



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**

**Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva**

**Analýza možností teroristického útoku za použití bezpilotních  
leteckých prostředků**

**Unmanned Aerial Vehicles and Potential Misuse for Terrorist  
Attacks**

Diplomová práce

Studijní program: Ochrana obyvatelstva  
Studijní obor: Civilní nouzové plánování

Vedoucí práce: PhDr. Václav Adámek

**Bc. Matěj Lehovec**

---

Kladno 2017

Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva

Akademický rok: 2016/2017

## Z a d á n í   d i p l o m o v é   p r á c e

Student:                   **Bc. Matěj Lehovec**  
Studijní obor:           Civilní nouzové plánování  
Téma:                      **Analýza možností teroristického útoku za použití bezpilotních leteckých prostředků**  
Téma anglicky:         Unmanned Aerial Vehicles and Potential Misuse for Terrorist Attacks

### Z á s a d y   p r o   v y p r a c o v á n í :

Diplomová práce se bude zabývat problematikou bezpilotních leteckých prostředků (UAV) a nebezpečím při jejich použití v teroristických útocích. V teoretické části diplomové práce budou popsány druhy UAV, jejich využití a rozdělení, obranu proti nim a legislativní podmínky pro UAV v České republice. Dále zde budou uvedeny možnosti nezákonného použití bezpilotních letadel se zaměřením na teroristické útoky a jejich typy, při kterých je možno UAV použít. V praktické části diplomové práce bude provedena simulace několika typů teroristických útoků za pomoci komerčně prodávaných UAV, a jejich následků prostřednictvím modelovacího nástroje TerEx. V závěru práce bude ze získaných dat a informací provedena SWOT analýza k vyhodnocení možnosti použití UAV k provedení teroristického útoku. Cílem práce je určit možnosti teroristických útoků za pomoci komerčně prodávaných UAV a analyzovat jejich nebezpečí a následky.

### Seznam odborné literatury:

- [1] GUNDLACH, Jay, Designing unmanned aircraft systems: a comprehensive approach, ed. 1., Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012, ISBN 9781600868436
- [2] MATOUŠEK, Jiří, MIKA Otakar J. a VIČAR Dušan, Nové hrozby terorismu: chemický, biologický, radiologický a jaderný terorismus : skripta, ed. 1., Brno: Univerzita obrany, 2005, ISBN 80-7231-037-2
- [3] AUSTIN, Reg, Unmanned aircraft systems UAVs design, development and deployment, ed. 1., Chichester: Wiley, 2010, ISBN 9780470664803
- [4] ZALOGA, Steve a PALMER, Ian, Unmanned aerial vehicles: robotic air warfare, 1917-2007, ed. 1., New York: Osprey, 2008, ISBN 1846032431

Vedoucí:                   PhDr. Václav Adámek

Zadání platné do:   20.08.2018

.....  
vedoucí katedry / pracoviště

.....  
děkan

V Kladně dne 12.12.2016

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem Analýza možností teroristického útoku za použití bezpilotních leteckých prostředků vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k diplomové práci.

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

V Praze dne 17.5. 2017

.....

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu PhDr. Václavu Adámkovy za odborné vedení mé práce a cenné připomínky a rady. Dále panu Janu Domanskému a firmě Domanský Profimodel.cz za konzultace a poskytnutí techniky.

## **Název diplomové práce:**

Analýza možností teroristického útoku za použití bezpilotních leteckých prostředků

## **Abstrakt:**

Cílem diplomové práce na téma Analýza možností teroristického útoku za použití bezpilotních leteckých prostředků je přiblížit problematiku komerčně dostupných bezpilotních leteckých prostředků (UAV) a nebezpečí při jejich zneužití v teroristických útocích. Na začátku práce jsou vymezeny pojmy související s UAV, jejich dělení a popis jednotlivých systémů a funkcí kterými jsou vybaveny.

V práci je dále popsána legislativa, kterou se řídí provoz bezpilotních leteckých prostředků v České republice, rizika nezákonného použití těchto prostředků a možnosti jejich detekce a eliminace. V závěru práce jsou na komerčně prodávané kvadrokoptěře zjištěny vlastnosti potřebné pro její zneužití a jsou provedeny simulace několika typů teroristických útoků prostřednictvím modelovacích nástrojů TerEx a ALOHA. Ze získaných dat a informací je provedena SWOT analýza.

## **Klíčová slova:**

Bezpilotní prostředek, Dron, TerEx, ALOHA, Terorismus, CBRNE

**Bachelor's Thesis title:**

Unmanned Aerial Vehicles and Potential Misuse for Terrorist Attacks

**Abstract:**

The aim of the Diploma thesis on Analyses of possibilities of terrorist attack using unmanned aerial vehicles is to approach the issue of commercially available unmanned aerial vehicles (UAV) and the danger of their misuse within terrorist attacks. The initial part of the thesis outlines the notions related to the UAV, their division and description of individual systems and functions with which they are equipped.

The thesis furthermore describes the legislature governing the operation of unmanned aerial vehicles in the Czech Republic, risks of illegal use of these vehicles and possibilities of their detection and elimination. The conclusion finds out about the properties of a commercially sold quadrocopter, necessary for its misuse, and includes simulations of several types of terrorist attacks through modelling tools TerEx and ALOHA. The obtained data and information serve as a basis for SWAT analysis.

**Key words:**

Unmanned Aerial Vehicles, Drone, TerEx, ALOHA, Terrorism, CBRNE

# OBSAH

1	ÚVOD.....	10
2	VYMEZENÍ POJMŮ .....	11
2.1	Bezpilotní prostředek.....	11
2.2	Mutikoptéra .....	12
2.3	CBRNE terorismus .....	12
3	DĚLENÍ UAV .....	14
3.1	Dělení dle účelu použití .....	14
3.2	Dělení dle Doplnku X - Bezpilotní systémy .....	15
3.3	Dělení dle pohonné jednotky .....	16
3.3.1	Bezmotorové prostředky.....	16
3.3.2	Systémy se spalovacím motorem.....	17
3.3.3	Elektromotorové systémy .....	17
4	VYBAVENÍ A FUNKCE UAV .....	18
4.1	GPS a GLONASS.....	18
4.2	Gyroskop a akcelerometr.....	19
4.3	Měření výšky nad terénem.....	19
4.4	Digitální kompas.....	19
4.5	Funkce návrat domů a automatické přistání .....	20
4.6	Záznam a přenos videa .....	20
4.7	Funkce určení stálé pozice a plánovaného letu.....	21
4.8	Funkce vyhnutí se překážkám .....	21
4.9	Funkce sledování .....	21
4.10	Ovládání hlasem .....	22
4.11	Umělá inteligence.....	22
5	LEGISLATIVA.....	23
5.1	Doplněk X.....	23
5.1.1	Definice .....	24
5.1.2	Rozsah působnosti .....	25
5.1.3	Bezpečnost.....	25
5.1.4	Dohled pilota .....	25
5.1.5	Odpovědnost.....	26
5.1.6	Ukončení letu.....	26
5.1.7	Prostory.....	27
5.1.8	Ochranná pásma.....	29
5.1.9	Meteorologická minima.....	29

5.1.10	Nebezpečný náklad.....	29
5.1.11	Shazování nákladu.....	29
5.1.12	Pohyb pilota.....	30
5.1.13	Letecká veřejná vystoupení.....	30
5.1.14	Ostatní legislativa.....	30
5.1.15	Pohon.....	30
5.1.16	Další podmínky pro provoz bezpilotního letadla.....	31
5.1.17	Hlášení událostí.....	32
6	MOŽNOSTI NEZÁKONNÉHO POUŽITÍ.....	33
6.1	Narušování soukromí a špionáž.....	33
6.2	Pašeráctví a distribuce drog.....	34
6.3	Hackování.....	35
6.4	Terorismus.....	36
7	ZPŮSOBY DETEKCE.....	39
7.1	Detekce radiolokátorem.....	39
7.1.1	Aktivní radar.....	40
7.1.2	Pasivní radar.....	41
7.2	Akustická detekce.....	42
7.3	Videoanalýza.....	43
7.4	Kombinace systémů.....	44
7.4.1	Aaronia Drone detector.....	44
7.4.2	Drone Dome.....	45
7.4.3	Panasonic Security Solutions Drone detector.....	46
7.4.4	Dedrone Data Sheet DroneTracker.....	47
8	METODY ELIMINACE UAV.....	48
8.1	Protiletadlová technika.....	48
8.2	Střelné zbraně.....	49
8.3	Laserové zbraně.....	49
8.4	Zachytávání do sítě.....	50
8.4.1	Vystřelení sítě ze země.....	50
8.4.2	Síť zavěšená pod dronem.....	52
8.4.3	Vystřelení sítě z dronu.....	53
8.5	Chytání orly.....	54
8.6	Rušením komunikace a systémů.....	55
8.6.1	Anti-UAV Defence System.....	56
8.6.2	Battelle DroneDefender.....	57



9	CÍLE PRÁCE .....	59
10	SPECIFIKACE DRONU PRO SIMULACI TERORISTICKÉHO ÚTOKU.....	60
10.1	DJI Phantom 2 .....	61
10.2	Metodika a výsledky měření.....	64
11	MODELOVÁNÍ ÚTOKŮ A JEJICH NÁSLEDKŮ .....	67
11.1	Použitý modelovací software.....	67
11.1.1	TerEx .....	67
11.1.2	ALOHA .....	70
11.2	Výběr míst útoků .....	71
11.2.1	Staroměstské náměstí v Praze.....	71
11.2.2	Fotbalový stadion Eden Aréna.....	72
11.3	Útok za pomoci výbušniny .....	73
11.4	Útok chemickou látkou a biologických agens .....	75
11.4.1	Shození nebezpečné látky na pevnou plochu .....	76
11.4.2	Postupný rozptyl nebezpečné látky za letu.....	78
11.4.3	Rozptyl chemické látky za pomoci výbušniny .....	79
11.5	Útok s radioaktivním materiálem .....	82
12	SWOT ANALÝZA.....	87
13	DISKUZE .....	89
14	ZÁVĚR.....	91
15	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	92
16	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	93
17	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ .....	100
18	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK.....	101

# 1 ÚVOD

UAV (unmanned aerial vehicles) se dnes těší stále větší popularitě, tedy bezpilotní létající stroje, které se nazývají drony. V nedávné minulosti byly UAV nejčastěji spojovány s armádou, kde byly zpočátku používány pro terénní cvičení proti letadlům, shromažďování informací a poté i jako zbrojní platformy. V současné době se technologický vývoj v oblasti mobilní robotiky posouvá na úroveň, kdy se mobilní zařízení začínají stávat součástí civilního života v mnoha oblastech. S rozvojem mikroelektroniky a integrovaných obvodů, se rozšiřují možnosti jejich aplikace v průmyslu, domácnostech, ale i v hobby sféře. Zvyšuje se spolehlivost a snižuje se cena takových zařízení. Používají se v širokém spektru civilních rolí od fotografování, vyhledávání a záchran, sledování provozu, monitorování počasí až po doručovací služby.

S jejich širokým rozšířením ovšem roste i riziko jejich zneužití. V současné době existuje na trhu nespočet druhů komerčních dronů. Jsou to relativně levné, snadno ovladatelné a dostupné stroje a mohou svým operátorům poskytnout anonymitu díky ovládání na velkou vzdálenost. To však vyvolává řadu otázek týkajících se bezpečnosti. Bepilotní letadla mohou představit v nesprávných rukou závažnou hrozbu, včetně možnosti CBRNE terorismu.

Diplomová práce se bude zabývat zneužitím komerčně prodávaných UAV a jejich rozdělením, funkcemi, legislativou a možnostmi, jak lze tyto prostředky nezákonně použít. Budou zde uvedeny možnosti detekce a eliminace, v praktické části budou na komerčně prodávaném dronu měřeny jeho vlastnosti potřebné pro provedení teroristického útoku, a v modelovacích programech budou simulovány dopady takovýchto útoků. V závěru práce bude provedena SWOT analýza pro hodnocení vlastností dronů při použití v teroristických útocích.

## 2 VYMEZENÍ POJMŮ

### 2.1 Bezpilotní prostředek

Bezpilotní letoun je letadlo bez posádky, které může být řízeno na dálku, létat samostatně pomocí předprogramovaných letových plánů, pomocí složitějších dynamických autonomních systémů, nebo kombinací manuálního řízení na dálku s autonomními systémy. Tyto prostředky bývají někdy označovány jako UAV z anglického Unmanned Aerial Vehicle nebo také dron z anglického slova drone. Patří sem malé létající stroje pro komerční účely i velké armádní letouny, které se svou velikostí podobají běžně provozovaným letadlům.

Podle definice Ministerstva obrany Spojených států amerických, patří do označení UAV prostředky, které operují jak ve vzduchu, tak i prostředky operující na zemském povrchu, ve vodě či pod vodou. Definice ministerstva dále uvádí, že naváděné střely či torpéda nespádají pod označení UAV, protože tyto zbraně jsou pouze na jedno použití, i když jsou bezpilotní a v některých případech řízeny vzdáleně. [1]

Úřad pro civilní letectví (dále jen ÚCL) České republiky definuje UAV jako bezpilotní letadlo (UA) určené k provozu bez pilota na palubě. Za bezpilotní letadla se považují všechna bezpilotní letadla s výjimkou modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 20 kg. Systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako např. komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat, se nazývá Bezpilotní systém (UAS).

ÚCL dále rozlišuje bezpilotní letadlo od modelu letadla. Model letadla není vybaven žádným zařízením umožňujícím automatický let na zvolené místo, a není dálkově řízen jinak, než za účelem ukončení letu a je po celou dobu letu pomocí vysílače přímo řízen pilotem v jeho vizuálním dohledu. [2]

## 2.2 Mutikoptéra

Multikoptéry, které se často nazývají drony, jsou bezpilotní letouny, které mají dvě a více vrtulí tvořících potřebný vztlak pro let. Multikoptéry připomínají běžné helikoptéry, které fungují na principu vrtulového pohonu. Rozdílem je, že u klasického vrtulníku se požadovaného náklonu dosahuje na základě naklápění jednotlivých listů hlavního rotoru. Multikoptéry oproti tomu mají pevnou konstrukci rotoru bez naklápění listů rotorů, požadovaného náklonu stroje se tak dosáhne pouze změnou otáček rotorů na opačných stranách. Toto řešení zjednodušuje konstrukci rotoru a zvyšuje jeho spolehlivost.

Dle počtu rotorů můžeme dělit multikoptéry do kategorií na trikoptéry, kvadrokoptéry, hexakoptéry, oktokoptéry a vícerotorové multikoptéry s koaxiálním typem konstrukce vrtulí. Každý typ multikoptér spolu nese výhody, nevýhody a odlišné letové vlastnosti. Výhodou mutikoptér je výborná manévrovatelnost, nevýhodou pak vyšší spotřeba energie potřebné k udržení ve vzduchu a okamžitý pád při výpadku pohonu.

## 2.3 CBRNE terorismus

Pod tímto pojmem chápeme použití výbušnin, chemických zbraní, biologických a toxinových zbraní, radiologických zbraní, jaderných výbušných zbraní, bojových chemických látek a jiných toxických chemických látek, biologických agens a toxinů, jiných vysoce infekčních materiálů a radioaktivních látek jakož i jakékoliv teroristické akce proti chemickým, petrochemickým, biologickým a jaderným zařízením k vyvolání strachu nebo teroru. [3]

Chemický, biologický, radiologický a jaderný terorismus, označovaný díky mimořádné účinnosti uvedených nástrojů ozbrojeného násilí, jako superterorismus nebo ultraterorismus, představující nejmodernější hrozbu terorismu pro 21. století, je často v literatuře označován jako terorismus s použitím zbraní hromadného ničení. CBRN terorismus je široký pojem s rozsáhlejšími možnostmi forem a prostředků, nelze jej zužovat na terorismus s použitím ZHN. Nejedná se pouze o použití zbraní, které byly vyvinuty pro vedení válek a ozbrojených konfliktů standardními vojenskými silami, v širším spektru se jedná o použití chemických, biologických, radiologických a jaderných výbušných materiálů a prostředků z civilních infrastruktur. [4]

V případě chemického terorismu se může jednat o zneužití existujících chemických zbraní, vlastní výrobu bojových chemických látek, zneužití běžně průmyslově vyráběných toxických chemických látek a útoky na chemická a petrochemická zařízení. Pro účely chemického terorismu může být použita jakákoliv toxická chemická látka, která není předmětem žádného kontrolního režimu. Vážné nebezpečí představují konvenční teroristické útoky na petrochemická a chemická zařízení, na zásobníky chemických látek, přepravovaných ve velkých množstvích po vodě, pozemních komunikacích i po železnici. Zvláště tato forma teroristického útoku může být pro některé teroristické organizace velice atraktivní i s přihlédnutím ke způsobeným materiálními škodám.

Jako u chemického terorismu jsou zdroje biologického terorismu bakteriologické a toxinové zbraně, vlastní výroba biologických agens a toxinů, zneužití vysoce infekčních materiálů a útoky na biologická zařízení. I když postupy pro biologickou výrobu jsou dnes široce dostupné na internetu, převažují názory expertů, že dokonce výroba i nejprimitivnějšího biologického agens a především následně jeho úprava do formy biologické zbraně, vyžadují vědecké znalosti, potřebné technologie, odpovídající kvalifikaci a výcvik personálu.

V rámci radiologického terorismu se předpokládá použití zkompletovaných radiologických zbraní, zkonstruování jednoduchého prostředku pro rozptýlení radioaktivního materiálu pro kontaminaci území nebo útok na jaderná zařízení. Rozptýlené radioaktivní látky mohou snadno vyvolat nebezpečnou a dlouhodobou kontaminaci objektů a půdy, zvláště v městském prostředí, a především vyvolat obrovskou paniku mezi civilním obyvatelstvem. [3]

## 3 DĚLENÍ UAV

Původní účel UAV spočíval v jejich využití armádou k leteckým průzkumům bez ohrožení života a zdraví pilotů a personálu pilotovaného letadla. Později byly vyzbrojeny zbraněmi pro bojové mise a eliminace vojenských cílů. Tyto stroje jsou označovány rozšířeným termínemUCAV (z anglického Unmanned Combat Aerial Vehicle). [5]

S vývojem UAV se snižovaly náklady na výrobu, díky čemuž pronikly i do civilního sektoru, kde jsou využívány především uživateli k rekreačnímu létání. UAV, primárně multikoptéry, se hojně využívají k focení a natáčení. Využívají se také ke komerčnímu užití jako je natáčení filmových záběrů, kulturních akcí, sportovních utkání, dokumentace architektury a budov, mapování terénu či rozvozu zásilek. V poslední době se často využívají v technických oborech, např. ke kontrole technických sítí, vodovodů a ropovodů, nebo kontrole stavu budov a památek.

V současnosti je na trhu velké množství druhů UAV a dají se klasifikovat dle mnoha hledisek a parametrů. Za hlavní se dá považovat rozdělení dle účelu, a to na vojenské a nevojenské. UAV dále můžeme rozdělit podle pohonné jednotky na bezmotorové a motorové. V ČR jsou UAV rozděleny v Předpisu L 2 - Pravidla létání Doplňku X podle hmotnosti, požití a způsobu provozování. [6] [7]

### 3.1 Dělení dle účelu použití

#### Vojenské

- průzkum a sledování,
- transport,
- bojová činnost.

#### Nevojenské

##### Civilní

- rekreace,
- sport,
- komerční užití.

##### Státní

- potřeby IZS,
- ostatní státní složky (CHMÚ, horská služba...).

## 3.2 Dělení dle Doplnku X - Bezpilotní systémy

V ČR je rozdělení bezpilotních letadel definováno v Doplnku X - Bepilotní systémy obsaženo v Předpisu L 2 - Pravidla létání, jejímž autorem je ÚCL. Doplněk X slouží především pro regulaci bezpilotních systémů a stanovuje pravidla a omezení provozu ve společném vzdušném prostoru. Tento doplněk detailně popisuje kapitola Legislativa v oblasti bezpilotních leteckých prostředků. V doplňku X se dělí bezpilotní letecké prostředky následovně:

### Dle maximální vzletové hmotnosti

- do 0,91 kg,
- 0,91 až 7 kg,
- 7 kg až 20 kg,
- nad 20 kg.

