poskytuje všechna potřebná systémová data a upozornění, zatímco reakce je koordinována prostřednictvím distribučních seznamů řízených uživatelem.

Na rozhraní lze přistupovat z portálů mobilních zařízení nebo z běžných webových prohlížečů. Systém snímačů detekce dronů je velmi flexibilní a díky vzdálenému přístupu k síti snímačů může uživatel poslouchat zvuk senzoru, zkontrolovat různé stavy, nakonfigurovat provoz systému a reagovat na výstrahy hrozby z jakéhokoliv místa s dostupností datového spojení.

V případě narušení mohou být informace předány prostřednictvím e-mailu, SMS, existujících video systémů nebo systémů řízení incidentů, stejně tak jako vizualizačním rozhraním DroneShield přímo v reálném čase, jak je znázorněno na obrázku (Obr. 17).



Obr. 17 - vizualizační rozhraní DroneShield (15)

7.3 RF ochrana Aaronia AG

Představení společnosti

Společnost Aaronia AG byla založena v roce 2003 a její hlavní cíl podnikání jsou spektrální analyzátoři, frekvenční generátory a antény. Přirozeným vývojem zařadili do svého portfolia i systém na detekci dronů, který je založen na principu jejich původního podnikání. (16)

Systém Aaronia AARTOS DDS

Systém se používá k detekci vniknutí nežádoucích dronů, je založen na směrovém měření elektromagnetických emisí dronu a jeho dálkového ovládání. Automaticky upozorňuje obsluhu na případné narušení chráněné zóny vizuálním a akustickým alarmem. Systém je možné doplnit systémem eliminace dronů popsaným v kapitole Eliminační systémy – rušičky RF pásem. V závislosti na použitém typu skeneru a velikosti dronu je možné dosáhnout detekční vzdálenosti až 15 km. Díky tomuto obrovskému dosahu, systém poskytne dostatečně včas informace o případném narušení prostoru a tím dá obsluze dostatek času tuto situaci řešit.

Komponenty systému

System se skládá z antény složené ze 32 menších antén rozdělených do 16 sektorů, tím je dosaženo dostatečné rozlišení detekovaného dronu, které je v tomto případě 1° - 3° v závislosti na vzdálenosti dronu od antén. System detekuje všechny frekvence v rozpětí 680 MHz až 6 GHz a je tedy možné ho použít i k monitorování dronů komunikujících přes LTE. Anténa je vybavena GPS přijímačem pro časovou synchronizaci a pro určení místa provozu jednotky. Celá anténa je uložena v plastovém odolném krytu viz obrázek (Obr. 18).



Obr. 18 - anténa Aaronia IsoLOG 3D (10)

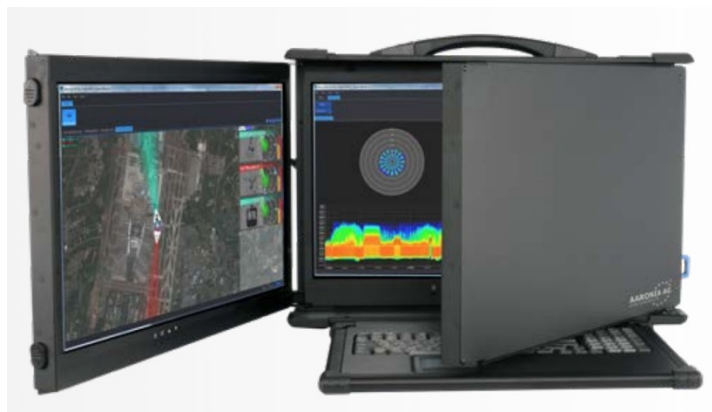
Další nedílnou součástí systému je samotný spektrální analyzátor, který řeší příjem signálů a jejich interpretaci pro řídicí aplikaci. Spektrální analyzátor může být, buď ve formě přenosné jednotky, anebo v provedení pro montáž do RACKu (Obr. 19) pro trvalejší instalace. Spektrální analyzátor je následně připojen k vyhodnocovacímu serveru, který již řeší samotné výpočty nad údaji, které od něj obdržel. Výsledné informace systém interpretuje uživateli ve 3D zobrazení v řídicí aplikaci.



Obr. 19 - Spektrální analyzátor (10)

Ovládací aplikace

Pro vyšší bezpečnost systému je systém koncipován jako klient-server což znamená, že samotné vyhodnocení a případné alarmy řeší serverová část a operátorské pracoviště, to se připojuje pouze jako klient, tím je dosaženo vysoké bezpečnosti a možnosti použití více klientů, jak stacionárních, tak mobilních, jak je znázorněno na obrázku (Obr. 20).



Obr. 20 - Mobilní vyhodnocovací pracoviště (10)

8 PŘÍKLADOVÉ HROZBY A JEJICH ŘEŠENÍ

8.1 Obecné principy pro návrh systému

Při navrhování systému ochrany před drony, je nutné brát v potaz spoustu faktorů. Pro správnou funkci systému je nutné při navrhování vzít v potaz:

- profil terénu,
- plánovaný dosah,
- typ obsluhy¹⁸,
- okolní prostředí,
- specifika a charakteristiky plánovaných technologií.

Všeobecně platí, že nejlepší metodou pro návrh těchto systémů je vytipování 2 - 3 technologií, které by se nám svojí funkcí líbily, domluvit se s výrobcem a navštívit referenční ukázkovou aplikaci, popřípadě udělat ukázkou přímo na místě instalace.

8.2 Únik informací – Testovací polygon ŠKODA AUTO a.s.

Jedná se o testovací polygon ŠKODA AUTO a.s., který slouží pro potřeby testování vozidel při různých podmínkách. Jedná se primárně o testování utajovaných a prototypových vozidel, proto jsou požadavky na bezpečnost na nejvyšší možné úrovni. Hlavní prvky bezpečnosti jsou řešeny směnicemi a vícestupňovou kontrolou lidskými zdroji. Veškerá práce podléhá přísným směnicím, které určují, jak s exempláři nakládat ve standardním procesu i v případě narušení ochranné zóny. Detekce z hlediska narušení člověkem pohybujícím se po zemi (ať už pěšky, na kole, anebo ve vozidle) je vyřešena.