### Dle účelu použití

- rekreačně sportovní,
- výdělečné, experimentální, výzkumné,
- bezpilotní letadlo provozované mimo dohled pilota.

### Podle způsobu provozování

- provozované v dohledu pilota,
- provozované mimo dohled pilota. [7]

Každá kategorie má svá omezení a pravidla, která jsou popisována v Doplnku X.

### 3.3 Dělení dle pohonné jednotky

#### Bezmotorové

- vzducholod',
- větroň,
- balón,
- drak. [8]

#### Motorové

- Spalovací motor
  - vzducholod',
  - paraglider,
  - rogaló,
  - letadlo s fixním křídlem,
  - vrtulník.
- Elektrický motor
  - vzducholod',
  - letadlo s fixním křídlem,
  - vrtulník jednorotorový, dvourotorový (koaxiální),
  - multikoptéra. [8]
- Hybridní systémy

#### 3.3.1 Bezmotorové prostředky

Bezmotorové prostředky jsou nejjednodušší bezpilotní prostředky. Všechny bezmotorové prostředky mají své výhody, jako je nízká cena a poměrně jednoduchá manipulace, nízká hluchnost a velká výdrž, ale i nevýhody jako je absence motoru a s tím související pomocné a řídicí elektroniky a s tím jejich značná neovladatelnost a absolutní závislost na větru. Výjimkou je v tomto ohledu větroň. Oproti jiným bezmotorovým prostředkům se ovládá kormidly prostřednictvím RC soupravy. Všechny bezpilotní letecké prostředky jsou závislé na povětrnostních podmínkách, bezmotorové ovšem nejvíce.



### 3.3.2 Systémy se spalovacím motorem

Systémy se spalovacím motorem fungují podobně jako elektromotorové systémy, jejich hlavní výhoda spočívá ve větší výdrži letu a výrazně vyšší nosnosti, díky čemuž unese více výbavy, senzorů nebo nákladu. Tyto systémy není problém vybavit tak, aby disponovaly funkcí automatického letu. Další výhodou je, na rozdíl od elektromotorových systémů, možnost doplnit palivo a okamžitě znovu odletět.

Nevýhodou spalovacích motorů je především horší manévrovatelnost, vyšší hluk a náročnější údržba. Pořízení těchto systémů je také finančně náročnější. Mezi nejběžnější UAV se spalovacími motory patří především letadla a vrtulníky. [9]

### 3.3.3 Elektromotorové systémy

Elektromotorové systémy patří k nejrychleji se rozvíjejícím a nejčastěji používaným systémům pohonu UAV. Hlavně v civilní oblasti se velice rozšiřují multirotorové systémy. Díky jejich snadnému ovládání, spolehlivosti a možnosti vybavit je funkcí automatického letu, je nalezneme v oblasti médií, ve vědecké a technické činnosti, nebo jako prostředek zábavy.

Elektromotorové systémy používají stejnosměrný nebo střídavý elektromotor. Mezi nejdostupnější motorová UAV patří malá letadla a dnes velmi oblíbené multikoptéry, jako jsou kvadrokoptéry, hexakoptéry a oktokoptéry. Pro pohon těchto létajících koptér jsou použity extrémně výkonné stejnosměrné motory s důrazem na nízkou váhu a velikost, aby stroj dokázal létat a unesl sám sebe, včetně elektroniky motorů a baterií. Do této kategorie systémů dále patří vrtulníky a koaxiální vrtulníky, ale i např. vzducholodě. Hlavní nevýhodou těchto systémů je jejich krátká výdrž a dlouhá doba nabíjení baterií. [10]

## 4 VYBAVENÍ A FUNKCE UAV

První UAV patřily spíše do kategorie vznášedel na dálkové ovládání. Dnes jde o stroje, které jsou vybavené moderními technologiemi a systémy, jenž umí plnit nespočet funkcí, rozkazů i náročných úkolů. Toto vybavení a funkce se týkají především multikoptér, u kterých jsou z důvodu ovladatelnosti nezbytné. Pro účely práce bude multikoptéra označována dále jako dron.

### 4.1 GPS a GLONASS

Většina dronů k určování své polohy využívá americký systém GPS, což je vojenský globální družicový polohový systém provozovaný Ministerstvem obrany Spojených států amerických, s jehož pomocí je možno určit geografickou polohu přijímače nacházejícího se kdekoli na Zemi s přesností jednotek centimetrů. Zabudování antény signálu GPS a příslušných algoritmů jim umožňuje v každém okamžiku si uvědomovat svou polohu v prostoru, což velmi usnadňuje jeho ovládání. Bez zapnuté funkce GPS, zvláště v horších povětrnostních podmínkách, je obvykle hůře ovladatelný, zatímco s aktivní funkcí GPS se chová klidněji, protože příslušný program v řídicí jednotce pracuje, aby poloha podle signálů ze satelitů odpovídala signálu přicházející z vysílačky. Správně seřízený tak sám eliminuje vliv větru a další nahodilé faktory. Nové generace začínají používat také ruský systém určování polohy GLONASS, který ve spolupráci s GPS zajišťuje přesnější data. Díky těmto systémům lze využívat další funkce jako např. Návrat domů nebo Plánovaný let. [11] [12]

## 4.2 Gyroskop a akcelerometr

Gyroskop je zařízení, které se používá hlavně v navigaci a obsahuje setrvačnick, který zachovává polohu osy své rotace. Můžeme tedy díky němu poznat, jaká je poloha vůči ploše Země. Akcelerometr je pak zařízení, které měří gravitační zrychlení a můžeme s ním měřit náklon či vibrace. Tyto dvě zařízení mají zásadní význam pro letové schopnosti. Díky informacím z gyroskopu a akcelerometru a propojením s ostatními systémy je schopen dron zůstat na místě i při silnějším větru, vyrovnávat odchylky a provádět složitější manévrování při letu. Gyroskop a akcelerometr zaručují stabilizaci stroje, např. při autonomní režimu letu, pořizování záběrů z kamer a fotoaparátů, mapování ploch pomocí 3D senzorů nebo při přistávání. [13]

## 4.3 Měření výšky nad terénem

Drony využívají k měření výšky nad terénem nejčastěji elektronický barometrický výškoměr, protože systém GPS neumožňuje přesné měření. Pro měření se dále používají infračervené, laserové optosenzory, ultrazvukové senzory nebo kamery. Tyto senzory umožňují se orientovat v prostoru a díky softwaru využívat funkce jako stání na místě, automatické přistání či vyhýbání se překážkám. [11] [14]

## 4.4 Digitální kompas

Pomocí digitálního kompasu (jinak také magnetometr) je dron schopen určit směr kterým letí, toho využívá především k navigování pomocí GPS a k určení směru polohy přední části. Pro správnou funkci, je nutné před startem stroj kalibrovat, protože bez kalibrace se může ve vzduchu chovat nevyzpytatelně. [11]

## **4.5 Funkce návrat domů a automatické přistání**

V modelech vyšších kategorií je GPS a GLONASS obvykle doplněno dalšími senzory, nejčastěji barometrickým výškoměrem, senzory vzdáleností a magnetometrem (elektronickým kompasem). To dohromady umožňuje vrátit se na své původní místo vzletu. V nutnosti i přistát, např. když dojde k přerušení signálu mezi ovladačem a dronem či když stav baterie je na příliš nízké úrovni. Pokud ztratí signál s družicí, obvykle zůstane na místě a čeká na příkaz pilota. Pokud nemá spojení s ovladačem, provede bezpečné přistání na místě. [15]

## **4.6 Záznam a přenos videa**

Dnešní modely jsou často vybaveny digitální kamerou či fotoaparátem, které nabízejí vysílání přímého přenosu obrazu a záznamu z přístroje do připojeného zařízení, ať už se jedná o chytrý telefon, tablet, přenosné počítače nebo speciální 3D brýle. Upevnění kamery může být pevné, to znamená, že kamera je součástí konstrukce a není možno s ní pohybovat samostatně, nebo pohyblivé pomocí nezávislého držáku (gimbalu), který lze samostatně dálkově ovládat kameru. V praxi je běžná dvojí obsluha, pilot a kameraman. Díky tomuto řešení se může pilot plně věnovat řízení a kameraman snímat díky nezávislému držáku a přímému přenosu videa nejlepší záběry. Kamery, které jsou připevněny na těchto dronech, nabízejí funkce jako stabilizace obrazu či detailní záznam. Spolu se systémy plánovaného letu a sledování jsou využívány především ve filmovém průmyslu. [16]

## **4.7 Funkce určení stálé pozice a plánovaného letu**

K dalším obvyklým funkcím souvisejícím s GPS je schopnost udržování stálé výšky a pozice a funkce plánovaného letu. U těchto funkcí lze nastavit záchytné body přes ovládací zařízení (chytrý mobil, tablet apod.), které mají udržovat stroj v požadované pozici nebo určovat odkud a kam má letět. Nastavit lze i požadovanou výšku letu. Přes silný vítr je schopen využívat informace o své pozici a upravovat nastavení rotorů tak, aby stále zůstal na daných souřadnicích a výšce. Toho se využívá hlavně při sledování určitého místa ze vzduchu nebo při použití jako létajícího stativu a ovládání kamery, bez nutnosti zabývat se ovládáním. Dron dokáže létat v režimu plánovaného letu bez nutnosti přijímat signál GPS. Řídí se za pomoci záznamu letu, digitálního kompasu a gyroskopu, ale tento režim je značně nespolehlivý z důvodu závislosti na povětrnostních podmínkách. [11] [17]

## **4.8 Funkce vyhnutí se překážkám**

Funkce vyhnutí se překážkám se začíná objevovat u novějších modelů. Zajišťuje, aby stroj nenarazil do jakékoli překážky, např. při plánovaném letu nebo následování. Senzory, nejčastěji kamery a ultrazvukové senzory, poskytují palubnímu počítači vizuální data o okolí a překážkách před ním. Dokáže tak sám vnímat své okolí a nespolehá jen na řídicí pokyny obsluhy ze země. Pokud ve standardním režimu letu dorazí k překážce, zastaví se a vyhne se překážce nebo bezpečně přistane. [18]

## **4.9 Funkce sledování**

Funkce sledování je systém, který dokáže kroužit kolem osoby s vysílačkou nebo ji všude následovat a filmovat. Dron je vybaven systémem, který po vzletu zaměří uživatelskou pozici a po celou dobu letu se drží v dané vzdálenosti a výšce s kamerou namířenou na něj.

Princip je založen na malém zařízení s GPS, které má uživatel neustále u sebe. Stroj pak přijímá signál a podle toho od něj dokáže udržovat správný odstup, výšku a natočení kamery. Tato funkce se nejčastěji používá pro natáčení sportovních aktivit. [19]

## **4.10 Ovládání hlasem**

Funkce ovládání hlasem je dnes běžná např. u chytrých telefonů, v domácnostech nebo navigacích. Tato funkce se dostává i do nejnovějších modelů, kdy za pomoci jednoduchých příkazů lze dron ovládat. Ovládání hlasem se hodí především, když se pilot věnuje např. natáčení a samotný let ovládá slovními příkazy. Nevýhoda tohoto systému spočívá v samotném rozpoznávání příkazů, ve velkém hluku nemusí na příkaz reagovat. [20]

## **4.11 Umělá inteligence**

Velmi obecně lze umělou inteligenci definovat jako schopnost inteligentního chování stroje nebo programu. Umělá inteligence generuje znalosti, jež umožňuje zařízení v jakékoli podobě zcela nezávislé chování. V současnosti ve světě funguje řada aplikací umělé inteligence, zatím jde převážně o jednoúčelové systémy, které člověka překonávají především rychlostí a schopností pracovat s obrovskými objemy dat. V dnešní době se umělá inteligence uplatňuje v mnoha oborech, přes obranu až po domácí spotřebiče.

U dronů se umělá inteligence se projevuje především ve schopnosti reagovat na daná pravidla, která jsou udělena a schopnost reagovat a rozpoznávat své okolí. S rozvojem výkonnějších technologií dokáží spolupracovat a létat v rojích. Díky umělé inteligenci jsou schopné rozpoznávat překážky, nebo i osoby, zvířata a rostliny, což je důležité např. pro vědeckou činnost nebo pro ochranu území. Umělá inteligence se může uplatnit v budoucnosti např. k autonomnímu mapování území, k ochraně hranic, k vyhledávání osob nebo jako nástroj ochrany přírody. [21] [22]

## 5 LEGISLATIVA

V ČR má na starost regulaci provozu bezpilotních letadel ÚCL. Samotný provoz je legislativně uveden v Zákoně o civilním letectví, zejména leteckým Předpisem L2 a jeho Doplnkem X – Bepilotní systémy Mezinárodní organizace pro civilní letectví. Tento předpis určuje pravidla pro provoz bezpilotních letounů. Bepilotní systém musí dle předpisu L2 splňovat podmínky jeho doplňku X. Tento doplněk se věnuje konkrétně bezpilotním letadlům a pravidlům, kterými se musí pilot bezpilotního letadla při provozu řídit. [7]

### 5.1 Doplněk X

Doplněk X obsahuje těchto 17 ustanovení:

1. Definice
2. Rozsah působnosti
3. Bezpečnost
4. Dohled pilota
5. Odpovědnost
6. Ukončení letu
7. Prostory
8. Ochranná pásma
9. Meteorologická minima
10. Nebezpečný náklad
11. Shazování nákladu
12. Pohyb pilota
13. Letecká veřejná vystoupení
14. Ostatní legislativa
15. Pohon
16. Další podmínky pro provoz bezpilotního letadla
17. Hlášení událostí

### 5.1.1 Definice

V tomto ustanovení jsou popsány 4 kategorie letadel podle doplňku X. jsou definovány následovně:

- **Autonomní letadlo** - jedná se o bezpilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení letu.
- **Bezpilotní letadlo (UA)** - je letadlo určené k provozu bez pilota na palubě. Pro účely tohoto doplňku se bezpilotním letadlem rozumí všechna bezpilotní letadla kromě modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 20 kg.
- **Bezpilotní systém (UAS)** - je systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako např. komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat.
- **Model letadla** - jedná se o letadlo, které není schopné nést člověka na palubě, je používáno 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 nebo které, v případě dálkově řízeného modelu, je po celou dobu letu pomocí vysílače přímo řízené pilotem v jeho vizuálním dohledu.



### **5.1.2 Rozsah působnosti**

Toto ustanovení stanovuje závazné národní požadavky na projektování, výrobu, údržbu, změny a provoz bezpilotních systémů splňujících kritéria přílohy II nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008 v platném znění a je doporučeným postupem pro provoz modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 20 kg. Maximální vzletovou hmotností bezpilotního letadla nebo modelu letadla se rozumí hmotnost včetně vybavení, provozních náplní, paliva a případného nákladu před zahájením vzletu nebo maximální vzletová hmotnost bezpilotního letadla schválená v rámci povolení k létání vydaného ÚCL, bylo-li toto povolení vydáno.

### **5.1.3 Bezpečnost**

Ustanovení určuje, že let bezpilotního letadla smí být prováděn jen takovým způsobem, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti létání ve vzdušném prostoru, osob a majetku na zemi a životního prostředí. Je zakázáno ohrožení bezpečnosti létání ve vzdušném prostoru, toto se neuplatňuje vzájemně mezi modely letadel za předpokladu předchozí dohody zúčastněných pilotů a osob a přijetí přiměřených opatření proti ohrožení bezpečnosti ostatního letového provozu a na ochranu osob a majetku na zemi.

### **5.1.4 Dohled pilota**

Bezpilotní letadlo podle tohoto ustanovení musí být provozováno v přímém dohledu pilota, pokud ÚCL nepovolí jinak, tj. takovým způsobem a do takové vzdálenosti, aby:

- a) pilot během pojiždění a letu mohl udržovat trvalý vizuální kontakt s bezpilotním letadlem i bez vizuálních pomůcek jiných než brýle a kontaktní čočky na lékařský předpis,
- b) pilot nebo poučená osoba mohl sledovat a vyhodnocovat dohlednost, překážky a okolní letový provoz.

### **5.1.5 Odpovědnost**

Ustanovení o odpovědnosti určuje, že za provedení bezpečného letu včetně předletové přípravy a kontroly, je odpovědná osoba řídící dálkově bezpilotní letadlo (bez ohledu na úroveň automatizace systému řízení letu). V případě modelu letadla s maximální vzletovou hmotností do 20 kg, který není dálkově říditelný, je to osoba, která jej vypustila do vzdušného prostoru.

Dále je zde uvedena odpovědnost pilota a vlastníka letadla. Pilot odpovídá za to, že bezpilotní systém bude používán pouze k účelu, ke kterému byl navržen a vyroben nebo k němuž byl schválen ÚCL a bude provozovat pouze bezpilotní systém, jehož způsob použití a technické parametry jsou v souladu s požadavky, které tento doplněk obsahuje, nestanoví-li ÚCL jinak. Pilot dále musí zaznamenávat informace o letu do deníku letadla nebo rovnocenného dokumentu. Informace musí obsahovat datum letu, jméno pilota, označení letadla, místa vzletu a přistání, dobu letu a celkovou dobu letu, druh letové činnosti a potenciální události související s bezpečností letu. Řízení bezpilotního letadla, jehož pilot podléhá evidenci ÚCL, nesmí být předáno osobě, která není evidována ÚCL.

Vlastník nebo provozovatel je odpovědný za zachování letové způsobilosti bezpilotního systému a zároveň vlastník nebo pilot musí na žádost ÚCL umožnit provedení kontroly provozu a letové způsobilosti bezpilotního systému v rozsahu požadavku ÚCL.

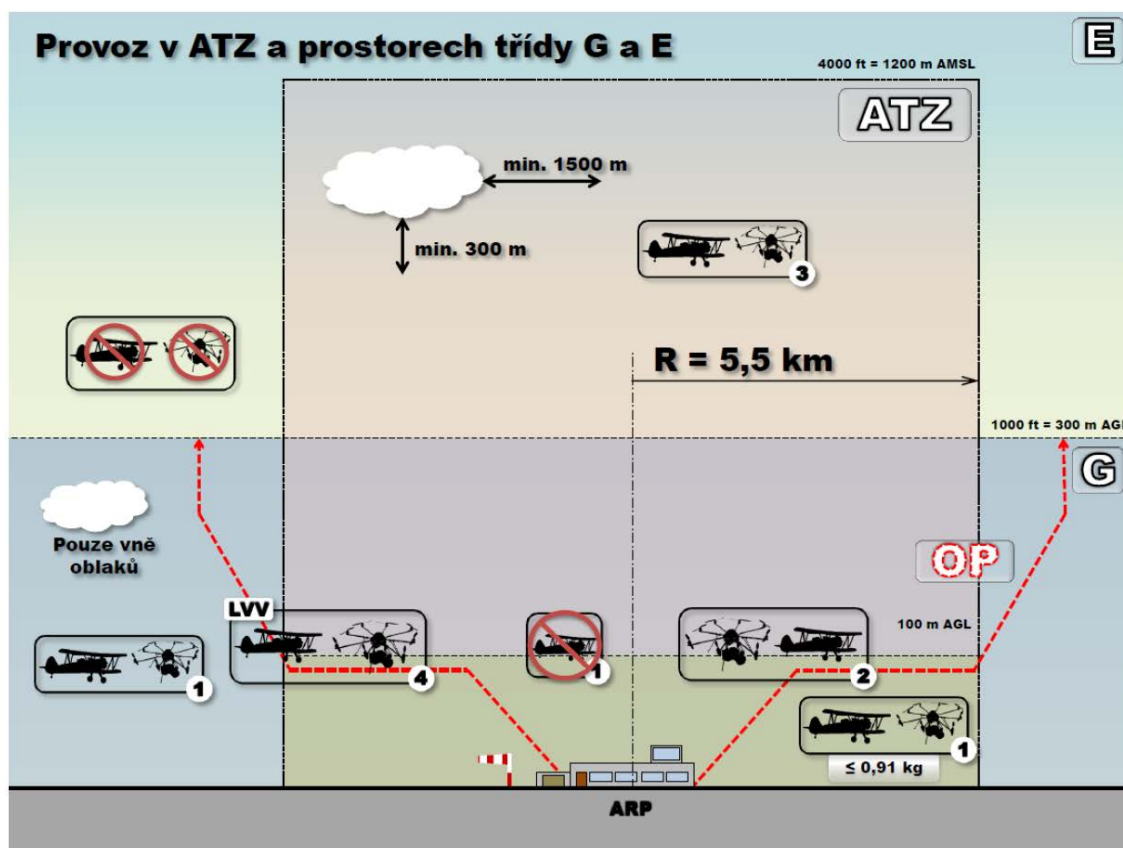
### **5.1.6 Ukončení letu**

Bezpilotní letadlo musí a model letadla s maximální vzletovou hmotností 0,91 kg až 20 kg by měl pilotovi umožnit zasáhnout do průběhu letu nebo let ukončit za okolností, které by mohly vést k ohrožení dle ustanovení o bezpečnosti. Pilot modelu letadla s maximální vzletovou hmotností menší než 0,91 kg, které není dálkově říditelné, by měl provést předletovou přípravu k zajištění bezpečného letu, spočívající zejména ve zhodnocení místních podmínek a v nastavení odpovídajícího charakteru a doby letu.

Bezpilotní letadlo s maximální vzletovou hmotností větší než 0,91 kg musí být vybaveno vestavěným bezpečnostním systémem, který při poruše provede ukončení letu. Použití automatických systémů řízení letu nezabavuje pilota odpovědnosti za bezpečné provedení celého letu.

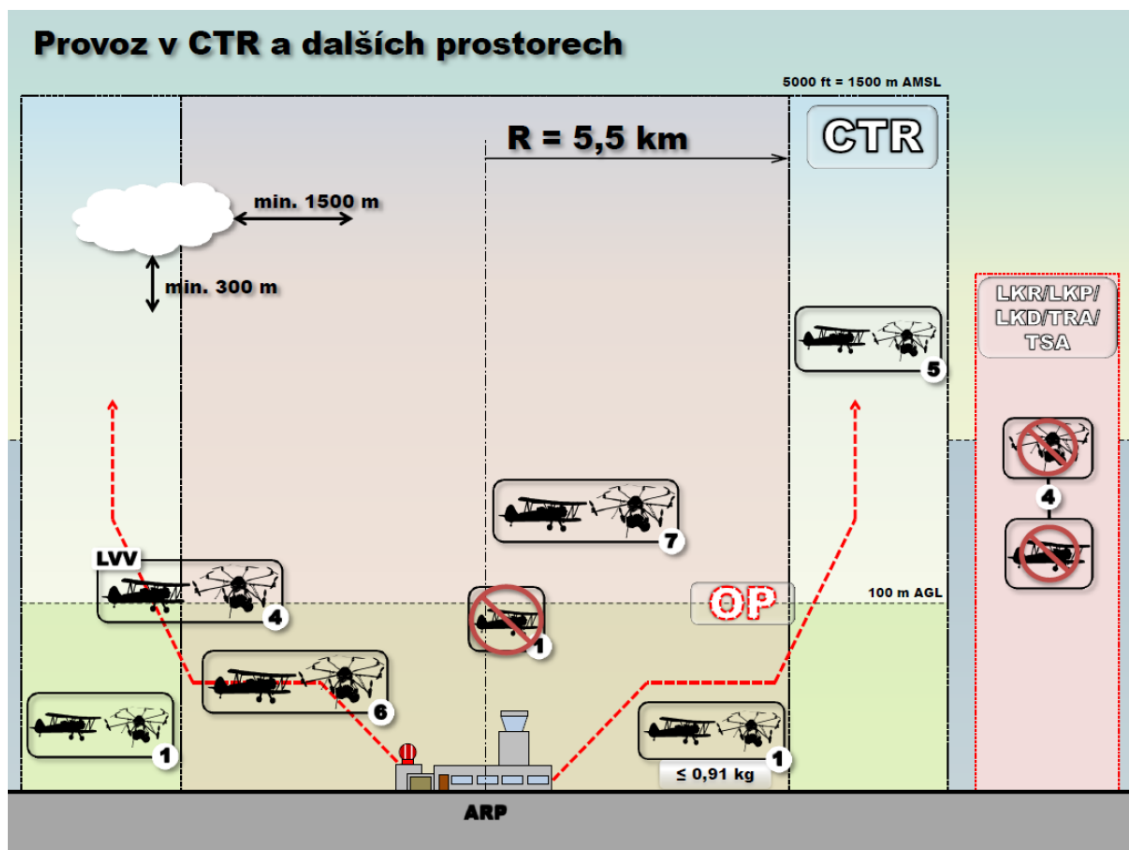
### 5.1.7 Prostory

Nepovolí-li ÚCL jinak, smí být let bezpilotního letadla nebo modelu letadla prováděn jen ve vzdušném prostoru třídy G, v letištní provozní zóně (ATZ) neřízeného letiště na základě splnění podmínek stanovených provozovatelem letiště a na základě koordinace s letištní letovou informační službou (viz Obrázek 1).



Obrázek 1- Provoz bezpilotního letadla v ATZ a prostorech třídy G a E [7]

Let bezpilotního letadla nebo modelu letadla smí být dále prováděn v řízeném okrsku (CTR a MCTR) letiště do výšky 100 m nad zemí, s výjimkou povolení příslušného stanoviště řízení letového provozu a v horizontální vzdálenosti větší než 5 500 m od vztažného bodu řízeného letiště (viz Obrázek 2).



Obrázek 2 - Provoz bezpilotního letadla v CTR a dalších prostorech [7]

Let bezpilotního letadla nebo modelu letadla s maximální vzletovou hmotností do 0,91 kg může být prováděn v letištní provozní zóně (ATZ) i v řízeném okrsku bez koordinace i v menší vzdálenosti od letiště, avšak pouze do výšky 100 m nad zemí a mimo ochranná pásma daného letiště.

Provoz bezpilotního letadla nebo modelu letadla nesmí být prováděn v zakázaných, nebezpečných a jiným uživatelem aktivovaných omezených, rezervovaných a vyhrazených prostorech s výjimkou, kdy tak povolí ÚCL.

### **5.1.8 Ochranná pásma**

Podle tohoto ustanovení se let bezpilotního letadla nesmí provádět v ochranných pásmech stanovených příslušnými právními předpisy podél nadzemních dopravních staveb, tras nadzemních inženýrských sítí, tras nadzemních telekomunikačních sítí, uvnitř zvláště chráněných území, v okolí vodních zdrojů a objektů důležitých pro obranu státu. Výjimkou je povolení ÚCL na základě předchozího souhlasu příslušného správního orgánu či oprávněné osoby. Nad těmito ochrannými pásmy smí být let prováděn pouze způsobem vylučujícím jejich narušení za běžných i mimořádných okolností.

### **5.1.9 Meteorologická minima**

Let bezpilotního letadla smí být ve vzdušném prostoru třídy G prováděn jen vně oblaků a ve vzdušném prostoru jiné třídy jen v minimální vzdálenosti od oblaků 1 500 m horizontálně a 300 m vertikálně.

### **5.1.10 Nebezpečný náklad**

Bezpilotní letadlo nesmí být použito k přepravě nebezpečných látek nebo zařízení, která by mohla způsobit obecné ohrožení mimo provozních náplní v množství přiměřeném účelu letu.

### **5.1.11 Shazování nákladu**

Bezpilotní letadlo nesmí být použito ke shazování předmětů za letu, kromě leteckých veřejných vystoupení a soutěží, včetně příprav na ně, jsou-li přijata přiměřená opatření proti ohrožení dle ustanovení o bezpečnosti.

### **5.1.12 Pohyb pilota**

Bezpilotní letadlo nesmí být bez povolení ÚCL provozováno při současném pohybu pilota pomocí technického zařízení.

### **5.1.13 Letecká veřejná vystoupení**

Letecká veřejná vystoupení bezpilotních letadel podléhají souhlasu ÚCL. Požadavky na provozování vystoupení s výhradní účastí bezpilotních letadel, včetně modelů letadel s maximální vzletovou hmotností větší než 20 kg, stanovuje směrnice ÚCL.

### **5.1.14 Ostatní legislativa**

Provoz bezpilotního letadla musí být v souladu s platnými právními předpisy, jako jsou zákon o nakládání s bezpečnostním materiálem, zákon o ochraně veřejného zdraví nebo zákon o chemických látkách a chemických přípravcích. Dále se musí řídit stanovisky Úřadu pro ochranu osobních údajů.

### **5.1.15 Pohon**

Ustanovení o pohonu určuje, že k provozu bezpilotního letadla nesmí být použit pulzační nebo raketový motor, s výjimkou použití raketového pohonu pouze za účelem provedení vzletu.

## 5.1.16 Další podmínky pro provoz bezpilotního letadla

Předpis určuje další podmínky, které musí být dodrženy při provozu bezpilotního letadla. Tyto podmínky jsou uvedené níže v Tabulce 1.

Tabulka 1 - Další podmínky, které musí být dodrženy při provozu bezpilotního letadla

Tabulka 1 (viz ust. 16)										
ř.	maximální vzletová hmotnost	≤ 0,91 kg		> 0,91 kg a < 7 kg		7 – 20 kg		> 20 kg		bezpilotní letadlo provozované mimo dohled pilota
-	účel použití ----- požadavek	rekreačně sportovní	výdělečné, experimentální, výzkumné	rekreačně sportovní	výdělečné, experimentální, výzkumné	rekreačně sportovní	výdělečné, experimentální, výzkumné	rekreačně sportovní	výdělečné, experimentální, výzkumné	
1	evidence letadla	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
2	evidence pilota	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
3	praktický a teoretický test pilota	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
4	povolení k létání	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
5	povolení k provádění LP a LČPVP	nelze	ano	nelze	ano	nelze	ano	nelze	ano	nelze
6	označení UA: ID štítek / ID štítek + pozn. značka	ne / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ano
7	min. ve vzdálenosti (m): vzlet, přistání / osoby, stavby / osídlený prostor	bezpečná	bezpečná	bezpečná	bezpečná	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150
8	pojištění: běžný provoz / LVV (mil. Kč)	ne / 0,25	dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>	ne / 1	dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>	ne / 3	dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>	dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>	dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>	dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>
9	dozor	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	ano	ne
10	„failsafe“ systém	ne	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
11	provozní příručka UAS	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ne
12	hlášení událostí	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano

<sup>1</sup> Nař. č. 785/2004 označuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 785/2004 o pojištění provozovatelů letadel

### **5.1.17 Hlášení událostí**

Povinnost hlásit události spojené s bezpilotním letadlem se vztahuje na všechna bezpilotní letadla se schválenou konstrukcí nebo letadla s provozním povolením. Za události se považují letecká nehoda, incident nebo vážný incident, což definuje letecký předpis L 13, stejně tak jako způsob hlášení událostí. [7]



## 6 MOŽNOSTI NEZÁKONNÉHO POUŽITÍ

Se zvyšujícím se počtem dronů přibývá také případů, kdy jsou využívány k protiprávním činnostem. Dnes jsou velice dobře dostupné, snadno ovladatelné a dobře vybavitelné. S tím souvisí jejich rizika zneužití. Drony jsou nejčastěji zneužívány k narušování soukromí, ale také např. ke špionáži, pašování, distribuci drog a bohužel i k teroristickým útokům.

### 6.1 Narušování soukromí a špionáž

Nejběžnější oblastí zneužívání bezpilotních prostředků je ochrana soukromí, které dokáže narušit s naprostou lehkostí a nenápadností. Dron je velmi efektivní nosič záznamové techniky a umožňuje snímání z ptačí perspektivy. Dokáže nést vybavení jako videokamery či mikrofony. Riziko zneužití těchto zařízení ke špionáži, krádežím či stalkingu je zřejmé. Pachatelé si mohou s jejich pomocí vytipovat budovu, ověřit její zabezpečení a posléze objekt vykrást. Dron nás může odposlouchávat pomocí citlivých směrových mikrofonů. Díky své malé velikosti, kdy se některé vejdu i do dlaně, nám může vletět do pokoje, všechno monitorovat a zaznamenat. Pachatelé mohou pořídit snímky, kterými budou oběť následně vybírat. Dále mohou být použity k průmyslové nebo státní špionáži. Dopadení pachatelů je problematické, pilot může stát stovky metrů daleko nebo trasu naprogramovat a nebýt přítomen vůbec v dohledu dronu. [23]

Narušování soukromí je problematické i při rekreačním létání. Podle stanoviska Úřadu pro ochranu osobních údajů je prostřednictvím kamerových zařízení umístěných na bezpilotních letadlech možné systematicky zachycovat a dále zpracovávat záběry identifikovaných nebo identifikovatelných fyzických osob, a to včetně ryze soukromého prostředí, ve kterém se tyto osoby pohybují nebo které obývají. Lze tak poměrně jednoduchou cestou získat osobní údaje z prostředí, které by jinak bylo velmi obtížně dostupné, čímž může docházet k porušování soukromí a neoprávněnému shromažďování osobních údajů. Porušováním soukromí se zabývá občanský zákoník, shromažďováním osobních údajů pak zákon o ochraně osobních údajů, přičemž není možné provoz bezpilotních letadel sám o sobě považovat automaticky za záležitost, kterou by se zmíněná legislativa zabývala.

Zákon o ochraně osobních údajů nebude aplikovatelný, pokud nedojde k cílenému pořizování záběrů identifikovaných nebo identifikovatelných fyzických osob a půjde např. o sledování krajiny, zemědělských nebo průmyslových prostor či pohybu zvěře. Zákon se nepoužije ani v případě, že kamery budou pouze přenášet záběry osob, aniž by došlo k pořízení záznamu.

Provozovatel bezpilotního letadla vybaveného kamerovým zařízením se záznamem nesmí pořizovat záběry ryze soukromých aktivit, zejména v rámci obydlí a přilehlých prostor a záběry, jimiž by primárně byla snižována lidská důstojnost. Při pořizování záběrů musí jít buď o plnění úkolů uložených zákonem, ochranu vlastních práv nebo životních zájmů ostatních, nebo musí existovat souhlas těch, kteří se na záznamu objeví, a to ještě před začátkem natáčení. [24]

## **6.2 Pašeráctví a distribuce drog**

Využití dronů k dopravě drog a jiného nelegálního zboží je velice oblíbené u pašeráckých organizací. Největší provoz takových zásilek je nad americko-mexickou hranicí. Americká DEA (Drug Enforcement Agency) uvádí, že jsou tak populární metodou přepravy drog, že vede gangy k vývoji vlastních pokročilých modelů se zvýšenou nosností. Jeden z pašeráckých strojů, které se podařilo zadržet, byl nalezen s více než 3 kg metamfetaminu. V roce 2015 DEA zadržela přes 150 dronů přepravujících drogy, převážně se jednalo o havarované stroje. Dalším významným uživatelem pašování drog ve světě je japonská Yakuza. Yakuza stejně jako na americko-mexických hranicích vyvíjí vlastní pokročilé modely nejen k pašování drog, ale také proti jejich likvidaci. [23]

Drony lze použít i k pašování jiného zboží, jako např. cigaret či zbraní. Pašování cigaret se objevilo na hranicích v Zakarpatsku na západě Ukrajiny, kde slouží k pašování neokolkovaných cigaret ukrajinské nebo ruské výroby směrem na západ. Pašují se však i cigarety z jiných východoevropských zemí. Stroj během jednoho letu dokáže přepravit 10 až 15 kartonů cigaret. [25]

Bezpilotní letouny mohou dále poměrně snadno pašovat náklad za zdi vězeňského dvora, a dokonce až k mřížím vězeňských oken. V roce 2015 policie v americkém Marylandu zatkla dvojici pašeráků, kteří pašovali do vězení velké množství zbraní, drog a porna. Pašování probíhalo vždy za soumraku. Podezřelá dvojice počkala na dobu vycházek a potom vylétla nad dvůr, kam následně spustila balíček. Ten už samotní vězni očekávali, věci si mezi sebe rozebrali a v klidu si je přinesli do cel. [26]

### **6.3 Hackování**

Hacking je činnost spočívající v hledání a využívání bezpečnostních děr v počítačových systémech. Pro hackování některých systémů je potřeba přístup, ať fyzický nebo např. přes bezdrátový přenos dat. Dron může nést mobilní telefon nebo jiné zařízení, které obsahuje aplikace k hackování přístrojů. Aplikace tak detekuje nezabezpečené Wi-Fi zařízení a využije ho, aby zřídila falešný přístupový bod, který napodobuje a zachytí data určené pro reálné zařízení. Toho se dá využít u výškových budov a objektů, kde neexistuje fyzický přístup. Může tak snadno dostat zařízení na potřebné místo. Poté je zahájení útoku mnohem snazší. [27]

V roce 2014 se podařilo ve spojených státech bezpečnostnímu expertovi Cesaru Cerrudovi pomocí bezpilotního letounu nabourat dopravní semaforey na vzdálenost 200 m. Použil přitom komerčně dostupný model a hardwarové vybavení v ceně do 100 dolarů. [28]

Problém je i v samotném hackování stroje. Ovládnout cizí dálkově řízené bezpilotní letouny, udělat z nich letku nebo je poslat na určený cíl či k zemi, není příliš složité. Na internetu lze nalézt návody a software k dálkovému ovládnutí. Takový software vyhledává bezdrátové spojení okolních strojů, nabourává jejich komunikaci a přebírá nad takto napadeným dronem kontrolu včetně jeho kamerového systému. [29]

## 6.4 Terorismus

Terorismus je jedna z nejnebezpečnějších forem zneužití dronů. Díky snadné dostupnosti, malým nákladům, snadné ovladatelnosti a možnosti nést různé věci, jsou ideálním prostředkem, kterým lze provést teroristický útok, aniž by byl ohrožen samotný pilot. Na stroj lze jednoduše umístit např. výbušniny, střelné zbraně nebo chemické, biologické a radiologické zbraně. Bezpilotní letouny mohou být nebezpečné sami o sobě. S hmotností přesahující několik kilogramů a vrtulím, které jsou z pravidla velmi ostré, může vážně zranit nebo usmrtit člověka, ať už při pádu z výšky nebo rychlým nárazem do osoby.