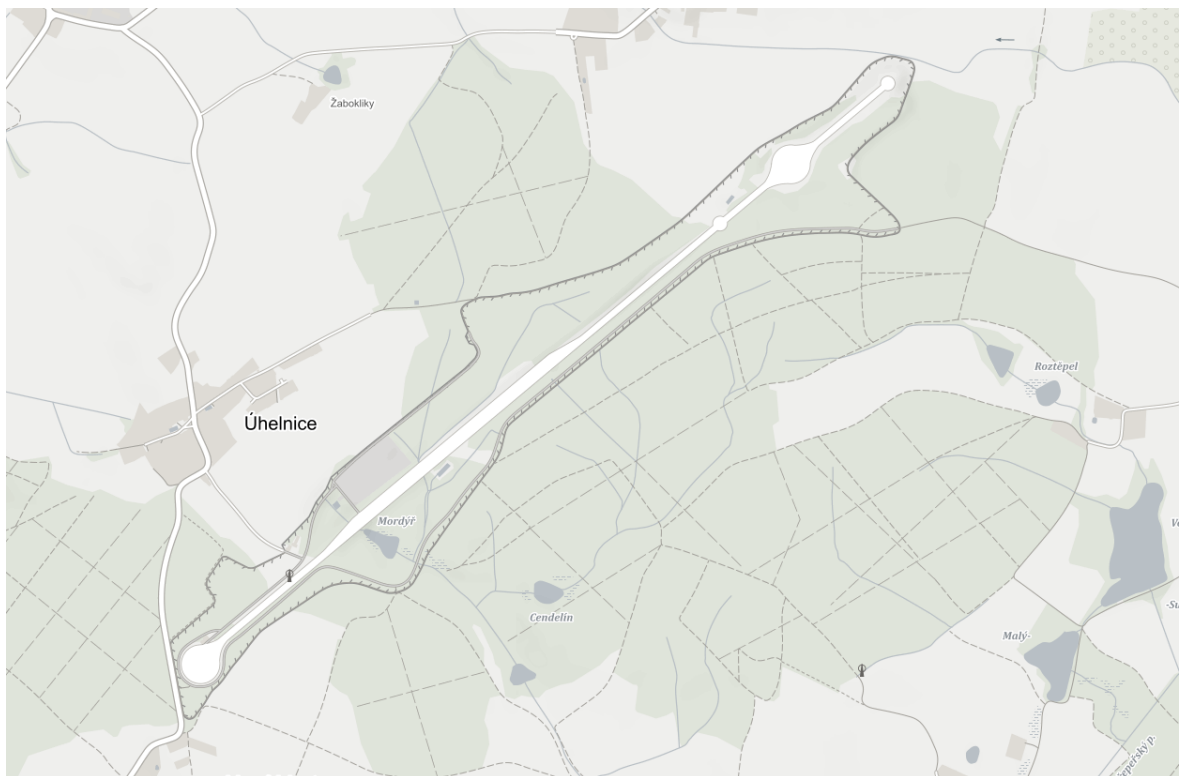
Polygon neslouží pouze pro potřeby ŠKODA AUTO a.s., ale také v rámci celého Volkswagen AG a je také pronajímán externím společností.

8.2.1 Prostředí a situace

Polygon je situován v blízkosti Mladé Boleslavi, jeho okolí je řídko obydlené. Na jihozápadní straně polygonu je za hustým lesním porostem obec Husí Lhota a na severovýchodní straně jsou obce Chlumín a Úhelnice. Všechny obce jsou odděleny přírodní bariérou ve

¹⁸ jestli je obsluha trvalá, popřípadě se může věnovat detekčnímu systému na 100%

formě pole nebo lesa. Samotná dráha je z 80 % skryta v lese, což přináší určitou ochranu před nežádoucím pozorováním, ale také před nežádoucí činností z druhé strany. Lokalita polygonu je znázorněna na obrázku níže (Obr. 21).

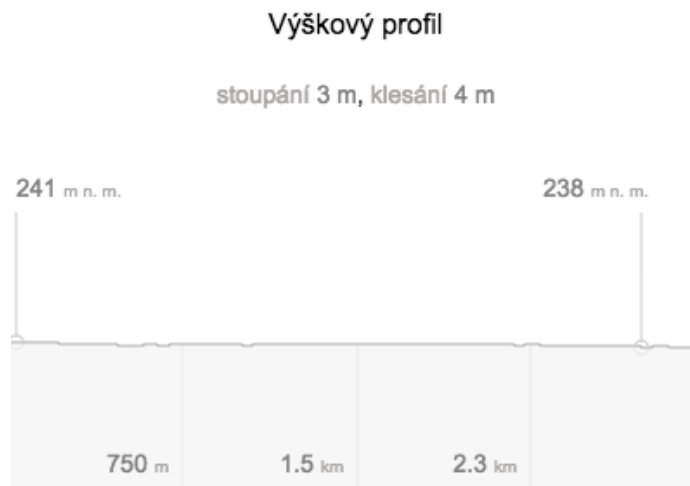


Obr. 21 - Polygon Úhelnice umístění (17)

8.2.2 Možnosti řešení

Vzhledem k soukromému vlastnictví plochy a potřebám ŠKODA AUTO a.s. potřeba systém pouze pro detekci pohybu dronu. V této chvíli se můžeme vydat dvěma směry, buď samotnou detekcí pouze dronu, na což můžeme využít termoradary, anebo kombinovaný systém

s rádiovými a akustickými detektory. Vzhledem k velikosti testovací dráhy, jejímu atypickému tvaru¹⁹ a zároveň vzhledem k výškovému profilu dráhy znázorněné na obrázku (Obr. 22) ji bude nutné hlídat minimálně ze 2 bodů.



Obr. 22 - Výškový profil testovací dráhy (17)

8.2.3 Návrh řešení

S přihlédnutím na profil testovacího polygonu, jeho umístění a trvalý lesní provoz v jeho okolí, navrhujeme řešení postavení na systému SPYNEL – CYCLOPE, který bude vybaven dvěma detekčními jednotkami a jedním vyhodnocovacím pracovištěm. Vyhodnocovací pracoviště bude umístěno na vjezdové bráně areálu, kde je přítomna stálá služba. Systém bude koncipován jako autonomní, při detekci se obsluze zobrazí detekovaný předmět a zároveň bude upozorněna akustickým signálem. Pro varování uživatelů dráhy bude muset být instalován druhý systém, který na základě potvrzení hrozby přeneše informaci pracovníkům pohybujícím se na dráze. Tuto komunikaci lze řešit buď klasickými vysílačkami (Škoda Auto a.s. má vlastní vyhrazenou síť ve zpoplatněném licenčním pásmu), anebo GSM/GPRS jednotkami, které v případě vyhlášení poplachu, spustí vizuální a akustický poplach. Následné řešení situace záleží na nastavení vnitřních směrnic.

Na dráze se většinou pohybují prototypy bez maskování, popřípadě s minimem maskování, proto se jeví jako nejefektivnější:

- Vozidlo odstavit, zakrýt plachtou a vyčkat na odvolání poplachu

¹⁹ Dráha je velice dlouhá, ale úzká

- Vozidlem zajet do nejbližších garáží, které jsou k dispozici

Samotný poplach aktivuje interní pracovníky strážní služby, kteří vyrazí k místu výskytu dronu a pokusí se vypátrat jeho pilota. Tato operace by již měla probíhat ve spolupráci s Policií České Republiky, která má právo k zásahu.

Vzhledem k obrovské ploše, kterou je třeba pokrýt, navrhujeme systém, který bude obsahovat dvě jednotky SPYNEL-S 2000 a k tomu vyhodnocovací pracoviště CYCLOPE.

Jednotky budou umístěny dle obrázku (Obr. 23). Každá zhruba v 1/3 od konce, čím zajistíme překryv detekovaných zón a dostatečné detekční vzdálenosti na všechny strany.