Že se jedná o závažnou hrozbu, dokazuje několik případů přímého či nepřímého ohrožení osob či objektů. V dubnu 2014 při triatlonovém závodu v Austrálii byl zraněn účastník závodu. Pilot údajně ztratil kontrolu nad dronem, ten následně po pádu nešťastně zasáhl právě probíhajícího běžce. Majitel posléze prohlásil, že stroj havaroval, protože nad ním neznámý útočník získal kontrolu. [30]

Samotný dron může být nebezpečný i pro leteckou dopravu. Malý bezpilotní letoun, se v Německu v létě 2016 málem srazil s dopravním letadlem, na jehož palubě bylo 114 lidí. Ve výšce 1700 m se stroj ocitl jen asi 10 m od Airbusu A321, který se právě chystal na přistání v bavorské metropoli v Mnichově. Pokud by se s letounem střetl, byla by podle tamní policie vážně ohrožena bezpečnost lidí na palubě airbusu. Problém je, že drony jsou příliš malé, aby je zachytil letištní radar. V případě že by se při letu dostal do motoru letadla, mohlo by to vést až k jeho pádu. [31]

V říjnu 2014 bylo zaznamenáno několik přeletů celkem nad sedmi francouzskými jadernými elektrárnami. V těchto případech nedošlo k žádnému vážnému ohrožení bezpečnosti elektráren. V případě osazení bezpilotní letounu výbušninou, ať jako přímý útok nebo jako donáška pachateli uvnitř elektrárny, by byly případné následky nesmírné. [32]

Velkým nebezpečím se stává právě hrozba útoku dronu s výbušným zařízením. Průkopníkem v těchto útocích se stal Islámský stát, který začal tuto taktiku využívat v Iráku a Sýrii. Jedním z prvních zaznamenaných případů byl útok na kurdské milicionáře na severu Iráku. Kurdští bojovníci, kteří ho pokládali za jeden z desítek dálkově řízených miniaturních letounů, které islamisté běžně využívají k průzkumu oblasti, dron sestřelili. Když chtěli stroj prohlédnout, vybuchl jim pod rukama. Relativně malá nálož zamaskovaná jako baterie, zabila dva kurdské milicionáře a dva francouzští příslušníci zvláštních jednotek byli těžce zraněni. Džihádistická tisková agentura Amaq vypustila na konci února 2017 video dokazující, že radikálové se v této disciplíně značně zdokonalili. Přesným zásahem dokáží zničit i pancéřované vozidlo irácké armády. [33] [34]

Islámský stát na počátku roku 2017 oznámil, že zakládá zvláštní jednotku pojmenovanou „Bezpilotní letectvo mudžahedínů“. Pro džihádisty jsou útoky relativně levné a často používají čínské kvadrokoptéry, které se dají pořídit v přepočtu od 12 000 Kč. V poslední době však nasadili i dražší a sofistikovanější stroje. Podle listu The New York Times často vypouštějí džihádisté tři až pět strojů najednou. Útoky si zatím vyžádaly relativně málo mrtvých, iráckým vojákům nahánějí hrůzu a je těžké proti nim účinně zasáhnout. V současné době panuje obava, zda se bezpilotní letouny v budoucnu nepoužijí k teroristickým útokům na civilní obyvatelstvo a objekty jako jsou elektrárny či chemické závody. [34]

Případ úspěšného útoku dronu s chemickými či biologickými zbraněmi dosud nebyl zaznamenán. Podobný útok ale plánovala v roce 1993 japonská sekta Óm šinrikjó. Za pomoci nervově paralytické látky sarin a dálkově ovládaného vrtulníku chtěla provést atentát na vůdce konkurenční náboženské organizace. Útok se nezdařil a pilot s modelem havaroval. [35] [36]

K případu s radioaktivním materiálem došlo v dubnu roku 2015. Na střeše úřadu japonského premiéra Šinzóa Abeho přistál bezpilotní letoun s výstražným symbolem označujícím radioaktivní materiál. Po jeho zajištění bylo prokázáno, že dron sice radioaktivní materiál obsahoval, nicméně zdroj radiace byl velice nízký a neohrožoval nikoho na zdraví. Pachatelem byl nezaměstnaný Jasuo Jamamoto, který se přihlásil po útoku sám na policii. Jamamoto svůj čin zdůvodnil odporem k jaderné energii. [37]

Umístění palných a jiných druhů zbraní na bezpilotní letoun není obtížné. Dokazují to videa Austina Haughwouta, který na stroj připevnil pistoli a plamenomet. Plamenomet začali používat i čínští technici k odstraňování odpadků a rostlin z elektrického vedení. Že jde na stroj umístit řada nebezpečných nástrojů, dokázali také finští nadšenci, kteří na dron umístili motorovou pilu. Policie v Severní Dakotě je od února 2016 oprávněna používat bezpilotní letouny vybavené tasery, slzným plynem, gumovými projektily a dalšími “ne smrtelnými” zbraněmi. Všechny tyto případy dokazují, že drony je možné osadit prakticky jakýmkoliv nebezpečným nástrojem, který je schopen unést. [38] [39] [40] [41]

Drony mohou sloužit jako účinná psychologická zbraň. Pokud vybavíme bezpilotní letoun pouze atrapou výbušného zařízení nebo rozprašovačem neškodné kapaliny, tak v případě přeletu takto upraveného stroje např. nad shromážděním velkého počtu osob, může vyvolat paniku a následné zranění nebo ušlapání osob.

## 7 ZPŮSOBY DETEKCE

Detekce dronů je klíčovou součástí pro zabránění jejich zneužití, samotná detekce je ovšem obtížná. Závisí na typu a parametrech bezpilotního letadla. Čím je stroj menší, tím je obtížnější ho detekovat. Pro úspěšnou detekci se využívá některé z jejich vlastností, jako jsou specifický zvuk, tvar nebo typ letu. Bepilotní letouny využívají několika systémů, které jsou závislé na vysílání a přijímání rádiových signálů, díky jejichž sledování lze stroj odhalit. Často jsou využívána kombinovaná řešení, která vyhodnocují jeho přítomnost na základě několika kritérií.

Detekce dále závisí na prostředí, ve kterém se bezpilotní letoun pohybuje. V prostoru se zástavbou je detekce mnohem obtížnější kvůli velkému množství objektů a zařízení, které může detekční systém vyhodnotit jako nebezpečný stroj. Na těchto místech navíc dochází k velké koncentraci lidí, proto vzniká riziko teroristického útoku. V případě otevřeného prostoru jako jsou okolí letišť, elektráren, muničních skladů nebo státních hranic, bude detekce jednodušší, protože v okolí není tolik rušivých vlivů, které ovlivňují detekci dronu.

### 7.1 Detekce radiolokátorem

Radiolokátor neboli radar je zkratkou slovního spojení Radio Detection and Ranging. Jde o metodu detekce a měření určitých parametrů. Základem jsou elektromagnetické vlny, které zařízení vysílá do prostoru. Podle způsobu jakým radiolokátor plní tyto funkce rozlišujeme radiolokátory aktivní, aktivní s aktivním odpovídačem, poloaktivní a pasivní. V případě aktivní radiolokace vysílač ozařuje objekty elektromagnetickou energií a přijímač zachycuje signál odražený od objektu. Sekundární radar pracuje s aktivním odpovídačem, který je umístěn na objektu. Kromě polohy letadla je tak možné získat další informace podle typu odpovědi. Poloaktivní radiolokátory se od aktivních liší v tom, že ozáření objektu a vyhodnocení odrazu se provádí na různých místech. Pasivní radiolokační systémy jsou převážně vojenskou záležitostí. Jedná se o zařízení, které pouze přijímají elektromagnetickou energii vyzařovanou letadly.

## 7.1.1 Aktivní radar

V případě aktivního radaru je princip takový, že vysílač ozařuje objekty elektromagnetickým vlněním, zatímco přijímač zachycuje vlny odražené od objektu. Aktivní radary se dělí na primární a sekundární.

### 7.1.1.1 Primární radar

Primární radar je aktivní radar. Vysílač vysílá mikrovlnnou energii ve formě impulzů nebo stálé vlny a v čase mimo vysílání přijímá odrazy od objektů (letadel, vzducholodí, mraků, apod.) jež se nacházejí ve směru kam je energie vysílána.

V případě, že nejsou vysílány impulsy, ale je vysílána stálá vlna, bývají anténní systémy pro vysílání a příjem zpravidla oddělené. Použití stálé vlny umožňuje precizní měření radiální rychlosti (rychlost objektu vůči vysílači) na základě Dopplerova jevu (změna vlnové délky v závislosti na rychlosti objektu a rychlosti šíření elektromagnetických vln v prostoru). Stejný efekt je využíván také u impulsních radarů pro rozlišení pohybujících se cílů. [42]

Problém s detekcí pomocí primárního radaru spočívá v tom, že malé komerční drony mají malou odraznou plochu a jsou vyrobeny převážně z plastových materiálů. Ty snižují odrazivost signálu z radaru, a proto je obtížné je s radarem zaznamenat. Pro detekci je také zásadní vlnová délka, na které radar vysílá. Při vysílání dlouhých vln může docházet k difrakci (vlna se kolem objektu ohýbá), naproti tomu při použití krátkých vln k difrakci nedochází, ale radar nedosahuje takové vzdálenosti jako u dlouhých vln.

Při úspěšné detekci malých cílů je obtížné takového cíle identifikovat. Radar nedokáže rozlišit, zda se jedná o nebezpečný dron nebo o např. o ptáka. Aktivní radar je vhodný pouze pro otevřené prostory, protože v zastavěné oblasti by docházelo k velkému množství nežádoucích odrazů od okolních objektů.



Americká armáda zavádí nyní do své výzbroje novou generaci malých radarů MHR (Multi-Mission Hemispheric Radar) při vlastní hmotnosti 104 kg a dokáže odhalit malé drony o velikosti jednoho metru na vzdálenost minimálně 5 km. Maximální detekční vzdálenost MHR je pak 40 km. [43]

#### **7.1.1.2 Sekundární radar**

Sekundární radar je aktivní radar, který potřebuje ke své činnosti další zařízení na palubě letadla, tzv. odpovídač. Na zemi je umístěno zařízení, které se nazývá dotazovač a dále je na zemi umístěn přijímač sekundárního radaru. Dotazovač se v pravidelných intervalech dotazuje a každý dotázaný odpovídač odpovídá svým kódem, který má přidělený pro daný let od řízení letového provozu. Sekundární radar tedy dokáže identifikovat jednotlivá letadla. [42]

Malá bezpilotní letadla nejsou zpravidla vybavena odpovídačem, proto je k jejich detekci sekundární radar nevhodný. Při povinném zavedení tohoto systému do komerčně prodávaných bezpilotních letadel lze předpokládat, že při nezákonné činnosti by jej pachatel nechal odstranit či vyřadit z funkce.

#### **7.1.2 Pasivní radar**

Oproti klasickým radarům, které střídají vysílání a příjem rádiových vln a vyhodnocují poté signál odražený od objektů ve vzduchu, pasivní radary elektromagnetické záření z okolí přijímají. Je nutný nějaký zdroj tohoto záření. Obvykle na to stačí vysílače rádia, televize případně mobilní sítě. Také se s úspěchem využívá signálů klasických radarů, a dokonce i rušícího vysílání. Všechny výše zmíněné zdroje záření se odráží od objektů na obloze i mimo ni. Tvoří tak přirozený signál, který pasivní radar zpracovává. Pasivní radar potřebuje více přijímačů, aby získal kvalitní data pro zpracování. Z rozdílů signálů v jednotlivých měřicích stanicích lze přesněji určit polohu, směr a rychlost letounu v daném okamžiku. Nejdříve se pomocí Dopplerova jevu přibližně určí poloha a rychlost letounu.

Dalším zpracováním signálu s využitím potlačení šumu, zahrnutím mnoha vlivů ovlivňujících šíření radiových vln, včetně změn v ionosféře Země, se určí poloha a rychlost letounu s přesností stejnou nebo lepší jako u aktivních radarů. [44]

Zde opět přesnost detekce objektu naráží na problém s velikostí odrazové plochy sledovaného objektu. Ovšem největší výhoda pasivních radarů je, že pokud sledovaný letoun vysílá elektromagnetický signál, je možné takovýto signál zachytit a daný letoun detekovat. V tomto případě nezáleží na velikosti objektu a na jeho materiálu odrazové plochy. Většina bezpilotních letadel neustále komunikuje se svým pilotem a vysílá údaje o své poloze, stavu baterie nebo o přenášení videozáznamu, za pomoci elektromagnetického vlnění, které je poté možno detekovat. Problém nastává s drony, které fungují v režimu autopilota, ty totiž žádné elektromagnetické záření vysílat nemusí.

## **7.2 Akustická detekce**

Tato metoda detekce pracuje na principu rozpoznání určitého zvuku nebo tónu za použití takzvaného mikrofonního pole. Jde o několik mikrofonů, vhodně uspořádaných tak, aby mohly lokalizovat zdroj zvuku. Akustická detekce je vhodná zejména pro malé komerční drony. Akustické senzory sledují zvuky z okolí a dokáží pomocí softwaru a databáze daný zvuk vyhodnotit a určit o jaký objekt se jedná. Tyto systémy musí mít k dispozici vlastní databázi obsahující záznamy akustického vlnění, které vydávají různé typy bezpilotních letadel.

Mezi hlavní výhody patří nemožnost záměny např. s ptákem a díky moderním analytickým nástrojům i poměrně velká přesnost určení druhu bezpilotního letounu i směru jeho pohybu. Tyto systémy lze navíc použít v prostoru se zástavbou. Nespornou výhodou je potom nízká cena, malé rozměry a snadná dostupnost. Nevýhodou těchto systémů je možnost záměny s podobným zvukem (např. vrtačky, sekačky) a obtížnost detekování nestandardizovaných strojů, které nejsou v databázi. Další nevýhodou je malý dosah, avšak s nízkou cenou tohoto systému je možné velké pokrytí prostoru. [45]

## 7.3 Videoanalýza

Inteligentní videoanalýza umožňuje detailně analyzovat obrazovou informaci a vyhodnotit změny dle předem definovaných pravidel. Inteligentní kamerové dohledové systémy se v současné době dynamicky rozvíjejí. Inteligentní videoanalýza nabízí široký rozsah využití, od dopravního využití, přes výrobní aplikace až po bezpečnost. Aplikace umožňují detailní analýzu obrazu, která dokáže např. na základě určitého setu pravidel, identifikovat a klasifikovat objekty ve scéně a vyhodnocovat dění v záběru. Inteligentní kamerový dohledový systém vyhodnocuje obraz v reálném čase a pomocí získaných hodnot dokáže vypočítat veličiny, jako je velikost, rychlost nebo směr pohybu jednotlivých snímaných objektů. Tyto veličiny se dále využívají pro složitější analýzy. Například setrvávání objektu na jednom místě nebo různé formy nestandardního chování. Systém umí ignorovat opakované pohyby, jako jsou stromy ve větru, často používané světelné signalizace nebo reklamní poutače. Umí se také přizpůsobit zhoršené kvalitě obrazu (déšť, mlha, špinavý objektiv) a dokonce i změně stanoviska při použití otočné kamery. [46] [47]

K aplikaci inteligentní videoanalýzy je zapotřebí videokamera a příslušný software, který umožňuje rychlé vyhodnocování záběru. U inteligentní videoanalýzy platí, že vzdálenost, ve které lze detekovat objekty, je závislá na velikosti rozlišení kamery. Pokud má kamera funkci nočního vidění, je možné tento systém používat i v šeru nebo potmě. Malé rozměry technického řešení jsou dále vhodné pro snadnou přenosnost. Při použití infračervených kamer, umožňují systémy rozeznat objekty, v našem případě drony, od předmětů rozdílné velikosti. Výhoda je, že při použití infrakamery nejsou viditelné stíny, které způsobují náročnější vyhodnocování zaznamenávaných dat, a je také možné dosáhnout větší detekční vzdálenosti. Dnes se inteligentní videoanalýza používá hlavně v rozpoznávání osob, automobilů nebo ve střežení objektů. [48]

Nevýhodou u toho systému je opět problém s rozlišením stroje od ptáka a velká náročnost na výpočet dat, to může vést k planým poplachům. Avšak tato technologie se stále vyvíjí a dá se předpokládat, že se zlepší její rozlišovací schopnosti.

## 7.4 Kombinace systémů

Kombinovanou detekci umožňují systémy, u kterých je integrováno několik metod detekce do jednoho zařízení. U většiny systémů jsou problémy s identifikací detekovaného objektu. Proto jsou v současné době ve vývoji kombinace těchto systémů, které umožňují přesnější a spolehlivější detekci dronů v prostoru.

### 7.4.1 Aaronia Drone detector

Německá firma Aaronia vyvinula systém pro detekci a lokalizaci dronů, UAV i jejich operátorů. Systém pracuje na principu pasivního radaru, tedy příjmu rádiových vln vysílaných z objektu či od operátora a je možné jej doplnit o pohledy z panoramatických kamer. Systém je možno používat jako stacionární pro trvalý monitoring určité oblasti nebo perimetru a lze jej namontovat na auto či loď. Systém funguje stejně za světla, tmy, mlhy, deště či sněžení. Stejně tak lze detekovat objekty nejen v přímé viditelnosti, ale i za budovami, stromy či jinými překážkami, kde je vše závislé na síle signálu od objektu či operátora. [49]



Obrázek 3 - Aaronia Drone detector [49]

## 7.4.2 Drone Dome

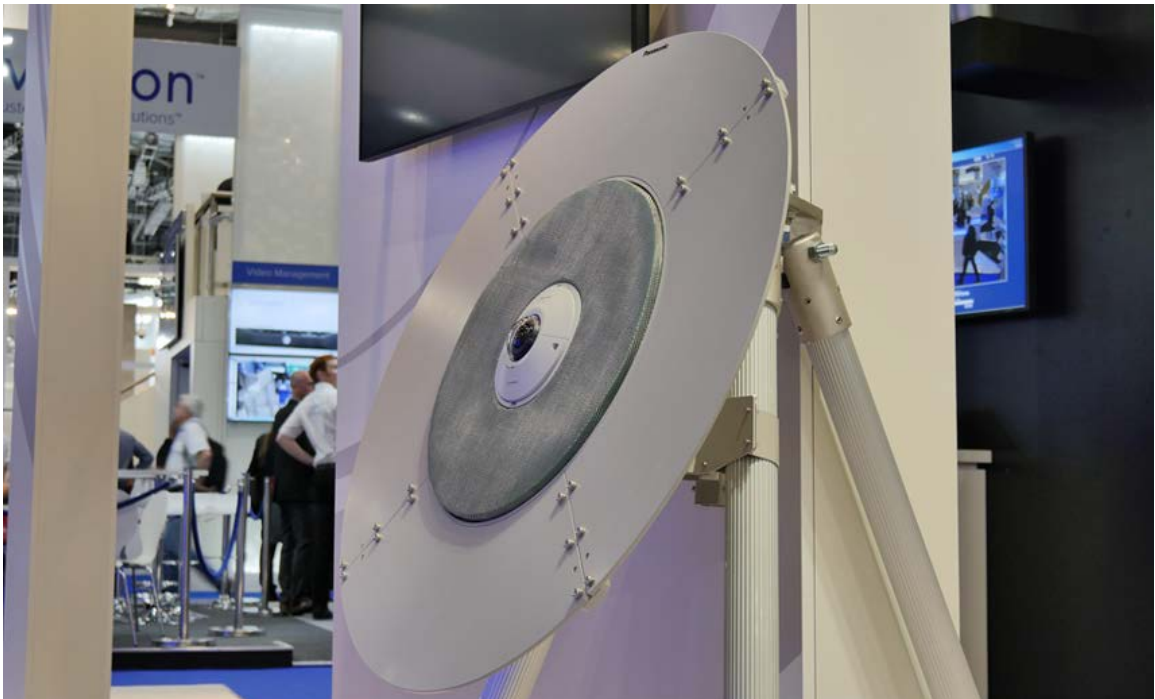
Izraelští inženýři vyvinuli obranný systém, který pomocí radaru a kamer dokáže detekovat a sledovat pohyby nepřátelských bezpilotních letounů, které naruší zakázané oblasti, a poté narušit jejich elektronické systémy a tím přivodit jejich pád. Systém nazývaný „Dronová kupole“ (Drone Dome) je určen k likvidaci mikro a nano dronů užívaných teroristy ke vzdušným útokům, sběru zpravodajských informací a dalším zstrašujícím činnostem. Dronová kupole má 360° kruhové pokrytí a dokáže detekovat, sledovat a neutralizovat bezpilotní letouny, označené jako hrozby letící v bezletových zónách. [50]



Obrázek 4 - Izraelský detekční systém Drone Dome [51]

### 7.4.3 Panasonic Security Solutions Drone detector

Společnost Panasonic Business vyvíjí technologii pro vyhledávání dronů, která je kombinací videoanalýzy a akustické detekce. Technologie nabízí detekci bezpilotních letounů, jež je výchozím bodem pro jejich regulaci. Zařízení může díky síti 32 mikrofónů a inteligentnímu kamerovému systému detektovat stroj na vzdálenost až 300 m v zorném úhlu 150°. Vyhledávač navíc analyzuje okolní zvuky, které vylučuje z vyhledávání. [52]



*Obrázek 5 - Panasonic Security Solutions Drone detector [53]*

## 7.4.4 Dedrone Data Sheet DroneTracker

System pro detekci od firmy Dedrone obsahuje čtyři různé typy senzorů. Hlavní součástí tohoto systému je DroneTracker – zařízení křížového tvaru, v jehož prostředku se nachází širokoúhlá kamera, v ramenech pak audio senzory, senzor pro noční vidění a Wi-Fi senzor detekující např. typ či konkrétní stroj podle sériového čísla. V ideálním případě by těchto modulů mělo být okolo sledované oblasti umístěno několik. Vše se přenáší do krabičky o velikosti routeru přijímající signály ze všech DroneTrackerů. [54]



Obrázek 6 - Dedrone Data Sheet DroneTracker [54]

## 8 METODY ELIMINACE UAV

Pokud dojde k detekování stroje v zakázaném prostoru, nebo pokud jiným způsobem ohrožuje osoby, majetek a životní prostředí, mělo by dojít k jeho eliminaci a zabránit tím protiprávnímu jednání. Eliminace je obtížná z několika důvodů. Pokud se dron pohybuje v zastavěné oblasti, mohlo by jeho zneškodnění způsobit více škod, než jaké může napáchat samotný stroj. Dalším důvodem jsou náklady na pořízení některých těchto systémů.

### 8.1 Protiletadlová technika

Mezi protiletadlovou techniku řadíme protiletadlové kanóny a protiletadlové řízené střely. Protiletadlová technika je vhodná pro likvidaci větších bezpilotních letounů, především armádních. U malých strojů není tato technika vhodná z několika důvodů. Prvním z důvodů je bezpečnost. Předpokládá se, že útok malým dronem bude probíhat v obydlených a zastavěných oblastech, kde je protiletadlová technika nepoužitelná. Dále je zde problém s přesným zaměřením, naváděním rakety na tak malý cíl a jeho eliminaci na určitou vzdálenost. U řízených střel je potřeba určitá minimální vzdálenost, na kterou je lze použít protiletadlové systémy. Malý dron v jejich blízkosti by bylo pro ně bylo obtížné sestřelit. Dalším důvodem je cena těchto systémů. Cena řízených střel je mnohonásobně vyšší než cena běžných malých dronů. V březnu 2017 sestřelil americký protiraketový systém Patriot střelou za 3 milióny dolarů malý civilní dron od společnosti Amazon, který stál pouhých 200 dolarů. [55]



## 8.2 Střelné zbraně

Nejdostupnější možností zneškodnění dronů je použití běžných střelných zbraní. U malých komerčních strojů jako jsou multikoptéry, stačí zasáhnout a poškodit jednu či více z jeho vrtulí, to vede k okamžitému pádu nebo se stane špatně ovladatelným. Není nutné zasáhnout přímo vrtule. I při poškození součástí, které jsou nezbytné pro správné fungování, může dojít k pádu nebo neovladatelnosti stroje. Většina komerčních dronů je vyráběna z plastů a jsou tudíž velmi náchylné k nárazům a poškození. Vzhledem k tomu, že jsou malé a poměrně rychlé, je obtížnější je zbraní zasáhnout.

Pro tuto úlohu jsou proto vhodné brokové zbraně, u nichž není nutná taková přesnost. Díky možnosti střílet nesmrtící gumové broky navíc odpadá riziko vážného ublížení na zdraví nebo smrti okolních osob. Mezi výhody patří hlavně rychlost řešení, snadná dostupnost a nízká cena. Nevýhodou je potom malý účinný dostřel (u brokovic 50 až 100 m) a nebezpečí při pádu samotného dronu.

## 8.3 Laserové zbraně

Laserové zbraně schopné ničit cíle jsou poměrně novou technologií, ačkoliv jejich princip je dlouho znám. Pro svou funkci využívají elektromagnetického záření, konkrétně světla, cíleného určitým směrem ve formě úzkého paprsku. Jejich účinnost je závislá na výkonu laseru. Nejslabší, mající výkon ve stovkách wattů, dokáží cíle oslepit. Silnější lasery jsou schopné ničit malé čluny a bezpilotní letadla, ty mají výkon desítek kilowattů. Od roku 2014 je vyzbrojena americká výsadková loď USS Ponce, která slouží v Perském zálivu, laserem o výkonu 30 kW. Tento laserový systém byl úspěšně testován proti lehkým bezpilotním letadlům a proti malým motorovým člunům. Likvidace probíhá tak, že se paprsek zaměří na cíl a současně kopíruje jeho pohyb. Nejsilnější laserovou zbraní s výkonem 58 kW je laser od společnosti Lockheed Martin otestovaný na jaře roku 2017. [56]

Velkou výhodou laserových zbraní jsou jejich nízké provozní náklady a rychlost zásahu. Nevýhodou je jejich velikost, vysoká pořizovací cena a energetické nároky, které kladou vysoké požadavky na zdroje energie. Dále je zde riziko nechtěného zásahu objektu, jež se dostane do linie mezi cíl a paprsek. Laserové zbraně jsou novou technologií a jejich použití je stále ve stádiu testování, nicméně s postupným vývojem můžeme do budoucna předpokládat zmenšení těchto zbraní a zvýšení výkonu, což umožní jejich širší využití. [57]

## **8.4 Zachytávání do sítě**

V tomto případě se ke zneškodnění používá síť, do které se stroj zachytí. Dron poté z důvodu zablokování pohybu vrtulí nebo díky váze sítě spadne k zemi. Chytit jej do sítě lze několika způsoby. Síť lze vystřelit ze země, zavěsit síť pod něj, nebo vystřelit síť přímo z dronu.

### **8.4.1 Vystřelení sítě ze země**

Toto řešení vyvinula společnost Open Works Engineering. Systém se jmenuje SkyWall, jedná se o přenosné zařízení na rameno podobné odpalovači raket. Jde o prostředek, který byl primárně vyvinut pro ochranu civilních letišť. SkyWall existuje ve třech provedeních označených číslicemi 100, 200 a 300.

SkyWall 100 je přenosný komplet, který pneumatically vystřeluje speciální protidronové projektily. Základní projektil v sobě ukrývá síť, která se v blízkosti cílového stroje rozvine a zneškodní jej. V nabídce je i projektil, který má navíc malý padáček, takže se po zachycení do sítě snese na zem, aniž by došlo k jeho poškození. To může být vhodné v situacích, kdy hrozí riziko zranění osob na zemi, nebo když bezpečností složky potřebují bezpilotní letoun prozkoumat. K dispozici je i projektil, ve kterém je vedle sítě umístěn speciální elektronický rušič. Ten lze využít v případě, že bezpilotní letoun nese dálkově odpalovanou nálož.

Základní odpalovací komplet SkyWall 100 je poměrně těžký, s projektilem váží 12 kg a má dálkový dosah 100 m. Nejvýkonnější varianta je SkyWall 300. Jedná se do značné míry o autonomní komplet řízený dálkově. Představuje vlastně poloautomatickou odpalovací stanici vybavenou systémy pro detekci a sledování cílů. Nevýhodou je zejména krátký dostřel a nutnost přesného zásahu cíle. [58] [59]



*Obrázek 7 - Základní odpalovací komplet SkyWall 100 [59]*

## 8.4.2 Sít' zavěšená pod dronem

Jak již bylo uvedeno, v dubnu roku 2015 přistál v Tokiu na střeše kanceláře tamního premiéra bezpilotní letoun, který nesl radioaktivní materiál. To v japonských státních složkách vzbudilo obavu, že příště by se mohlo jednat o výbušninu. Japonská policie proto pořídila vlastní drony, aby pomohly chránit důležité budovy. Jedná se o velké komerční stroje, pod kterými je zavěšená sít' o rozměrech 2x3 m a jsou vybaveny reproduktory. V případě, že se nežádoucí bezpilotní letoun dostane do zakázaného prostoru, bude jeho majitel nejdříve upozorněn přes reproduktory policejního dronu. Pilot tak dostane šanci změnit kurz. Pokud bude upozornění ignorovat, policejní dron vetřelce odchytí do připojené sítě a zamezí mu v dalším pohybu.

Výhodou tohoto řešení je velký rozsah zásahu a to i ve větších výškách, rychlost zásahu a pořizovací náklady, protože stejnou sít' lze používat opakovaně. Mezi nevýhody patří riziko, že se chycený bezpilotní letoun nezachytí do sítě, či že hmotnost chyceného stroje převyšší nosnost policejního dronu a zřítí se na zem, kde dojde ke zničení obou strojů nebo ke zranění osob. [60]



Obrázek 8 - Policejní dron se zavěšenou sítí [61]

### 8.4.3 Vystřelení sítě z dronu

Další možností zachytávání do sítě je vystřelování sítě přímo z dronu. Pod bezpilotní letoun se umístí zařízení, které je schopno za pomoci vystřelovací sítě zasáhnout nepřátelský stroj ve vzduchu. Takovýto systém vyvíjí tým z Michiganské technologické univerzity vedený profesorem Mo Rastgaarem. Tento systém obsahuje kameru vysílající obraz v reálném čase pro zamíření a zařízení pro vystřelení sítě. Dron dokáže dostřelit síť až na vzdálenost 12 m. Při zásahu nelegálního stroje jej následně sbalí a může s ním jednoduše odletět. Obraz z kamery se přenáší buď do speciálních 3D brýlí nebo na displej mobilního telefonu. Dron se ovládá manuálně nebo funguje zcela autonomně. Velmi podobný systém s názvem Excipio vyvíjí např. firma Theiss UAV Solutions, která uvádí, že systém lze použít nejen proti bezpilotním letounům, ale také např. proti lidem, zvířatům nebo pozemním vozidlům. [62] [63]

Takto vystřelené sítě mohou být spíš volné, tedy nejsou nijak připoutány k dronu. Chycený stroj se okamžitě zřítí k zemi, to ovšem sebou nese rizika v podobě zranění osob a zničení stroje. Dále může být vystřelená síť připevněná k bezpilotnímu letounu lankem, takže může posléze nepřátelský letoun dopravit na bezpečné místo. Zde je opět závislost na nosnosti. Hrozí přetížení a následné zřícení s nepřátelským dronem. Opět může dojít ke zranění osob a zničení obou strojů. Třetí možností je vybavit síť padáčkem, který zpomalí pád nepřátelského stroje a minimalizuje tak možnost zranění osob a zničení stroje. [63]



Obrázek 9 - Chytání dronu do sítě ze zařízení umístěného pod dronem [64]

Výhodou tohoto systému je velká oblast zásahu a rychlá reakce. V případě, kdy síť není připevněna k dronu, je další výhodou možnost umístění i na lehčí a rychlejší stroje s menší nosností. Nevýhody takového řešení jsou, jak bylo řečeno, nebezpečí pádu a zranění osob. Dále přesnost a v případě že síť mine cíl je nutné pro opětovné nabytí přistát.

## 8.5 Chytání orly

První projekt chytání za pomoci orlů přestavila nizozemská společnost Guard From Above pro tamní policii. Po ní tento projekt převzala i francouzská armáda. Francouzská armáda používá dravce k zneškodňování dronů, jež ohrožují letecké základny. Pro speciální trénink využívá francouzská armáda konkrétně orly královské, kteří zvládnou ulovit kořist až do hmotnosti 25 kg. Právě díky této síle byli vybráni pro likvidaci nepřátelských strojů. Orli se cvičí v pronásledování a lovení bezpilotních letounů, které váží méně než dvě kila. Dravci jsou cvičeni od útlého věku, dokonce ještě před vylíhnutím jsou obkloповáni drony, aby si zvykli na toto prostředí. Později přijdou zrakové vjemy, a nakonec se učí spojovat tyto stroje s krmením. Cvičitelé využívají přirozeného instinktu dravců. Snaží se je proto vytrénovat tak, aby se pro ně kořisti staly právě bezpilotní letouny. Pokud se jim podaří nějaký chytit, dostanou odměnu. [65] [66]



Obrázek 10 - Chytání dronů za pomoci cvičených orlů [67]

Orli, kteří jsou ve Francii cvičeni k lovu, byli odchováni díky umělému oplodnění, protože se jedná o chráněné druhy. Sběr divokých vajec byl tedy vyloučen. Orli by při chytání bezpilotních letounů neměli utrpět žádná zranění, malé drony zachytí bez problémů. Větší by však mohl poškodit jejich drápy, proto dravci ve francouzském vojenském programu nosí speciální chrániče, které jejich drápy chrání. [66]

## **8.6 Rušením komunikace a systémů**

Tento způsob eliminace nebezpečného stroje využívá rušení nebo nahrazení dálkové komunikace, na které drony fungují. Komunikace mezi pilotem a bezpilotním letounem probíhá především prostřednictvím elektromagnetického vlnění, obvykle za pomoci rádiových vln nebo Wi-Fi zařízení. Nejběžnější frekvencí, na které drony komunikují je pásmo 2,4 GHz nebo 5 GHz. Ve stejném pásmu pracují např. i Wi-Fi vysílače. Pro automatický či poloautomatický režim používá k letu signál GPS nebo GLONASS. Pomocí speciálního zařízení jde tyto signály rušit nebo nahradit vlastními a donutit tak stroj přistát. Většina bezpilotních letadel se při ztrátě komunikace zastaví a čekají na její obnovení, popřípadě spustí nouzový režim a vrátí se na místo vzletu. Pokud dojde k rušení GPS nebo GLONASS komunikace, dojde obvykle k nouzovému přistání. Problémem se stává, že rušení těchto strojů je stále obtížnější. Na internetu lze koupit systémy pro přenos dat fungujících na čím dál vyšších frekvencích, které mohou přeskakovat mezi několika frekvencemi. To vše činí drony odolnější proti prostředkům radioelektronického boje. [56]

## 8.6.1 Anti-UAV Defence System

Konkrétní systém boje proti bezpilotním letounům vznikl ve Velké Británii. Společnost Blighter Surveillance Systems vyvinula první integrovaný obranný systém proti dronům AUDES (Anti-UAV Defence System). Systém AUDES dovede zachytit, sledovat a vyřadit malé i větší stroje. Zaútočí na ně rádiovým paprskem a ve vzduchu je zneškodní tím, že přeruší jejich komunikační kanály. Systém zachytí komerční drony až do vzdálenosti 8 km, a ve vzdálenosti 2 km začne rušit jejich signál. AUDES má navíc i optickou rušičku, která je schopná vyřadit automatické zaostřování kamer umístěných na dronech a tím je prakticky oslepit.

AUDES se skládá ze sektorového radaru s nízkým vyřazovacím výkonem, elektro-optickým termovizním přístrojem, sledovacím a kontrolním systémem a rušícím zařízením. AUDES je vysoce automatizovaný. Po odhalení objektu radarem je automaticky zahájeno sledování elektro-optickým přístrojem. Provozovací přístroj je namontován spolu s rušícím zařízením na otočné základně.



Obrázek 11 - AUDES (Anti-UAV Defence System) [68]



V případě vstupu cizího stroje do zakázané oblasti se automaticky zapne rušící zařízení, které přehluší rádiové spojení mezi cizím dronem a operátorem, přinutí ho tak zmizet nebo havarovat. AUDES rovněž dokáže rušit příjem GPS, podle kterého se některé navádějí.

Celý systém je navíc vysoce modulární a využívá open-source software, který lze dle libosti upravovat. Zákazník si může sám určit použité sensorové vybavení a také systémy pro rušení nebo likvidaci bezpilotních prostředků. Systém AUDES byl od roku 2017 nasazen americkými vojsky v Iráku proti útokům bezpilotních letadel Islámského státu. [69]

### 8.6.2 Battelle DroneDefender

Jedná se o mobilní rušící zařízení připomínající střílnou zbraň s anténou. Zařízení váží méně než 5 kg. Americký výrobce Battelle uvádí, že jej lze spustit za méně než vteřinu a je schopen na jedno nabití pracovat až pět hodin. Střelec musí pouze stroj zaměřit a stisknout spoušť, účinná vzdálenost rušení je až 400 m. Vysílač umístěný v pistoli vyšle elektromagnetické vlnění, které nepřátelskému dronu znemožní přijímání jakéhokoliv jiný signál, ať už se jedná o signál z jeho ovládacího zařízení nebo o signál GPS. Uživatel tak nad ním převezme kontrolu a má tři možnosti: buď ho ponechá vznášet se na jednom místě, nebo jej přinutí přistát anebo jej donutí vrátit se do místa startu. Díky narušení dálkového ovládacího a GPS signálu, který vysílá, by zbraň měla být účinná proti všem komerčním dronům. [70]



Obrázek 12 - Battelle DroneDefender [71]

Na stejném systému pracuje i zařízení od společnost DronShield. Zbraň s názvem DroneGun dokáže stejně jako DroneDefender rušit signál dronu a přinutit jej přistát. DroneGun je o 1 kg těžší, dokáže navíc rušit i systém GLONASS a jeho účinná vzdálenost rušení je až 2 km. [72]

Mezi výhody těchto systémů patří jednoduché a rychlé použití, mobilita a dále nehrozí riziko poškození dronu při pádu a ohrožení osob. Mezi nevýhody patří, že vyslané elektromagnetické vlnění může rušit také komunikaci dalších zařízení v okolí, pracujících na stejných frekvencích.

## 9 CÍLE PRÁCE

V současné době je na trhu nabízeno několik desítek až stovek druhů komerčních snadno dostupných bezpilotních letounů, které si může pořídit téměř kdokoli. V nesprávných rukou představují tyto stroje závažnou hrozbu. V předchozích kapitolách byla popsána možná nebezpečí při jejich zneužití, mezi nejzávažnější patří terorismus. Cílem této práce je popsat jaké reálné schopnosti mohou komerčně prodávané drony poskytnout pro teroristický útok, jak velké nebezpečí představují a jaký by byl dopad na bezpečí obyvatelstva. Pomocí komerčně prodávaného dronu budou zjištěny vlastnosti, jako jsou nosnost, výdrž a rychlost, potřebné pro použití při teroristickém útoku. Pomocí modelovacích programů bude provedena simulace několika druhů útoků a jejich následků. Ze získaných dat bude provedena SWOT analýza a vyhodnoceno reálné nebezpečí zneužití těchto bezpilotních letounů.

### **Cíle práce:**

- Prakticky ověřit vlastnosti a možnosti nést nebezpečný materiál.
- Simulovat možné druhy teroristických útoků pomocí softwarových modelovacích nástrojů.
- Určit pomocí simulací dopady při těchto útocích.
- Popsat pomocí SWOT analýzy jejich silné a slabé stránky vhodné pro tento typ útoku.
- Popsat rizika a hrozby ze získaných dat.

## 10 SPECIFIKACE DRONU PRO SIMULACI TERORISTICKÉHO ÚTOKU

Pro určení možného nebezpečí, které mohou komerčně prodávané drony představovat, je potřeba měřením určit jejich vlastnosti a schopnosti nést nebezpečné látky a zařízení. Velmi důležitou vlastností je nosnost, ta určuje jak velkou zátěž, a tudíž i množství nebezpečného materiálu a zařízení může stroj nést. Jedná se např. o výbušné zařízení, chemické látky, biologické agens, radioaktivní materiál nebo jejich kombinaci. Nosnost je ovlivněna několika faktory, např. vahou samotného stroje, velikostí vrtulí nebo výkonem a stavbou rotorů. Další důležitou vlastností pro použití v teroristickém útoku je výdrž, ta určuje, jak dlouho vydrží stroj v letu. Výdrž je ovlivněna především velikostí baterie, hmotností nákladu, rychlostí a způsobem letu, aktivovanými systémy nebo povětrnostními podmínkami. Důležitým ukazatelem pro úspěšné použití k teroristickému útoku je také jeho rychlost. Rychlost spolu s výdrží určuje operativní vzdálenost. Určuje kam a za jak dlouho dron doletí, než se vybije baterie. Jak rychle poletí je závislé, stejně jako u výdrže, na hmotnosti nákladu, povětrnostních podmínkách, a také na velikosti a tvaru nákladu.