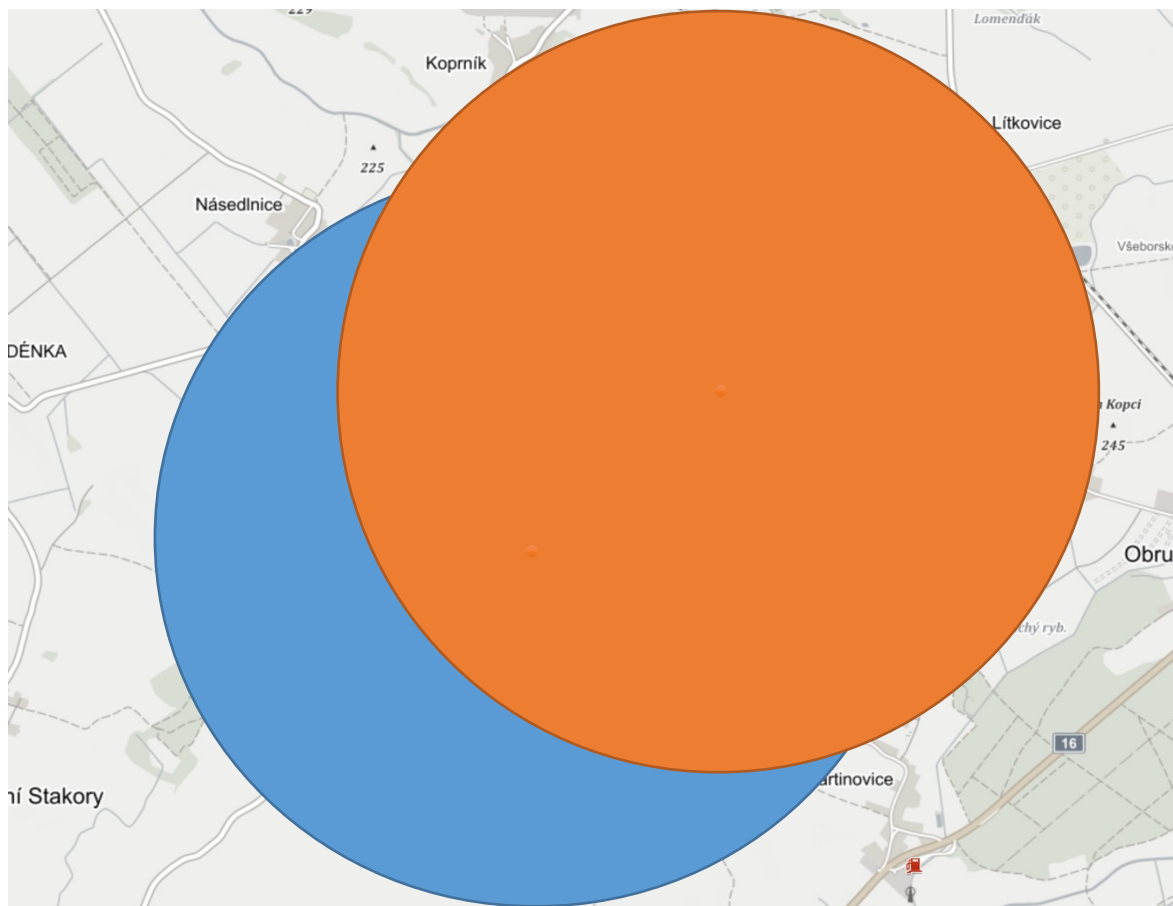
Obr. 23 - Umístění detektorů jihozápadní pohled (17)



Obr. 24 - Umístění detektorů severovýchodní pohled (17)

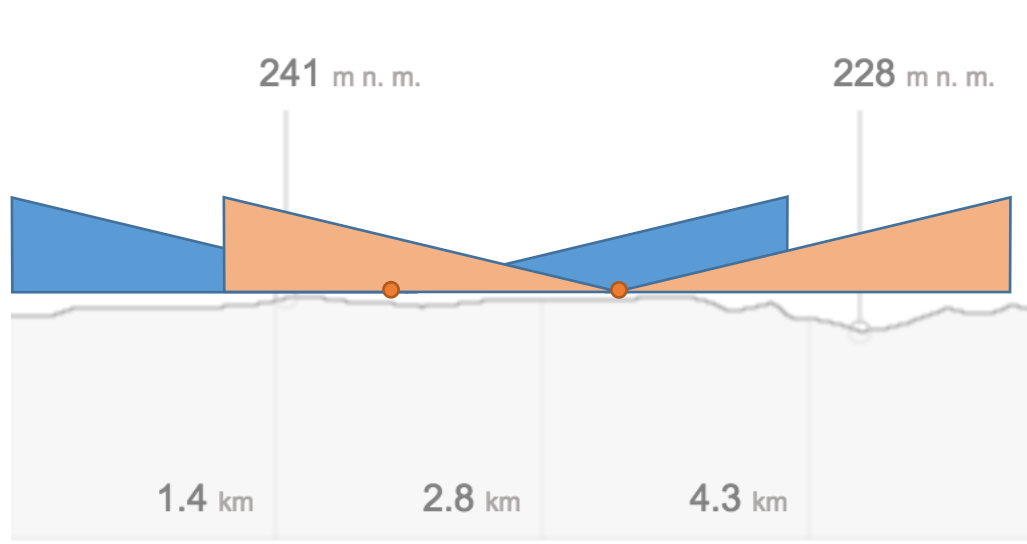
Ještě před samotnou instalací je nutné připravit projekty, které vyřeší přesné umístění věží i s geodetickým zaměřením. Součástí projektu musí být i řešení napájení a datové komunikace. Vzhledem k velkým vzdálenostem od nejbližších datových a napájecích zdrojů budou tyto položky velice významnou složkou výsledné ceny.

Po úspěšné instalaci systému by mělo dojít ke komplexnímu pokrytí dráhy a přilehlého okolí, které je znázorněno na obrázku (Obr. 25).



Obr. 25 - pokrytí polygonu detekčním systémem SPYNEL (17)

V horizontálním profilu jsou detekční oblasti přibližně znázorněny na obrázku (Obr. 26).



Obr. 26 - horizontální profil detekčních zón (17)

8.2.4 Závěr

Toto řešení bylo již s uživatelem probíráno, bylo mu představeno a byla již vypracována cenová kalkulace. Je tedy pouze na uživateli – ŠKODA AUTO a.s., jestli přistoupí na podmínky a bude se zpracovávat projektová dokumentace. Po vypracování projektové dokumentace je domluveno, že se provedou ještě provozní testy přímo v lokalitě Polygonu Úhelnice, a to přímo za podpory výrobce systému, který bude vybaven mobilní verzí tohoto systému.

8.3 Ohrožení bezpečnosti provozu – Jaderná elektrárna Dukovany

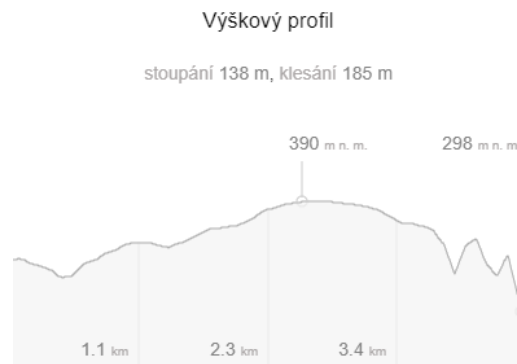
V případě elektráren je hrozbou primárně omezení či úplné zastavení provozu. Z hlediska útoku dronem není riziko jaderné havárie či fatálního poškození, které by k tomu vedlo, ale je možné omezit či odstavit provoz. Konstrukce samotných bloků a podružných technologií je koncipována na náraz dopravního letadla, a tak z hlediska dronu, který má hmotnost v rozptěti jednotek až nižších desítek kilogramů, je riziko velice blízké nule. Avšak podružné technologie, jako jsou rozvodny, povrchové vedení a administrativní budovy jsou před dronem nechráněny. V tuto chvíli není oblast proti dronům monitorována, klasické radary si s takto malým cílem neporadí a technologie primárně koncipována k detekci dronů není instalována.

Letecký provoz v oblasti bezletové zóny jaderná elektrárna Dukovany, dále jen JE Dukovany, je monitorován radarovým systémem a spadá pod Řízení letového provozu v Náměšti nad Oslavou. Jeho bezpečnost je pod kontrolou Armády České republiky a je střežena podzvukovými i nadzvukovými stroji. K narušení bezletové zóny dochází minimálně, poslední 2 narušení proběhla v roce 2001 a 2002, kdy byla bezletová zóna z důvodu teroristických útoků v USA rozšířena.