Pro zjištění těchto parametrů byla vybrána běžně komerčně prodávaná kvadrokoptéra DJI Phantom 2, která se na českém trhu pohybuje okolo ceny 12 500 Kč. Jedná se o nižší model kvadrokoptéry se stejnou konstrukcí, jaký využívá Islámský stát.

[73]

## 10.1 DJI Phantom 2

Phantom je běžně dostupná komerční kvadrokoptéra od firmy DJI. Jedná se o jeden z nejrozšířenějších modelů kvadrokoptér na našem trhu. Je velmi oblíbená pro své letové vlastnosti a stabilizaci, lze ji vybavit různými druhy záznamového zařízení a přídatnými moduly.

Základem draku modelu je kompaktní skořepinový výlisek z odolného plastu, který nese motory, řídicí elektroniku a pohonný akumulátor. Model je poháněn čtyřmi střídavými motory s vrtulemi o průměru 240 cm. Pro napájení slouží tříčlankový Li-Po akumulátor 5200 mAh, který se ukládá do schránky ve středu modelu. Přistávací zařízení tvoří dvojice plastových profilů, která nese přijímačovou anténu a čidlo GPS/kompasu s antistatickou ochranou.

Pro ovládání modelu slouží sedmikanálový vysílač 2,4 GHz se dvěma křížovými ovladači pro řízení základních funkcí, dvěma třípolohovými přepínači, kterými se volí letové režimy a režimy inteligentního řízení orientace modelu a otočným ovladačem kamery. [74]



Obrázek 13 - DJI Phantom 2 [74]

Phantomu 2 má inteligentní řídicí jednotku NAZA-M V2, která může pracovat ve dvou režimech s automatickou stabilizací.

V režimu stabilizace polohy "Atti. Mode" řídicí jednotka automaticky stabilizuje polohu multikoptéry ve všech osách. Při ztrátě řídicího signálu z vysílače model přechází do základního "fail-safe" režimu, který zajišťuje že po krátké prodlevě ve visení dron automaticky přistane na místě, nad nímž se právě nachází.

A dále v režimu GPS stabilizace polohy "GPS Atti. Mode", kdy řídicí jednotka automaticky stabilizuje kvadrokoptéru ve všech osách a na zeměpisné pozici, bude model stabilně viset na místě. Při ztrátě řídicího signálu z vysílače se model po krátké prodlevě ve visení vrátí do okruhu 10 m od místa vzletu uloženého v paměti řídicí jednotky a po prodlevě 15 s ve visení automaticky přistane. Let zpět se odehraje ve výšce 20 m nebo vyšší a nachází-li se model v okamžiku aktivace "fail-safe" v nižší výšce, nejprve vystoupá do 20 m, a teprve poté zahájí návrat domů. Režim automatického návratu domů lze kdykoliv během letu vyvolat.

Řídicí jednotka hlídá napětí napájecího akumulátoru a při velkém poklesu napětí model automaticky přistane. [74]

### **Specifikace uvedené výrobcem:**

- Označení: Kvadroptéra DJI F306 Phantom 2 H3-3D GIMBAL RC set
- Rozměry: 290x290x180 mm
- Řídící jednotka: NAZA-M V2 s GPS
- Baterie: Li-Po 3S 11,1V 5200 mAh
- Maximální výdrž: 25 minut
- Hmotnost: 1 000 g (s baterií)
- Přesnost GPS: vertikální 0,8 m; horizontální 2,5 m
- Maximální rychlost otáčení: 200°/s
- Maximální náklon: 35°
- Maximální rychlost stoupání: 6 m /s
- Maximální rychlost: 15 m /s
- Maximální vzletová hmotnost: 1300 g
- Provozní teploty: -10°C až 50°C

### **Vysílač**

- Pracovní frekvence: sedmikanálový vysílač 2,4 GHz
- Maximální dosah vysílače: 1000 m
- Napájení vysílače: 4 x AA baterie [75]

## 10.2 Metodika a výsledky měření

Jako místo pro měření jeho vlastností byla vybrána travnatá plocha na volném prostranství. V době měření vál mírný vítr a teplota vzduchu se pohybovala okolo 20°C. První byla změřena nosnost. Pod dron byl připoután plátěný pytlík, do kterého byla postupně přisypávána zátěž, v tomto případě šlo o krystalický cukr.



*Obrázek 14 - Testovaná kvadroptéra DJI Phantom 2*

*Zdroj: vlastní*

Základní váha byla zvolena zátěž 200 g, ta byla postupně zvyšována o 150 g až na 1 kg váhy. Během měření se ukázalo, že při zatížení do váhy 650 g neměl dron problém vzlétnout a zachovat si své letové i manévrovací schopnosti. Při váze 800 g až 1 kg byl dron sice schopen vzlétnout, avšak při tomto zatížení bylo obtížné s ním manévrovat a hrozilo poškození rotorů přetížením, tudíž následný pád. Jako optimální nosnost, při které je schopen účinně nést náklad, byla učena váha 650 g (obrázek 15). Ta je o 450 g vyšší než maximální vzletová nosnost deklarovaná výrobcem.





*Obrázek 15 - Umístění zátěže pod testovaný dron*

*Zdroj: vlastní*

Následně byla měřena výdrž. Do dronu byla vložena plně nabitá originální baterie Li-Po 3S 11,1V 5200 mAh a pod něj byla umístěna zátěž 650 g. Stroj byl během měření přepnut do režimu "Atti. Mode" a po vzletu byl ustálen 2 m nad zemí. Při velkém poklesu napětí model automaticky přistál. Doba letu byla měřena pomocí digitálních stopek od vzletu do jeho přistání a čas byl změřen na 11 minut a 31 vteřin, tedy téměř polovina času, než je výrobcem uváděna.

Jako další parametr byla měřena rychlost. Pod dron byla opět umístěna zátěž o velikosti 650 g a byla určena doba letu 10 vteřin. Poté byla změřena pomocí svinovacího metru vzdálenost, kterou za tento čas urazil. Pokus byl proveden několikrát a výsledek zprůměrován. Během deseti vteřin urazil stroj v průměru 69 m, což odpovídá rychlosti téměř 25 km/h.

Z výdrže a rychlosti byla vypočítána maximální vzdálenost, kterou se zátěž 650 g urazí, než se vybití baterie akumulátoru. Výpočet ukázal, že za 11 minut a 31 vteřin je schopen urazit rychlostí 25 km/h maximální vzdálenost 4,8 km.

Pro kvadrokoptéru DJI Phantom 2 byly naměřeny tyto vlastnosti:

Optimální nosnost:	650 g
Maximální nosnost:	1 kg (riziko poškození rotorů)
Výdrž při optimální zátěži:	11 minut 31 vteřiny
Průměrná rychlost:	25 km/h
Minimální operativní vzdálenost:	4,8 km

# 11 MODELOVÁNÍ ÚTOKŮ A JEJICH NÁSLEDKŮ

Drony představují riziko spočívající v jejich zneužití při teroristických útocích, proto je důležité zjistit, jakou reálnou hrozbu představují. V předchozích kapitolách bylo popsáno že drony jsou schopné nést téměř jakýkoliv náklad a představují tak vhodný nástroj pro útoky za pomoci výbušnin, chemických, biologických či radioaktivních látek. Za pomoci získaných dat z měření vlastností dronu bylo možné simulovat různé druhy teroristických útoků díky softwarovým modelovacím programům. Pro simulaci byly zvoleny softwarové nástroje TerEx a ALOHA. Jako místa útoků byly vybrány Staroměstské náměstí v hlavním městě Praha a fotbalový stadion Eden Aréna v pražských Vršovicích.

## 11.1 Použitý modelovací software

### 11.1.1 TerEx

TerEx (akronym slov Teroristický Expert) je softwarový nástroj od české firmy T-SOFT pro okamžité vyhodnocení dopadů úniku nebezpečné chemické látky, otravné látky či použití výbušného systému. Kombinace odhadu následků průmyslových havárií a výbuchů, i následků působení otravných látek a zbraní hromadného ničení. Výhodou tohoto softwaru je, že po zadání vstupních dat lze, díky návaznosti na grafický informační systém, převést a zobrazit výsledky modelované situace, ať se jedná o útok či havárii, přehledně v mapách. Další velkou výhodou TerExu je velká databáze chemických látek, ve které se nachází více než 120 nebezpečných látek a kterou je možné dále rozšiřovat. Databáze obsahuje obecnou charakteristiku nebezpečných látek, jejich popis, zásady první pomoci při zasažení, dekontaminaci, doporučené ochranné prostředky a další. Software obsahuje modelovací moduly, které jsou rozděleny na nebezpečné chemické látky, výbušné systémy a otravné látky. Předpověď možných dopadů a následků události je v TerEx založena na konzervativní prognóze, výsledky tedy odpovídají nejhoršímu možnému dopadu a následku na okolí. [76]

Software TerEx je určen pro podniky, instituce, školy, složky integrovaného záchranného systému a další samosprávné a státní orgány. TerEx má nejrozsáhlejší využití pro operativní jednotky IZS jak přímo na místě zásahu, tak i v řídicím středisku. Program poskytuje výsledky i při nedostatku přesných vstupních informací. Důležitým pomocníkem je Průvodce pro rychlý odhad, který umožňuje i bez hlubších znalostí rychle vyhodnotit dopad mimořádné události. Každou událost lze navíc zaznamenat do Databáze mimořádných událostí, odkud je možné ji kdykoliv načíst a porovnat s dalšími událostmi. [77]

Základ TerExu je devět modelovacích modelů mimořádných událostí, rozdělených do tří modulů, které pokrývají různé typy havárií a teroristických útoků. Tyto modely využívají data z databáze nebezpečných látek.

#### **Moduly TerEx:**

- nebezpečné chemické látky,
- výbušné systémy,
- otravné látky.

Tyto moduly slouží k tvorbě následujících modelů:

### **Modul Nebezpečné látky**

- TOXI – účinek a tvar oblaku s nebezpečnou chemickou látkou dle koncentrace toxické látky,
- UVCE – vzdušná rázová vlna způsobující detonaci směsi látky se vzduchem,
- PLUME – déletrvající únik plynu, vroucí kapaliny s rychlým odparem do ovzduší, pomalý odpar kapaliny z louže do oblaku,
- PUFF – jednorázový únik plynu, vroucí kapaliny s rychlým odparem,
- FLASH FIRE – určuje velikost prostoru, kde jsou osoby ohroženy plamennou zónou.

### **Model Výbušné systémy**

- EXPLOSIVE – modeluje dopady detonace výbušných systémů.

### **Modul Otravné látky**

- SPREAD – vyhodnocuje dosah aerosolů rozprášených výbuchem, mohou být nosičem CBRN látek,
- SPREAD Explosive – modul porovnávající havarijní dosah nástražného výbušného systému a vyhodnocení dle modelu SPREAD,
- POISON – směr šíření oblaku vzniklého rozptýlením otravné látky na daném území.

V této práci bude modelovací program TerEx použit pro modelování výbušných zařízení a pro odpar chemických látek.

### 11.1.2 ALOHA

ALOHA je nástroj pro modelování úniků nebezpečných (toxických, hořlavých, výbušných) látek do atmosféry. Na základě řady vstupních údajů a externích vlivů modeluje nebezpečnou zónu, kde nastává ohrožení vlastnostmi uniklé látky. Funkce programu je v mnohém totožná s programem TerEx, z čehož vyplývá i jeho nasazení v obdobných situacích. Od aktuální verze TerExu se odlišuje menším počtem látek v základní databázi, naopak z hlediska modelů šíření se jedná o velmi propracovaný a kvalitní nástroj. ALOHA je, stejně jako TerEx, rychle spustitelná i na malých přenosných zařízeních. Je vyvíjena tak, aby byla její obsluha co nejjednodušší, takže může být úspěšně používána i během náročných situací.

Tato aplikace je na rozdíl od komerčního produktu TerEx šířena zdarma a je vyvíjena cca přes 25 let. Z toho vyplývá široká podpora oblastí severoamerického kontinentu a také značné ověření nástroje praxí. Pro rozšíření základních vlastností programu jsou k dispozici zdarma další programy jako Arc Tools, pro podporu transformace zákresů do vrstev ArcView, databáze látek CAMEO a jednoduchý GIS prohlížeč MARPLOT. [78]

Modelovací program ALOHA bude v této práci použit pro simulaci šíření nebezpečných látek nesených dronem.

## 11.2 Výběr míst útoků

### 11.2.1 Staroměstské náměstí v Praze

Pražské Staroměstské náměstí je středobodem historického centra Prahy a jeho nejstarším náměstím. Kromě pomníku mistra Jana Husa, radnice s vysokou věží a světoznámým orlojem se na náměstí nachází řada zajímavých historických domů a památek. Staroměstské náměstí je významným kulturním i historickým místem, kterým projde denně několik tisíc jak tuzemských, tak zahraničních návštěvníků. Toto všechno z něj dělá vhodný cíl pro teroristický útok, který by si vyžádal nejen velký počet obětí, ale případný útok by měl také velký psychologický charakter.

Na mapě níže, je zelenou barvou vyznačen maximální dosah vysílače kvadrokoptéry, který činí až 1 km, je to tedy dosah stroje v případě, kdy by případný útočník naváděl stroj ručně. Červenou barvou je vyznačen maximální dolet kvadrokoptéry, který činí 4,8 km (se zatížením 650 g). Tuto vzdálenost urazí při navádění pomocí GPS souřadnic.



Obrázek 16 - Dosah vysílače a maximální dolet kvadrokoptéry se zátěží 650 g

Zdroj: vlastní

## 11.2.2 Fotbalový stadion Eden Aréna

Eden Aréna je fotbalový stadion v pražských Vršovicích. Na stadionu hraje své domácí zápasy tým SK Slavia Praha, hrají se zde i některé zápasy české fotbalové reprezentace. Konají se zde také další sportovní a kulturní akce. Samotný stadion je schopný pojmout až 21 000 sedících diváků, všechny tribuny jsou kryté a poskytují tak návštěvníkům ochranu před deštěm a přímým sluncem. Do prostoru arény je zakázáno vnášet předměty, kterými by mohla být jakkoliv ohrožena bezpečnost a odpovídající zázemí osob pobývajících v areálu. Při vstupu na stadion je každý návštěvník důsledně kontrolován. [79]

Dron je proto vhodným prostředkem pro provedení teroristického útoku, umožňuje se vyhnout kontrolám a dopravit nebezpečný předmět z vnějšku stadionu a zacílit jej na velké množství osob na tribunách. Díky uzavřenému prostoru navíc hrozí další zranění nebo úmrtí osob při vyvolání paniky.

Zelenou barvou je na mapě níže uveden maximální dosah vysílače kvadrokoptéry. Protože jsou tribuny na stadionu kryté, případný útočník musí kvadrokoptéru vybavit kamerou a ovládat jí z vysílače aby lépe zacíлил útok na samotné tribuny, proto zde není uveden maximální dolet.



Obrázek 17 - Dosah vysílače kvadrokoptéry okolo Eden Areny

Zdroj: vlastní



## 11.3 Útok za pomoci výbušniny

Za nejpravděpodobnější typ útoku, který je možné provést pomocí dronu, je útok za pomoci výbušniny. Pro tento typ útoku byl vybrán fotbalový stadion Eden Aréna, a nálož cílena do severozápadního rohu tribun. Na vyhodnocení tohoto typu útoku byl v programu TerEx použit model s názvem EXPLOSIVE, který modeluje dopady detonace výbušných systémů. Jak bylo zjištěno ze získaných dat, kvadrokoptéra Phantom 2 je schopná unést bez rizika pádu 650 g zátěže. Dá se předpokládat, že samotný výbušný systém se bude skládat z iniciačního zařízení (mobilní telefon, rozbuška) a ze samotné výbušné látky (semtex, DAP).

Pro tuto modelaci byl určen poměr těchto komponentů takto:

Nálož:	600 g
Iniciačního zařízení:	50 g

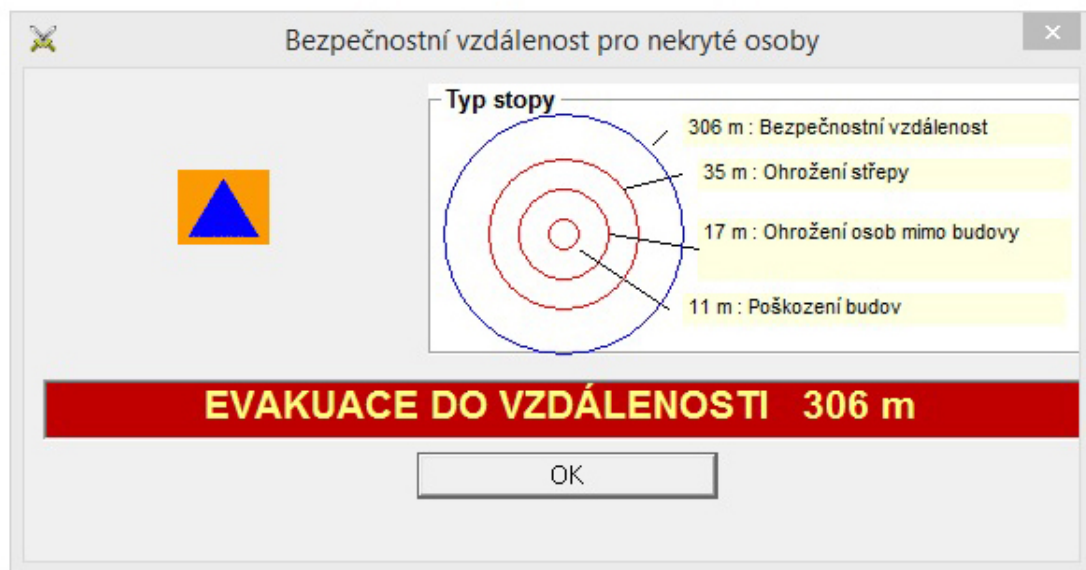
V programu TerEx byly zadány následující parametry:

Model:	EXPLOSIVE
Hmotnost nálože:	0,6 kg
Typ výbušniny v náloži:	Neznámá výbušnina

Jak již bylo popsáno, TerEx předpovídá možné dopady a následky na konzervativní prognóze. Výsledky tedy odpovídají nejhoršímu možnému dopadu a následku na okolí. Tyto prognózy ovšem nepočítají s detonací výbušného zařízení nad zemským povrchem, lze tedy předpokládat, že následky mohou být v reálném útoku větší než v modelaci.

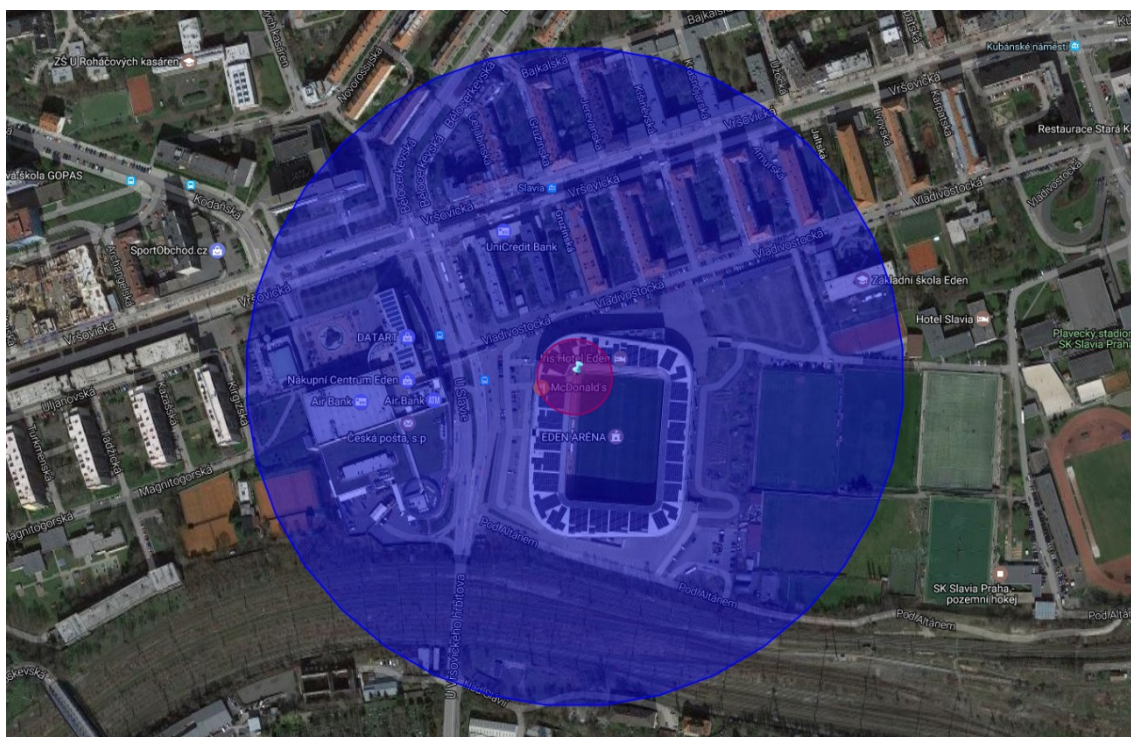
Ze zadaných dat vyhodnotil TerEx rozsah ohrožení následovně:

Bezpečnostní vzdálenost pro nekryté osoby:	306 m
Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem:	35 m
Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním:	17 m
Závažné poškození budov:	11 m



Obrázek 18 – Bezpečnostní vzdálenost pro nekryté osoby při použití nálože 600 g  
Zdroj: vlastní

Z výstupních dat je zřejmé, že i při takto malé náloži by bylo ohrožení, díky velkému nahuštění osob na stadionu, rozsáhlé. Při útoku ze vzduchu by navíc nebyla většina osob nijak kryta. Při takto provedeném útoku by došlo k velkému zranění nebo usmrcení osob jak samotným výbuchem, tak i následnou panikou při útěku z místa výbuchu. Rozsah ohrožení je zobrazen na obrázku 19.



Obrázek 19 – Mapa ohrožení výbuchem při náloži 600 g

Zdroj: vlastní

## 11.4 Útok chemickou látkou a biologických agens

Drony dokáží nést nejen výbušniny, ale i chemické látky a biologické agens. Díky schopnosti nést nebezpečné látky na velkou vzdálenost a rozptýlit je z výšky nad zemí, je dron pro tento typ útoku vhodným nástrojem. V současné době existuje velké množství chemických látek, které jsou přes všechna omezení jejich výroby a manipulace s nimi, snadno dostupné a relativně levné. Mohou tak být jednoduše zneužity teroristy.

Pro tento typ útoku byly zvoleny 3 možné scénáře provedení:

- shoení nebezpečné látky na pevnou plochu,
- rozptyl chemické látky za pomoci výbušniny,
- postupný rozptyl nebezpečné látky za letu.

### 11.4.1 Shození nebezpečné látky na pevnou plochu

Při této události se počítá se shozením nebezpečné látky z dronu na zem. Pro tento útok lze využít např. sáček či balónek, který odhodí na cíl útoku. Toto řešení je vhodné při použití chemické látky, a také pro šíření biologických agens. Pro vyhodnocení tohoto typu útoku, byla zvolena nervově paralytická látka sarin a v programu TerEx použit model PLUME, který modeluje pomalý odpar kapaliny z louže do oblaku. Pro útok byl, stejně jako u výbušného zařízení, zvolen fotbalový stadion Eden Arena. Toto místo je pro útok vhodné především velkou hustotou lidí na tribunách a pomalejší evakuací místa, než by bylo v případě náměstí.

Do modelovacího programu TerEx byly zadány následující parametry:

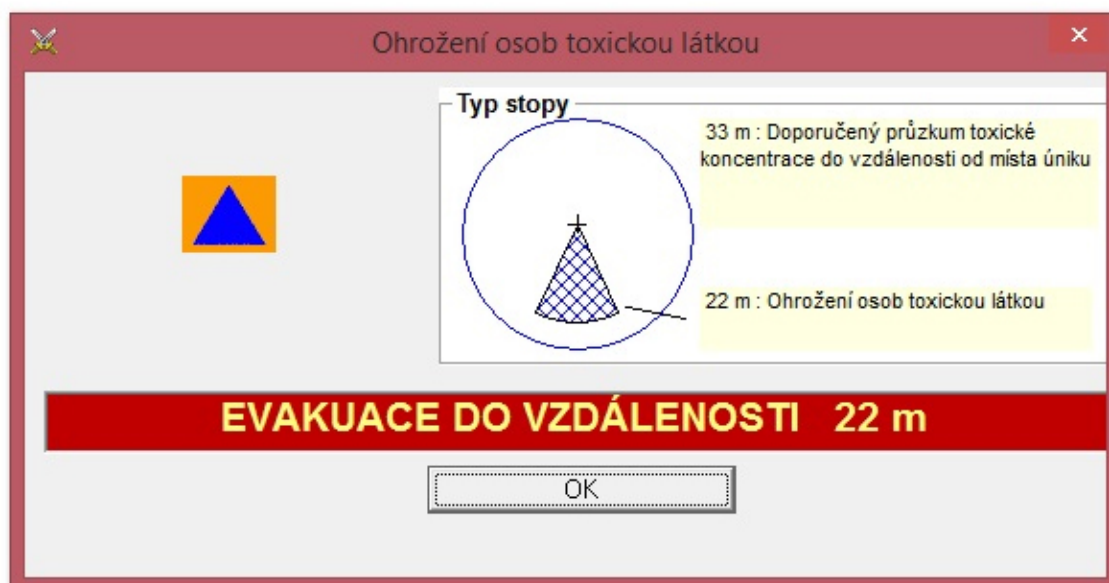
Model:	PLUME
Látka:	Sarin
Teplota kapaliny v louži:	25 °C
Plocha louže kapaliny:	1 m <sup>2</sup>
Rychlost větru v přízemní vrstvě:	1 m /s
Pokrytí oblohy oblaky:	50 %
Doba vzniku a průběhu havárie:	den - léto
Typ atmosférické stálosti:	A - konvekce
Typ povrchu ve směru šíření látky:	obytná krajina

Atmosférické podmínky byly zvoleny s ohledem na letové vlastnosti dronu, který za těchto podmínek prokazuje nejlepší letové vlastnosti.

Ze zadaných dat vyhodnotil TerEx rozsah ohrožení takto:

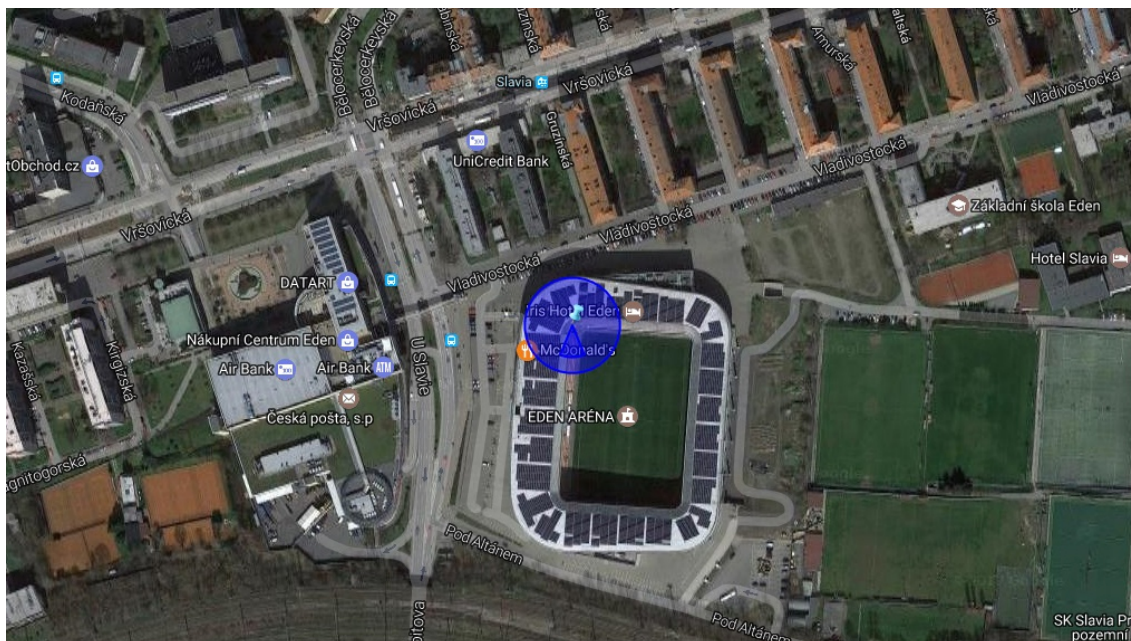
Nezbytná evakuace osob: 22 m

Doporučený průzkum toxické koncentrace: 33 m



Obrázek 20 – Ohrožení osob toxickou látkou Sarin - pomalý odpar kapaliny z louže  
Zdroj: vlastní

Z výstupních dat je vidět, že ohrožení osob by bylo obdobné jako v případě výbušného zařízení. Stejně tak by došlo k velkému zranění nebo usmrcení osob jak působením chemické látky, tak i následnou panikou při útěku z místa útoku. Rozsah ohrožení na stadionu je zobrazen na obrázku 24. V případě biologických agens by bylo vhodné cílit tento útok spíše do veřejně přístupných míst, jako je Staroměstské náměstí, z důvodu většího šíření infekční nemoci a stížení zavedení karantény.



Obrázek 21 – Mapa ohrožení osob toxickou látkou Sarin - pomalý odpar z louže

Zdroj: vlastní

#### 11.4.2 Postupný rozptýl nebezpečné látky za letu

Dron umožňuje nejen nebezpečnou látku shodit na cíl, umožňuje také rozptýlit nebezpečnou látku přímo ze vzduchu. Pro tento scénář byl proveden jednoduchý pokus, při kterém byla na dron umístěna láhev a posléze látkou kropena plocha pod strojem. Do plastové láhve bylo umístěno 500 ml vody obarvené potravinářským barvivem. Ve spodní části láhve byly vyraženy 3 dírky o velikosti 2 mm rovnoměrně vzdálené od sebe, které zajišťovaly pomalý průtok kapaliny z láhve. Dron se poté pohyboval ve výšce 10 m po určené trajektorii a kropil plochu pod sebou (obrázek 22). Při tomto pokusu byl obsah 500 ml vyprázdněn během 34 vteřin a pomocí metru bylo změřeno pokrytí plochy o velikosti přes 70 m<sup>2</sup>.



Obrázek 22 - Rozptyl kapalné látky z dronu

Zdroj: vlastní

I z takto jednoduchého řešení rozptylu nebezpečné látky je zřejmé, že představuje velké nebezpečí pro civilní obyvatelstvo. Útočník touto formou dokáže zacílit nejen na shromáždění osob, ale např. na fronty lidí nebo na běžící cíle. Se sofistikovanějším zařízením pro rozptyl lze předpokládat, že pokrytá plocha nebezpečnou látkou by byla několikrát větší. Tento scénář útoku je vhodný pro šíření biologických agens, kdy by byla pokryta velká plocha a usnadnilo by se tak šíření infekčních nemocí.

### 11.4.3 Rozptyl chemické látky za pomoci výbušniny

Scénář počítá s použitím zařízení skládajícího se z nebezpečné chemické látky a malého množství výbušniny, což slouží k rozptýlení látky do okolí. Pro šíření biologických agens není tento typ útoku příliš vhodný. To především z důvodu možnosti zničení choroboplodných zárodků během výbuchu. Pro velký počet návštěvníků a lepší proudění větru, než je např. na stadionu, bylo pro modelaci zvoleno místo útoku Staroměstské náměstí. Jako nebezpečná látka k modelaci tohoto scénáře útoku byla opět zvolena nervově paralytická látka sarin.

Na vyhodnocení stanoveného scénáře byl použit program ALOHA, ve kterém byl modelován útok jako náhlý únik látky do okolí z výšky 10m. Tento program byl použit z důvodu, že umožňuje modelovat únik nebezpečné látky z výšky.

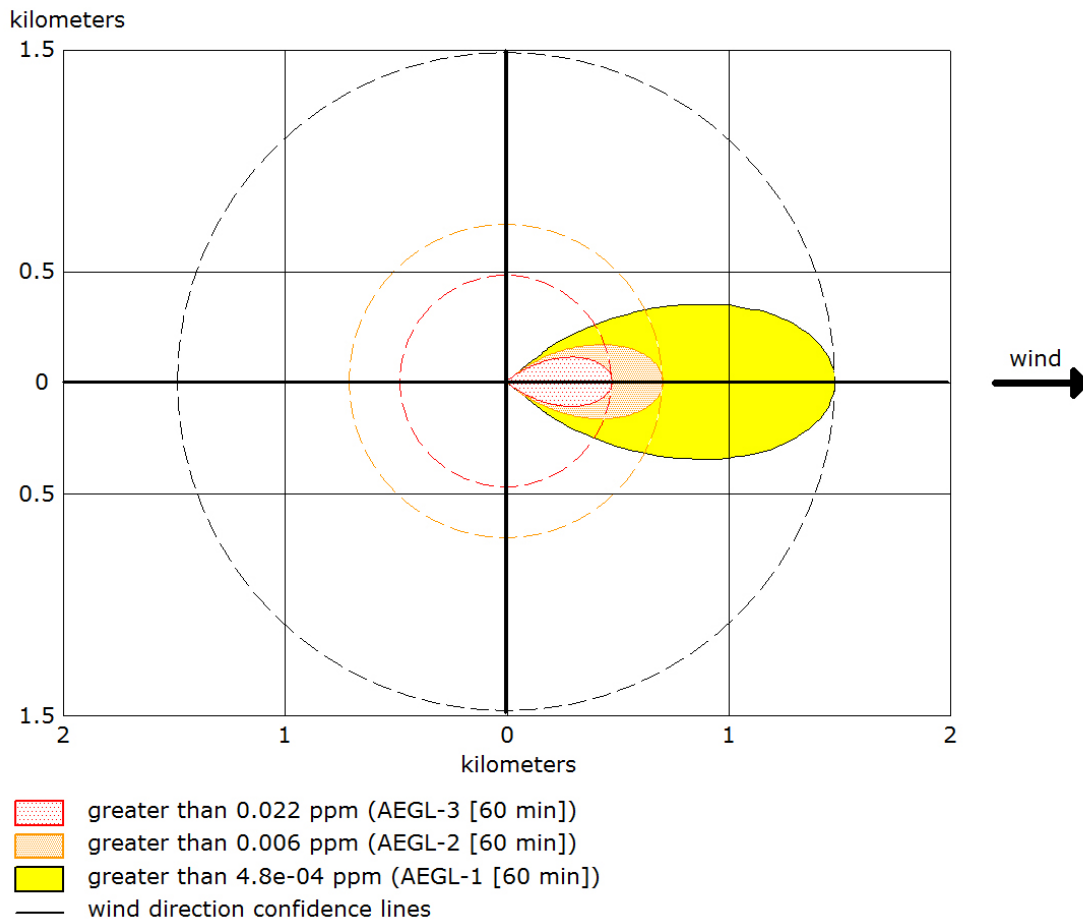
Do modelovacího programu ALOHA byly zadány tyto parametry:

Chemická látka:	Sarin
Teplota vzduchu:	25 °C
Rychlost větru v 10m:	1 m /s
Pokrytí oblohy oblaky:	50 %
Doba vzniku a průběhu havárie:	Den - Léto
Typ atmosférické stálosti:	A - konvekce
Typ povrchu ve směru šíření látky:	Obytná krajina
Množství látky:	500 ml (544 g)

Ze zadaných dat vyhodnotila ALOHA rozsah ohrožení takto:

Malá koncentrace, malé ohrožení zdraví osob:	1,5 km
Střední koncentrace, vážné poškození zdraví osob:	691 m
Vysoká koncentrace, smrtelné ohrožení zdraví:	451 m





Obrázek 23 - Ohrožení osob toxickou látkou Sarin – rozptyl z výšky 10 m Zdroj: vlastní

Z modelu lze vyčíst, že rozsah ohrožení osob by byl značný. Přes Staroměstské náměstí denně prochází velké množství návštěvníků a patří k nejnavštěvovanějším místům v Praze, proto by si případný chemický útok vyžádal velké množství obětí. Model opět počítá s nejhorším možným scénářem, avšak při reálném útoku lze předpokládat, že díky zástavbě a nestálému proudění vzduchu by byly následky menší. Rozsah ohrožení je zobrazen na obrázku 24.



Obrázek 24 - Mapa ohrožení osob toxickou látkou Sarin – rozptyl z výšky 10 m

Zdroj: vlastní

## 11.5 Útok s radioaktivním materiálem

Dron lze využít i útoku s takzvanou „špinavou bombou“, což je zařízení skládající se z radioaktivního materiálu a výbušniny, která slouží k rozptýlení látky do okolí. Tento způsob útoku je především psychologickou záležitostí a má za účel vyvolat paniku mezi veřejností. Program TerEx umožňuje pomocí modelu SPREAD vyhodnotit dosah aerosolů rozprášených výbuchem, které mohou být nosičem CBRN látek. V tomto modelu je pro simulaci v programu nutnost zadat nejméně 5 kg radioaktivní látky a dalších 5 kg výbušniny, což je nad rámec nosnosti pro dnešní cenově dostupné multikoptéry. Pro tento typ útoku byl tedy v TerExu použit model EXPLOSIVE, který modeluje dopady detonace výbušných systémů o velikosti 400 g výbušniny a následně použit program ALOHA, ve kterém byl modelován útok jako náhlý únik látky, v tomto modelu radioaktivní látky kobaltu-60 ( $^{60}\text{Co}$ ) o váze 100 g, do okolí z výšky 10 m.