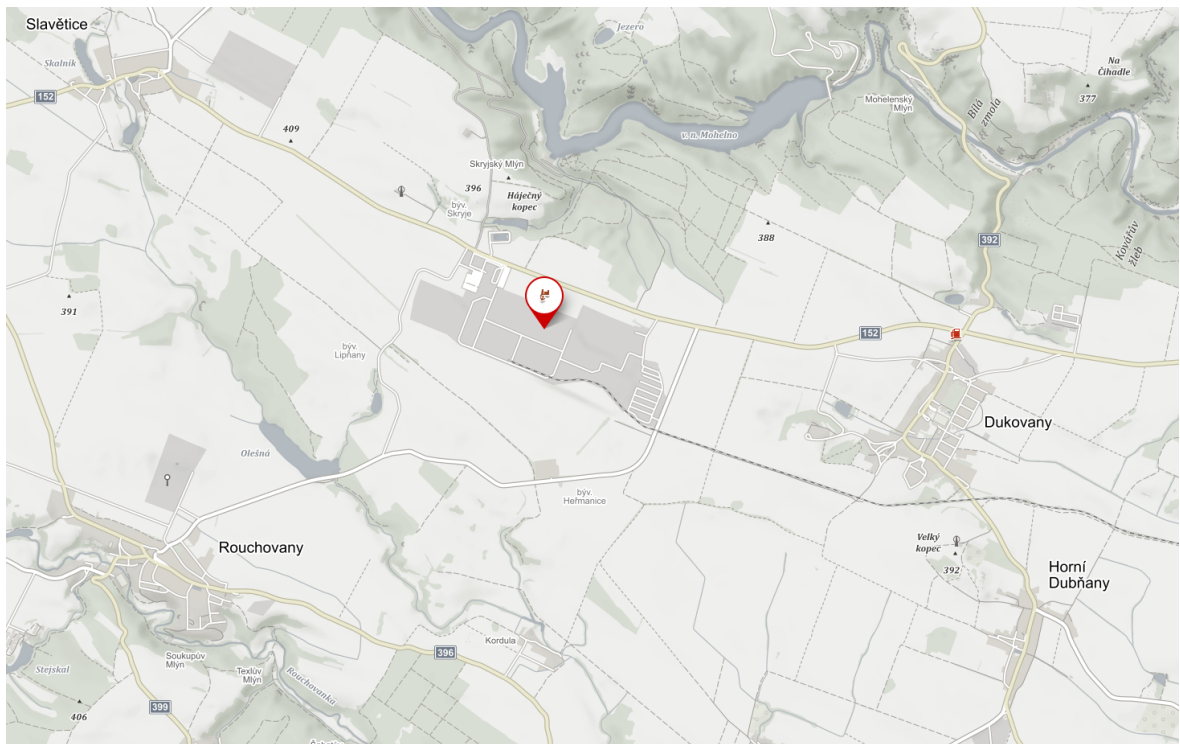
8.3.1 Prostředí a situace

JE Dukovany je situována 30 km v JV směru od Třebíče v blízkosti obcí Dukovany, Slavětice a Rouchovany. Ze všech stran je obklopena loukami a poli, zároveň ji ze severní a východní části obepínají veřejné komunikace. Z hlediska širšího okolí je elektrárna situována

na mírném kopci, čímž tvoří dominantu širšího okolí. Výškový profil JE dukovany je znázorněn na následujícím obrázku (Obr. 27).



Obr. 27 - výškový profil JE Dukovany (17)

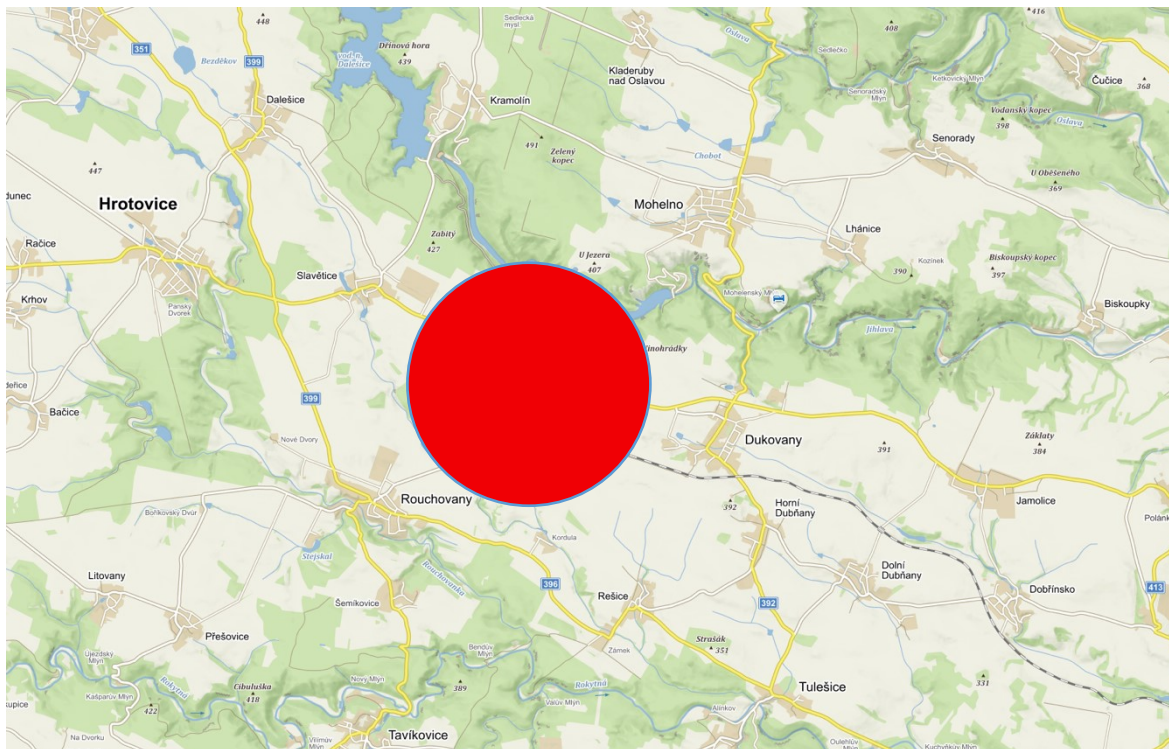


Obr. 28 – Jaderná elektrárna Dukovany (17)

V rámci ochrany před případnou leteckou havárií je kolem JE Dukovany definována bezletová zóna. Informace ohledně aktuálního stavu bezletové zóny JE Dukovany označované jako LKP9 Dukovany je definována na stránkách Řízení letového provozu, kde ve standardních situacích má tyto parametry:

- poloměr 2 km z výchozích souřadnic 49°05'08,82" N 016°08'44,83" E (Obr. 28)
- výška nad zemí 5000 stop (1524 m).

Bezletová zóna se týká primárně vymezených tříd G a E. Přelet nad hladinou 1524 m nad zemí je možný. Bezletová zóna je vyznačena na obrázku (Obr. 29)



Obr. 29 - bezletová zóna JE Dukovany (17)

8.3.2 Možnosti řešení

Jaderné elektrárny mají v České republice zvláštní charakter, vzhledem ke své bezpečnostní rizikovosti jsou trvale chráněny Policií České republiky a vzdušný prostor je chráněn Armádou České republiky. Proto jsou i možnosti ochrany lepší, respektive lze řešit i eliminaci, která v případě výše rozebíraného případu testovacího polygonu není ze zákona možná. Při aplikaci systému pro detekci dronů je nutné vzít v potaz, že areál je sice relativně malý, ale velice strukturovaný a přímému pohledu do okolí z vnitřního prostoru elektrárny brání chladičí věže, které jsou ze železobetonu a jsou 125 m vysoké. Toto je znázorněno na následujícím obrázku (Obr. 30). Z tohoto důvodu není možné celý prostor hlídat pouze jedním detekčním celkem, ale budou potřeba 3 celky, aby byl dostatečně pokryt celý prostor.



Obr. 30 - znázornění chladících věží (17)

8.3.3 Návrh řešení

V tomto případě je nutné brát zřetel na vysokou míru rizika, která v případě jaderných elektráren je. Proto je vhodné vybrat takový systém, který obsahuje kombinaci detekčních prvků pro maximální možnou ochranu. Proto bych pro ochranu a obranu JE Dukovany vybral systém od společnosti DroneShield, a to konkrétně DroneSentry, který bude vybaven:

- radarovým snímačem,
- RF směrovým analyzátozem,
- akustickými snímači,
- optickou detekcí,
- termografickou detekcí.

A k tomu doplnění o systémy pro eliminaci dronů:

- puška,

- automatický systém RF rušení.

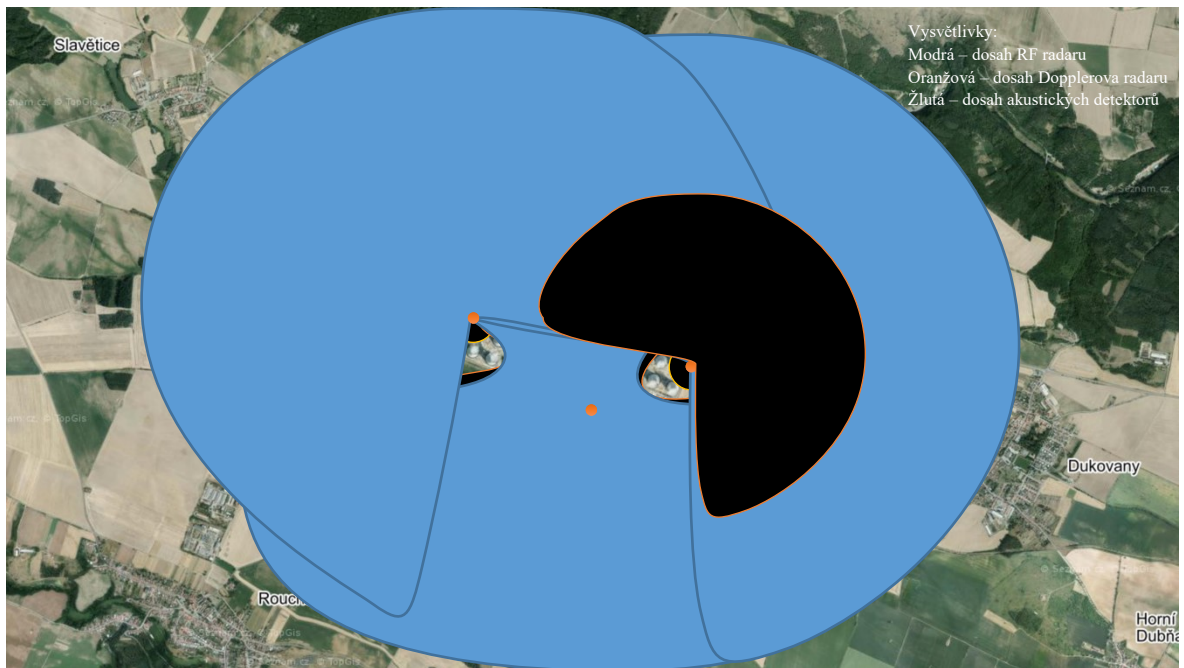
Celý systém by měl aktivně spolupracovat s operátory na bezpečnostním dispečinku. Po celou dobu by měli operátoři mít přehled nad děním v letové zóně v dosahu systému. V případě překročení určité linie, by systém měl operátory vyzvat k interakci, vyslání povelu k uzemnění dronu a zároveň k vyslání hlídky, pokud by dron nezareagoval k vyslaným signálům.

Pro ideální pokrytí prostoru JE Dukovany by bylo ideální umístit detekční a eliminační věže na 3 lokality, aby se zamezilo stínění od chladících věží, jak je znázorněno na následujícím obrázku. (Obr. 31).



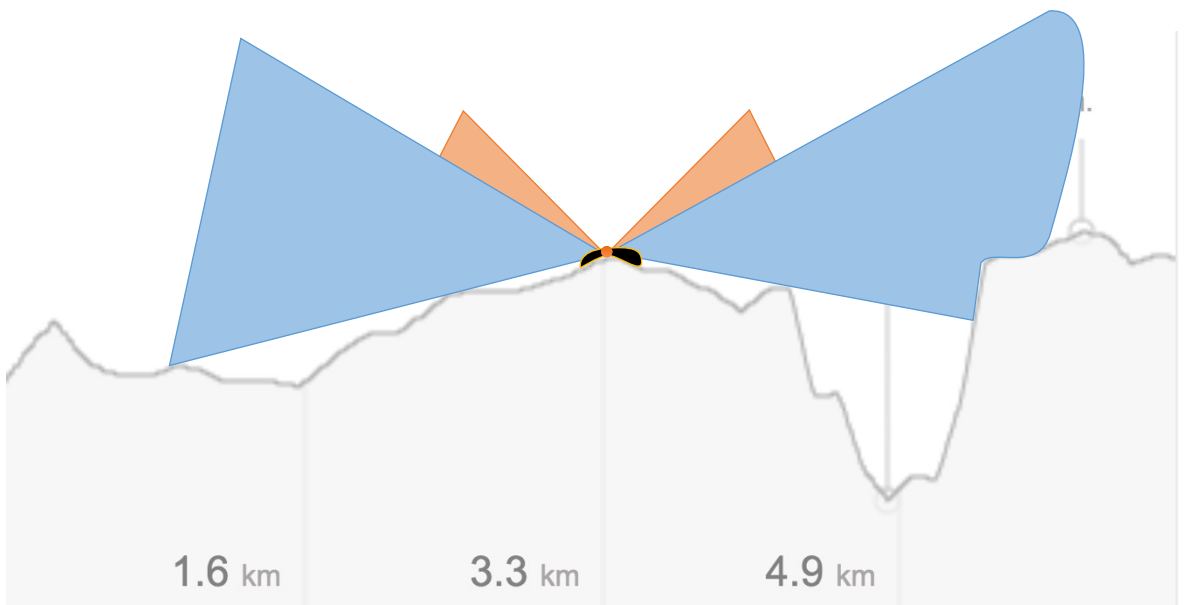
Obr. 31 - umístění technologie JE Dukovany (17)

Každá z detekčních a eliminačních věží by byla vybavena veškerou výše zmíněnou technologií a tím by se detekční zóny v určitých vzdálenostech překrývali a tvořily vícenásobnou ochranu. Detekční zóny by byly dle obrázku níže (Obr. 32). Výřezy v detekčních zónách jsou způsobeny chladícími věžemi, které jsou vyrobeny z železobetonu a jsou pro mikrovlny nepropustné.



Obr. 32 - Detekční zóny JE Dukovany (17)

V horizontálním řezu detekčních zón bude zřetelné, jak je důležité řešit vyzařovací charakteristiky jednotlivých technologií a tím docílit ideálního pokrytí i ve špatném terénu. Na obrázku (Obr. 33) je znázorněno na jaké vzdálenosti a v jakých úhlech různé technologie reagují.



Obr. 33 - horizontální profil detekčních zón (17)

8.3.4 Závěr

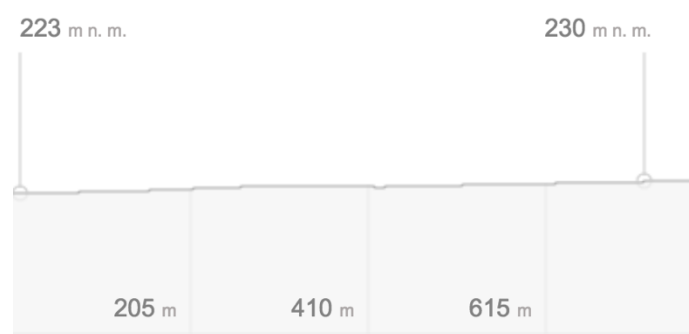
Jak je znázorněno a popsáno výše, dá se relativně jednoduchým způsobem dosáhnout ideálního pokrytí celé bezletové zóny i se značným přesahem pro včasné varování před blížící se hrozbou. Vzhledem k výjimečnosti objektu je nutné řešit detekci na větším množství nezávislých detektorů, kde každý z nich má vlastní vyhodnocovací algoritmy a neovlivňují se navzájem.

8.4 Shromáždění osob na volném prostranství Letenská pláň

Veřejné otevřené prostranství je obecně největším problémem při eliminaci rizik a v případě dronů je situace podobná.

8.4.1 Prostředí a situace

Letenská pláň se nachází na Letenském kopci, je vymezena z jihu Vltavou, ze severu Letenským stadionem a z východu a západu přílehlou zástavbou. Je to místo, které slouží jako shromaždiště osob nejen k volnočasovým aktivitám, ale také k pořádání kulturních akcí a happeningů. I přes její velikost cca (900 m x 900 m) je její horizontální profil téměř rovný, jak je vidět z obrázku (Obr. 34).



Obr. 34 - výškový profil Letenská pláň (17)

8.4.2 Možnosti řešení

Vzhledem k pouze občasnému pořádání akcí je instalace trvalého řešení nerentabilní, proto by bylo ideální mít ochranu před drony zajištěnou pouze v případě pořádání problematické akce. Pro nízkou míru rizik není nutné používat kombinovaný detekční systém, ale pro dostatečné pokrytí bude stačit i RF detekční systém s dostatečným pokrytím a rozlišením. Pro potřeby eliminace dronů by bylo ideální využití mobilní směrové rušičky, která v této oblasti

dává větší smysl než všesměrové řešení, které by mohlo způsobit problémy i na jiných místech Prahy.

8.4.3 Návrh řešení

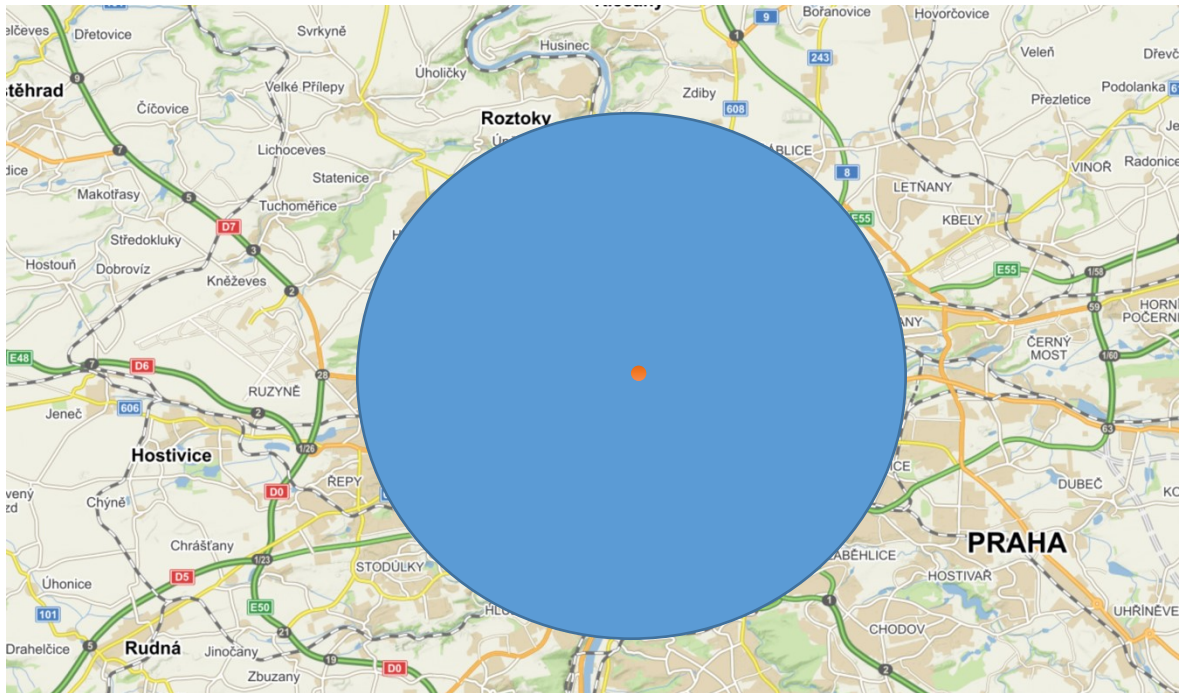
Vzhledem k výše uvedeným informacím navrhuji použít mobilní vyhodnocovací systém od společnosti Aaronia AG, který je možné na místo dopravit na přívěsném vozíku (Obr. 35).



Obr. 35 - mobilní řešení Aaronia AG (10)

Tento systém ve volném prostředí má dosah do 5 km pro menší drony, což je vzhledem k povaze a rozměrům sledované plochy více než dostatečné, dokonce se díky tomuto rozsahu dosáhne stavu, kdy bude letový provoz v dostatečné vzdálenosti plně pod dohledem operátora. Jak bylo uvedeno výše, systém je pasivní, tudíž není nutné řešit interference s okolím či povolení k použití. Jeho dosah pokryje podstatnou část Prahy, pouze ve vzdálenějších bodech dojde vzhledem k vyzařovacím charakteristikám k „hluchým“ místům, kde se můžou drony vyskytovat. Avšak při překročení určité hladiny, která by už ohrožovala hlídanou lokalitu budou stejně detekovány. Dle následujícího obrázku (Obr. 36) je hlídaný prostor obrovský a několikanásobně větší, než by bylo potřeba, ale jak již bylo zmíněno výše, tento dosah umožní alespoň ucelený obraz o pohybu vysílačů v pásmech 2,4 GHz a 5,8 GHz.

Vzhledem k dosahu systému je přesné místo instalace značně variabilní, což se hodí právě v případě dočasných instalací, kdy se bohužel zabezpečovací systémy musí podřídit primárnímu cíli akce. I přesto bude nutné systém umístit na alespoň trochu vhodné místo, což znamená s přímým výhledem na všechny strany bez stínění stromů a domů, a hlavně v dosahu 500 m od hlavního bodu zájmu. Možné varianty umístění detekčního systému jsou znázorněny na obrázku (Obr. 37). V tomto případě je ideální, že systém je vybaven vlastním generátorem a není tak nutné zajišťovat zdroj napájení. Systém je koncipován jako řešení vše v jednom, proto i místo operátora je přímo u centra systému.

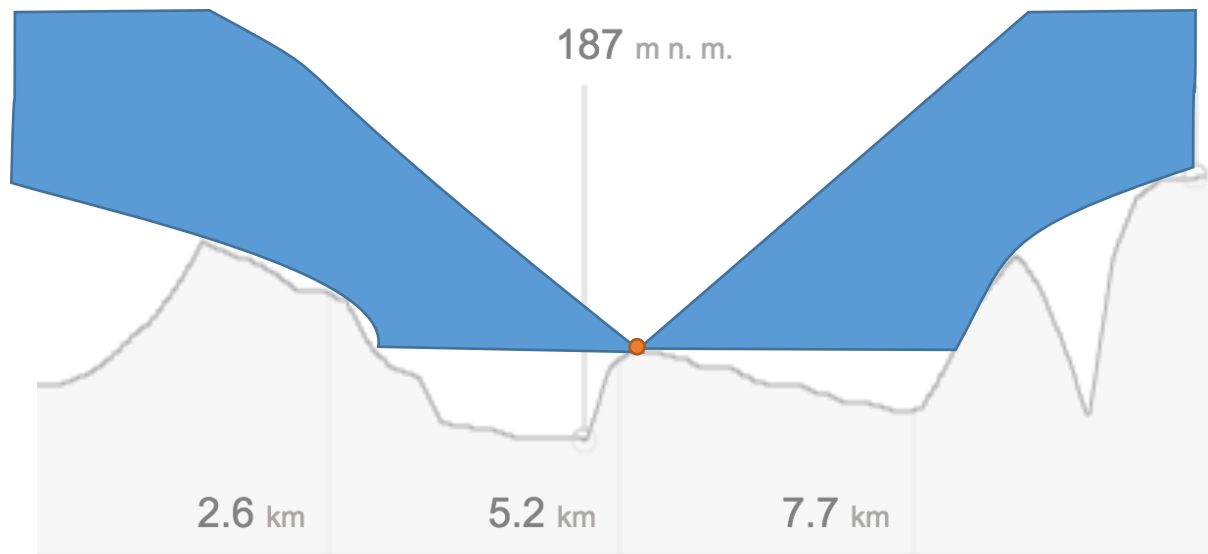


Obr. 36 - dosah RF systému (17)



Obr. 37 - možnosti umístění systému (17)

Pro ilustraci je na následujícím obrázku (Obr. 38) znázorněn horizontální profil detekční zóny, který sice na první pohled obsahuje nedetekované oblasti, ale ty jsou pro potřeby bezpečnosti nepodstatné, buď jsou velmi vzdálené, anebo v případě záměru ohrožení musí dron stejně proniknout do střežené zóny, čímž dojde k jeho detekci.



Obr. 38 - horizontální profil detekční zóny (17)

8.4.4 Závěr

Jak je patrné z nákresů a parametrů systému Aaronia AG, tak řešení detekce na otevřeném pláni je velice jednoduché a pro uživatele velice ekonomicky výhodné – dá se totiž pronajmout na dobu určitou jako služba i s obsluhou. Tím se za minimální náklady dá vyřešit problém s bezpečností. Díky využití RF systému je téměř jedno, kam se systém umístí, jen je nutné mít na paměti, že vzhledem ke svým vlastnostem²⁰, komunikační frekvence dronů špatně procházejí místy bez přímé viditelnosti. Toto je ale problém jak pro detekci, tak pro ovládání dronu.

²⁰ vlnová délka

ZÁVĚR

Při průzkumu trhu s bezpilotními letadly se mi podařilo seznámit se spoustou zajímavých firem a také lidí, kteří v nich pracují. Podařilo se mi navázat obchodní kontakty a také na konec tohoto roku předběžně domluvit ukázky, jak detekčních technologií, tak dronů, které se dají použít pro bezpečnostní účely. Primárním cílem mé práce bylo prozkoumat a navrhnout systémy obrany různých typů objektů. V případě Jaderné elektrárny Dukovany a testovacího polygonu ŠKODA AUTO a.s. se jedná o studie, které se budou reálně předkládat pověřeným osobám na daných institucích. Část zaměřená na detekci dronů na Letenské pláni byla myšlena jako obecná ochrana v případě jednorázových, ale trvalých akcí.

Průzkumem trhu vyšlo najevo, že naprostá většina dronů pro komerční použití je koncipována jako vícerotorové modely, což vychází z jejich primárního určení – natáčení videí. Varianty s pevným křídlem, anebo jednorotorové nejsou pro tyto komerční účely vhodné. Ty se využívají primárně pro záchranné a zásobovací úkoly.

Dělení dronů do různých kategorií je stále ještě většinou podřízeno armádnímu použití, naprostá většina komerčních dronů spadá do nejnižší kategorie, a to jak z hlediska doletu, tak z hlediska velikosti.

Při práci na teoretické části jsem zjistil, že kolem létání s drony existuje velice silná komunita. Ta má opravdu přehledně zpracovaná pravidla ohledně létání s nimi a zároveň má k dispozici i právní rozbor ohledně provozu a nakládání s obrazovým materiálem.

Následně jsem si ověřil, že technologie detekce není v takových počátcích, jak jsem si na začátku myslel. Vlivem malého povědomí a minimálnímu zastoupení těchto řešení na českém, potažmo evropském trhu, totiž nejsou firmy vidět. Z vlastní zkušenosti, kdy navštěvuji bezpečnostní výstavy po Evropě IFSEC/Security Essen vím, že zastoupení společností věnující se obraně před drony je minimální. Většinou se účastní začínající společnosti, které nemají bohužel moc zkušeností z praxe a mají minimum referencí.

Při vypracovávání legislativní části jsem zjistil, že létání s dronem není zase tak náročné, jak to na samém začátku vypadalo. Pro obyčejného člověka je let s dronem velice snadnou záležitostí. Jediné, co je důležité pohlídat, je hmotnost s hranicí 20 kg. Při komerčním použití je již nutná registrace a složení základních leteckých zkoušek.

Samotné principy detekce jsou založeny na již známých principech detekce, které jsou pro potřeby dronů upraveny na větší přesnost u radarů a na specifické frekvence u spektrálních

analyzátorů. U kamerových systémů ve viditelném spektru je riziko falešných poplachů příliš vysoké, a tak se používají primárně na ověření pohybu operátorem, kdy dojde k nasměrování kamery správným směrem na základě detekce dronu jiným detektorem. Použití termokamer je o úroveň přesnější, zde může být hlavním problémem cena, která je několikanásobně vyšší než u klasických kamer, ale zase z hlediska spolehlivosti a náchylnosti na falešné alarmy jsou na pokročilejší úrovni. Základní detektory založené na akustickém principu se hodí pro detekci kolem kancelářských budov, kde nevadí relativně krátký dosah, a ještě v tomto případě nasazení, zkrácený o hluk okolního prostředí. V těchto případech jde totiž většinou o pokrytí výškové budovy, která se jinými způsoby realizuje obtížně, popřípadě za neúměrně vyšší náklady, a proto se vyplatí riziko vyšší míry falešných poplachů s použitím akustických detektorů.

Možnosti eliminace jsou také již na vysoké úrovni, je možné pořídit jak nedestruktivní obranné prostředky pro lidskou obsluhu, tak i plně integrované systémy, které obsluha pouze aktivuje v případě potřeby.

Celkově bych zhodnotil technologie možnosti obrany před drony jako dostatečné. Jedinými problémy je osvěta mezi vlastníky objektů a zatím minimální dostupnost na českém trhu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. **Kolektiv statista.** *www.statista.com. The Statistic Portal.* [Online] [Citace: 20. 2 2018.] <https://www.statista.com/topics/3601/commercial-uavs/>.
2. **Droneweb.cz.** *Droneweb.cz. Copyright ©Droneweb.cz.* [Online] 2016. [Citace: 22. 3 2018.] <http://www.droneweb.cz/legislativa-provozu-dronu/item/37-predpisy-pro-letani-s-drony-v-cr>.
3. **Kolektiv autorů.** *Stránky letiště Znojmo. Letiště Znojmo.* [Online] 1 2018. [Citace: 12. 3 2018.] predpisy.lkzn.cz/rozdeleni_cz.pdf.
4. **Úřad pro ochranu osobních údajů.** *www.uoou.cz.* [Online] [Citace: 15. 4 2018.] <https://www.uoou.cz/stanovisko-c-1-2013-zpracovani-osobnich-udaju-prostrednictvim-zaznamu-z-nbsp-kamer-kterymi-jsou-vybavena-bezpilotni-letadla/d-1557/p1=1099>.
5. **Droneweb.cz.** *droneweb.cz.* [Online] [Citace: 22. 2 2018.] <http://www.droneweb.cz/co-je-dron>.
6. **Flynt, Joseph.** *3Dinsider.com.* [Online] 9. 7 2017. [Citace: 12. 4 2018.] <http://3dinsider.com/types-of-drones/>.
7. **Shea, Dan, Essex, Amanda a Husch, Ben.** *National conference of state legislatures.* [Online] 9. 12 2016. [Citace: 25. 4 2018.] <http://www.ncsl.org/research/energy/drones-and-critical-infrastructure.aspx>.
8. **Wikipedie, Příspěvatelé.** *Wikipedie: Otevřená encyklopedie.* [Online] 10. 10 2017. [Citace: 6. 5 2018.] <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Radar&oldid=15447232>.
9. **Robin Radar.** *Firemní prezentace Robin Radar.* [Online] [Citace: 22. 4 2018.] <https://www.robinradar.com/3d-flex/>.
10. **Aaronia.** *Firemní prezentace Aaronia.* [Online] [Citace: 2. 4 2018.] www.aaronia.com.
11. **Williams, Martyn.** *PCWorld.* [Online] 12. 3 2018. <https://www.pcworld.com/article/2990525/necs-surveillance-system-will-detect-track-drones.html>.

12. Hikvision. Hikrobotics drone jamming tool. [Online] 10. 3 2018. <http://en.hikrobotics.com/uav/uavlist.htm?type=7>.
13. Kolektiv SPYNEL. www.spynel.com. [Online] [Citace: 20. 3 2018.] www.spynel.com.
14. SPYNEL. Firemní preznetace SPYNEL. [Online] 25. 2 2018. www.spynel.com.
15. DroneShield. Firemní prezentace DroneShield. [Online] [Citace: 25. 4 2018.] www.droneshield.com.
16. Kolektiv AARONIA. AARONIA. [Online] [Citace: 6. 5 2018.] Aaronia Spectrum Analyzers, Antennas & Generators [online]. Copyright © [cit. 06.05.2018]. Dostupné z: <http://www.aaronia.com/fileadmin/Datasheets/Documents/Drone-Detection-System.pdf>.
17. Seznam.cz, a.s. *Mapy.cz*. *Mapy.cz*. [Online] [Citace: 25. 4 2018.] <https://mapy.cz/>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AGL	above ground level – vzdálenost nad zemí
CTR	Control Zone - řízený okresek
ČTÚ	Český telekomunikační úřad
FLxx	Flight Level – letová výška, číslo za FL určuje výšku v tisícinásobcích stop
GPRS	General Packet Radio Service - služba umožňující přenos dat
GPS	Global positioning systém - globální navigační systém
GSM	Groupe Spécial Mobile - globální systém pro mobilní komunikaci
ICAO	International Civil Aviation Organization - Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IFL	instrument flight rules - let podle přístrojů
LKP	Zakázaný letový prostor
LKR	Omezený letový prostor
LTE	Long Term Evolution - technologie pro vysokorychlostní síťové připojení
n. m.	nad mořem
RF	Radio Frekvenční
TCA	Terminal Control Area - Koncová řízená oblast
TRA	Temporary reserved area - dočasně rezervovaný prostor
TSA	Temporary secured area - dočasně vyhrazený prostor
UAV	Unmanned Aerial Vehicle - bezpilotní letadlo
VFR	Visual flight rules – let za viditelnosti
RF	Rádio frekvenční
JE	Jaderná elektrárna
PTZ	Pan Tilt Zoom, otočná kamera se zoomovacím objektivem
FAA	Federal Aviation Administration – federální letecká správa
RC	Radio controled – rádiové řízené

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - zobrazení nákladů a technologií pro různé vzdálenosti detekce (7).....	30
Obr. 2 - ukázka radarového systému (9).....	31
Obr. 3 - 4 směrový spektrální analyzátor (10).....	32
Obr. 4 - ukázka 3D vizualizace detekovaného dronu (10).....	34
Obr. 5 - PTZ kamera pro detekci dronů (11).....	34
Obr. 6 - ukázka detekce v obraze viditelné spektrum/termo snímek (11).....	35
Obr. 7 - RF sektorová rušička (10).....	38
Obr. 8 - mobilní směrová rušička RF pásem (12).....	39
Obr. 9 - mobilní plošná rušička (10).....	39
Obr. 10 - detekce dronu SPYNEL (14).....	41
Obr. 11 - modely detekčních jednotek SPYNEL (14).....	42
Obr. 12 - ukázka aplikace CYCLOPE (14).....	43
Obr. 13 - RadarOne (15).....	45
Obr. 14 - ukázka RfOne (15).....	45
Obr. 15 - akustické snímače FarAlert (15).....	46
Obr. 16 - umístění DroneHeat, DroneOpt a DroneBeam (15).....	47
Obr. 17 - vizualizační rozhraní DroneShield (15).....	48
Obr. 18 - anténa Aaronia IsoLOG 3D (10).....	49
Obr. 19 - Spektrální analyzátor (10).....	49
Obr. 20 - Mobilní vyhodnocovací pracoviště (10).....	50
Obr. 21 - Polygon Úhelnice umístění (17).....	52
Obr. 22 - Výškový profil testovací dráhy (17).....	53
Obr. 23 - Umístění detektorů jihozápadní pohled (17).....	54
Obr. 24 - Umístění detektorů severovýchodní pohled (17).....	55
Obr. 25 - pokrytí polygonu detekčním systémem SPYNEL (17).....	56
Obr. 26 - horizontální profil detekčních zón (17).....	56
Obr. 27 - výškový profil JE Dukovany (17).....	58
Obr. 28 – Jaderná elektrárna Dukovany (17).....	58
Obr. 29 - bezletová zóna JE Dukovany (17).....	59
Obr. 30 - znázornění chladících věží (17).....	60
Obr. 31 - umístění technologie JE Dukovany (17).....	61
Obr. 32 - Detekční zóny JE Dukovany (17).....	62

Obr. 33 - horizontální profil detekčních zón (17).....	62
Obr. 34 - výškový profil Letenská pláň (17)	63
Obr. 35 - mobilní řešení Aaronia AG (10).....	64
Obr. 36 - dosah RF systému (17).....	65
Obr. 37 - možnosti umístění systému (17).....	65
Obr. 38 - horizontální profil detekční zóny (17).....	66

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - přehled vlastností jednotlivých modelů (14).....	42
---	----

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Vertikální řez vzdušným prostorem