Do modelovacího programu TerEx byly zadány tyto parametry:

Model:	EXPLOSIVE
Hmotnost nálože:	0,4 kg
Typ výbušniny v náloži:	Neznámá výbušnina

Do modelovacího programu ALOHA byly zadány tyto parametry:

Chemická látka:	Kobalt-60
Teplota vzduchu:	25 °C
Rychlost větru v 10 m:	1 m/s
Pokrytí oblohy oblaky:	50 %
Doba vzniku a průběhu havárie:	Den - Léto
Typ atmosférické stálosti:	A - konvekce
Typ povrchu ve směru šíření látky:	Obytná krajina
Množství látky:	100 g

Pro oblast spadu radioaktivní látky byly zvoleny objemové koncentrace kobaltu-60:

1.  $1 \text{ mg/m}^3$  - odpovídá 14,63 mSV/h ze vzdálenosti 1 m
2.  $0,06 \text{ mg/m}^3$  - odpovídá 1 mSV/h ze vzdálenosti 1 m
3.  $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  - odpovídá 0,01463 mSV/h ze vzdálenosti 1 m

Ze zadaných dat vyhodnotili modelovací programy rozsah ohrožení takto:

Bezpečnostní vzdálenost pro nekryté osoby: 280 m

Ohrožení osob uvnitř budov okenním sklem: 31 m

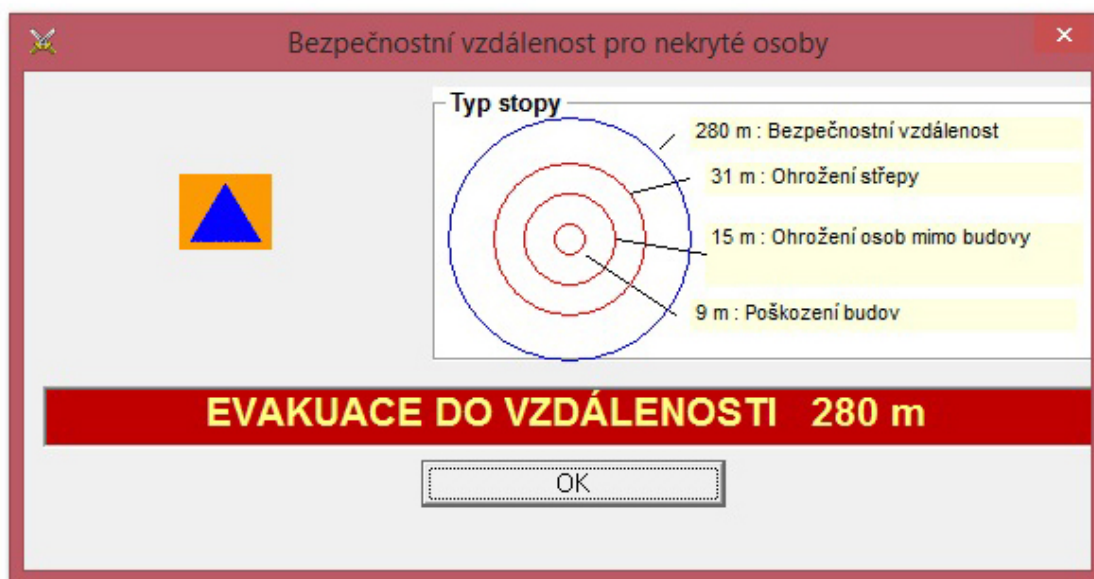
Ohrožení osob mimo budovy závažným poraněním: 15 m

Závažné poškození budov: 9 m

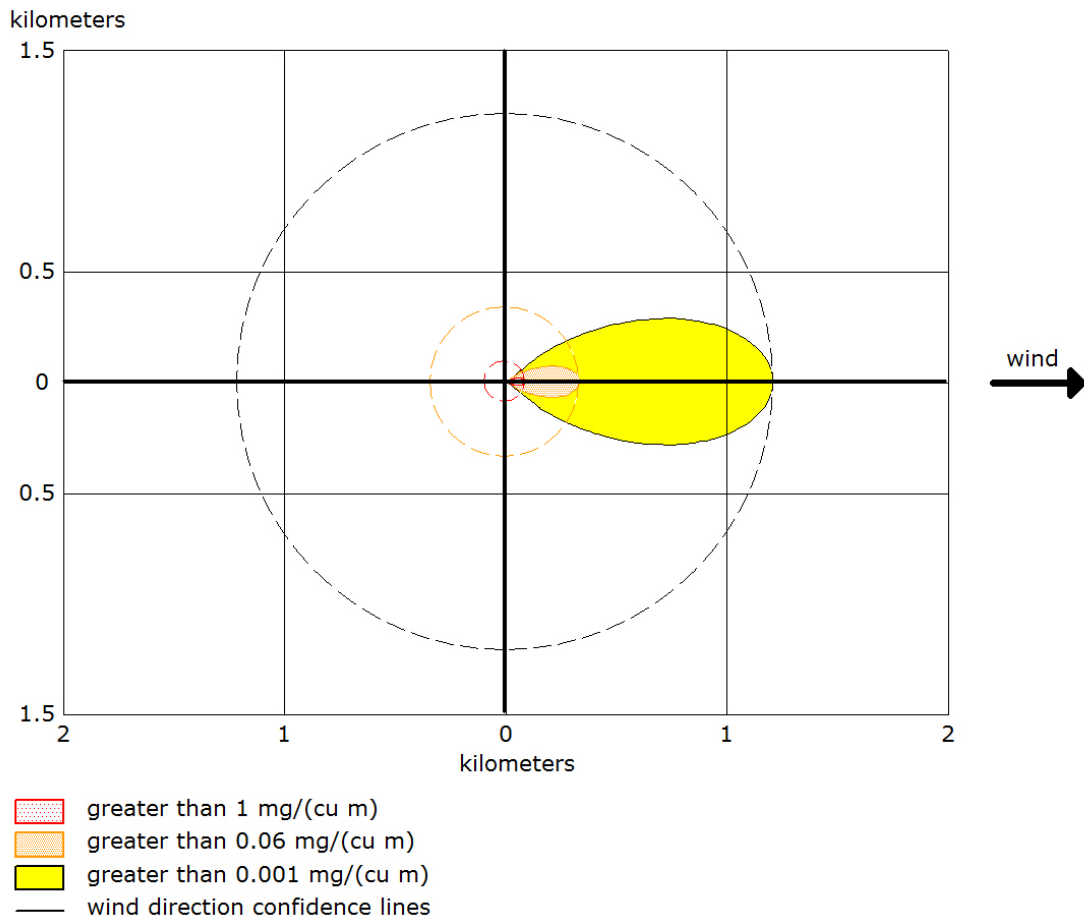
Objemové koncentrace  $1 \text{ mg/m}^3 \text{ }^{60}\text{Co}$ : 94 m

Objemové koncentrace  $0,06 \text{ mg/m}^3 \text{ }^{60}\text{Co}$ : 338 m

Objemové koncentrace  $1 \text{ }\mu\text{g/m}^3 \text{ }^{60}\text{Co}$ : 1,2 km



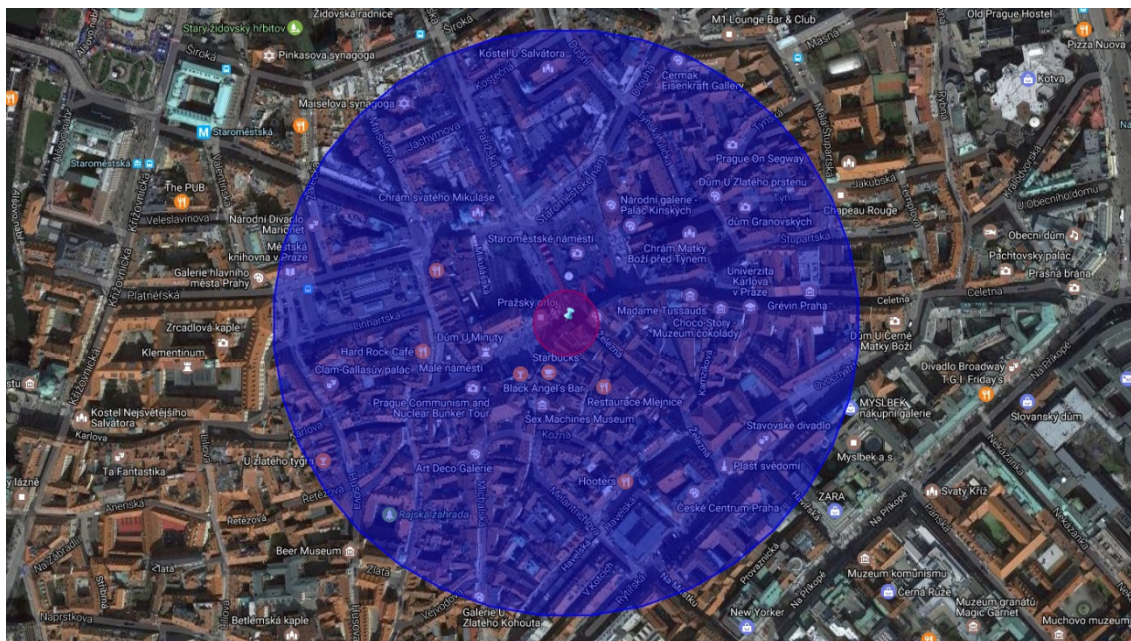
Obrázek 25 - Bezpečnostní vzdálenost pro nekryté osoby při útoku špinavou bombou  
Zdroj: vlastní



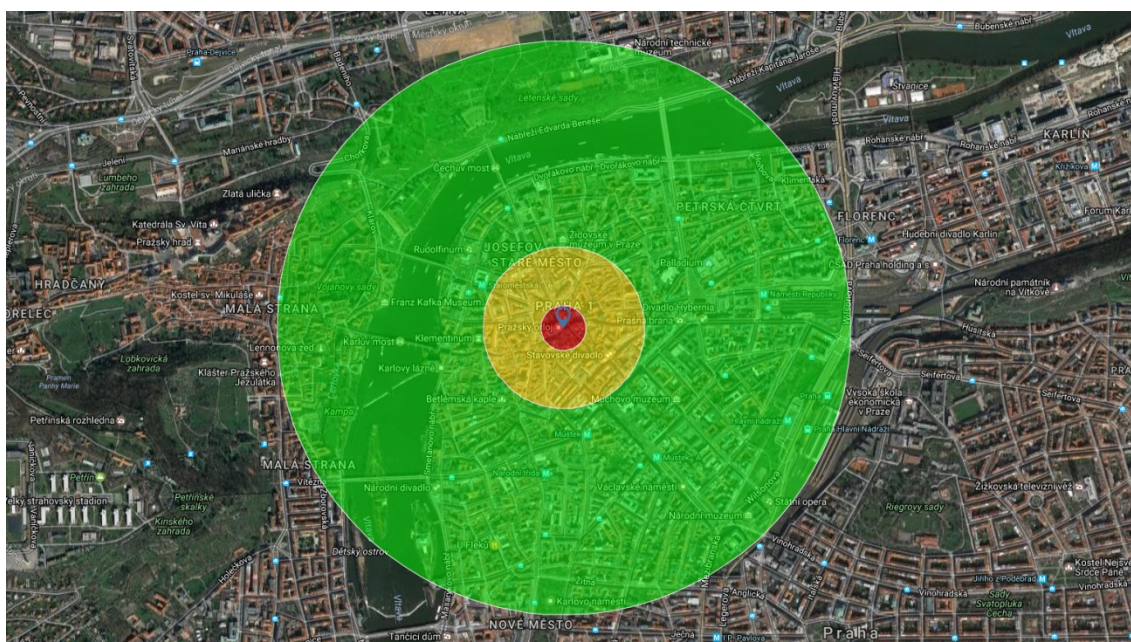
Obrázek 26 - Ohrožení radioaktivní látkou Kobalt-60 při útoku špinavou bombou

Zdroj: vlastní

Z výsledků modelace vyplývá, že větší nebezpečí představuje samotná výbušnina než radioaktivní materiál rozptýlený do okolí. Objemové koncentrace kobaltu rozptýleného po výbuchu jsou příliš nízké, než aby představovali vážné poškození zdraví obyvatel v krátkém časovém období. Útok špinavou bombou za pomoci dronu tedy představuje spíše psychologickou zbraň. Na obrázku 28 je útok situován na Staroměstské náměstí, kde lze vidět, že radioaktivní materiál by zasáhl rozsáhlou oblast města. V takovém případě by byla dekontaminace zastavěného území velmi obtížná a znamenala by velké finanční ztráty.



Obrázek 27 – Mapa ohrožení výbuchem při útoku špinavou bombou Zdroj: vlastní



Obrázek 28 - Mapa ohrožení radioaktivní látkou Kobalt-60 při útoku špinavou bombou Zdroj: vlastní

## 12 SWOT ANALÝZA

SWOT analýza je komplexní metoda kvalitativního vyhodnocení veškerých relevantních stránek fungování subjektu, v našem případě zneužití dronu k teroristickému útoku. Je silným nástrojem pro celkovou analýzu vnitřních i vnějších činitelů a zahrnuje postupy technik strategické analýzy.

SWOT je zkratkou slov z angličtiny: Strengths (silné stránky), Weaknesses (slabé stránky), Opportunities (příležitosti), Threats (hrozby). Jádrem metody tedy spočívá v klasifikaci a ohodnocení jednotlivých faktorů, které jsou rozděleny do 4 základních skupin. Jedná se o faktory vyjadřující silné nebo slabé vnitřní stránky subjektu a faktory vyjadřující příležitosti a nebezpečí. Analýzou vzájemné interakce jednotlivých faktorů silných a slabých stránek na jedné straně vůči příležitostem a nebezpečím na straně druhé, lze získat nové kvalitativní informace, které charakterizují a hodnotí úroveň jejich vzájemného střetu.

SWOT analýza byla sestavena za pomoci popisu vlastností a funkcí UAV, z jejich zneužití, eliminací a ze simulací možných druhů útoků.

*Tabulka 2 - SWOT analýza k použití dronu k teroristickému útoku*

	Silné stránky	Slabé stránky
Vnitřní prostředí	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nízká pořizovací cena</li> <li>- jednoduché ovládání</li> <li>- vzdálené ovládání</li> <li>- automatický let</li> <li>- velká operativní vzdálenost</li> <li>- možnost nést různé druhy zařízení</li> <li>- obtížná detekce</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- závislost na povětrnostních podmínkách</li> <li>- malá výdrž baterie</li> <li>- menší nosnost</li> <li>- závislost na přijímaném signálu (GPS, vysílač)</li> <li>- selhání funkcí</li> </ul>
	Příležitosti	Hrozba
Vnější prostředí	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rozvoj technologie</li> <li>- zvětšující se počet výrobců</li> <li>- zkušenosti z válečných konfliktů</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vývoj detekčních a obraných technologií</li> <li>- zpřísnění legislativy</li> <li>- omezení výroby</li> </ul>

Z analýzy jasně vyplývá, že výhody zneužití bezpilotních prostředků k teroristickému útoku převažují nad nevýhodami. Drony jsou poměrně novou technologií, z čehož vyplývají její silné i slabé stránky. Drony jsou snadno ovladatelné stroje, které dokáží nést velké množství různých druhů zařízení i nákladů, jejich systémy umožňují automatický let a navádění podle souřadnic. Zároveň jsou ale drony závislé na několika faktorech, a to na povětrnostních podmínkách, počasí, systémem řízení a navádění jako je GPS a na výdrži baterie.

S postupným rozvojem technologií se stávají drony dostupnější a jsou vybaveny novými systémy a zdroji. Díky tomu se stávají nástrojem pro protiprávní činnost. Na to reagují národní a mezinárodní orgány, které postupně zpřísňují podmínky a legislativu pro používání bezpilotních letounů, zároveň vyvíjejí systémy před zneužitím těchto strojů.



## 13 DISKUZE

Stejně jako při nástupu jakékoliv nové technologie, např. počítačů, internetu nebo chytrých telefonů, představují drony novou etapu v technologickém vývoji společnosti. Malé bezpilotní letouny jsou levné, snadno dostupné a mohou svým operátorům poskytnout vzdálenost a anonymitu. Drony se rozšířily v masivním měřítku s odhadem více než pěti milionů prodaných kusů po celém světě. Stejná technologie, která umožnila revoluci s telefonem, nyní poskytuje bezprecedentní přístup do vzduchu.

Díky vývoji systémů, jako jsou polohové navigační systémy a digitální kompas pro navádění, gyroskopy a akcelerometry pro stabilizaci nebo elektro-optické senzory pro orientaci v prostředí, se staly téměř ideálním prostředkem k provádění nespočtu činností a úkolů ve vzdušném prostoru. Díky nim můžeme dnes obdivovat úžasné letecké záběry měst, architektury nebo přírody, kontrolovat dopravu, hlídat stav budov, technických sítí nebo území, pátrat po osobách, zachraňovat životy či dopravovat zboží. Drony se dnes dostávají téměř do všech odvětví, kde provádí různorodou činnost. Ale stejně jako jakákoliv technologie, i ony se dají zneužít. Představují velké bezpečnostní riziko pro společnost, ať už se jedná o narušování soukromí, špionáž, pašeráctví, distribuci drog či terorismus.

Drony mají přístup prakticky kamkoliv, kde je možno s nimi létat. Snadno s ním tak vlétneme na stadion, na náměstí, do blízkosti elektráren a chemických závodů, na střechy výškových budov nebo přímo oknem do místnosti. Drony dokáží nést téměř jakýkoliv druh nákladu, může se tedy jednat o různé druhy zbraní, výbušniny, chemické látky, biologické agens nebo radioaktivní materiál. Tyto vlastnosti představují pro teroristy ideální nástroj pro šíření teroru.

Riziko, jaké představují, bylo ve světě již prokázáno. Islámský stát používá drony ke sledování a k ničení malých obrněných vozidel. Měření na komerčně prodávané kvadrokoptěře prokázalo, že je schopna nést bez potíží malý náklad na velkou vzdálenost. I když jsou schopni nést jen omezený náklad, z modelace různých druhů útoku jasně vyplývá, že se nejedná o zanedbatelnou hrozbu.

Jako nejvýznamnější typ útoku se v modelech ukázal útok za pomoci chemické látky. Na rozdíl od výbušnin nebo radioaktivního materiálu, jsou chemické látky i přes omezení jejich výroby a manipulace s nimi, snadno dostupné a relativně levné. Drony nimi dokáží navíc pokrýt z výšky mnohem větší plochu, než kdyby byl takovýto útok proveden na zemi.

Se vzrůstajícím nebezpečím nejen teroristického útoku zavádí mnoho států jasná pravidla pro používání dronů. V ČR jsou tato pravidla zakotvena v Doplňku X. I když doplněk zavádí povinnosti a pravidla jako např. žádné létání bez přímého vizuálního dohledu, ochranná pásma, zákaz shazování jakéhokoliv nákladu, zákaz létání nad osobami, stavbami, v osídleném prostoru, evidence, povolení, testy atd. Ani toto však nezabrání uživatelům k úmyslnému zneužití.

Jaké nebezpečí drony představují lze vidět i na vývoji obrany proti nim. Mnoho státních a soukromých firem vyvíjí sofistikované systémy pro odhalování a k likvidaci malých bezpilotních letounů. Přestože jde vývoj těchto systémů dopředu, stále je tady několik překážek, které znesnadňují jejich detekci. Jednak je to jejich velikost, rozmanitost modelů nebo tvar, a také prostředí, ve kterém se pohybují, kdy v zastavěné oblasti je kvůli rušivým vlivům obtížnější stroj zachytit a eliminovat, než např. v otevřené krajině. Jako nejnadanější v oblasti eliminace se zdá využití jejich hlavních slabín, jako je závislost na přijímaných signálech.

S případnými útoky musí do budoucna počítat i záchranné složky. Na zvládnutí útoku výbušným improvizovaným zařízením, chemickými a biologickými zbraněmi či špinavou bombou, jsou již dnes záchranné složky připravené. Postupy zvládnutí těchto situací jsou uvedeny v jejich typových činnostech. Avšak např. modelovací programy typu TerEx nepočítají s možností útoku za pomoci těchto prostředků ze vzduchu.

Ještě před deseti lety byly autonomní létající drony jen představou ve sci-fi románech, dnes na ně můžeme narazit při nespočtu činnostech okolo nás. Jsou stále výkonnější, mají lepší systémy a dokáží nést větší náklady. Přichází se na stále více způsobů jak je využít či zneužít. Vývoj nových technologií jde nezadržitelně dopředu a s ním i rozšíření těchto strojů. Do budoucna se s nimi musí počítat, proto se je třeba nastavit jasná pravidla a systémy, aby nebylo možné tyto stroje zneužít. Není otázkou, jestli s nimi bude spáchán teroristický útok, ale kdy.

## 14 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi teroristických útoků za pomoci bezpilotního prostředku. V práci je charakterizován pojem UAV, do jakých kategorií se dělí a jakými systémy je vybaven. V práci jsou uvedeny legislativní podmínky platné pro jeho provoz v ČR. Dále práce pojednává o možnosti zneužití dronu k protiprávní činnosti a jak se proti tomu bránit. Pomocí měření komerčně prodávaného dronu a simulací v softwarových nástrojích pro dopady účinků různých druhů teroristických útoků, bylo zjištěno, jaké následky a dopady je takto zneužitý stroj schopen napáchat. Ve SWOT analýze byly klasifikovány jeho silné a slabé stránky. Je zde také uvedeno, že jeho výhody pro provedení teroristického útoku převažují nad nevýhodami.

Malé drony jsou poměrně novou záležitostí, ale už nyní ovlivňují prostředí, ve kterém žijeme. I když jsou tyto bezpilotní prostředky v mnoha oborech velkým přínosem (multimédia, technické práce, kontrola, dozor) mohou v nesprávných rukou představovat velké riziko. Drony jsou malé, rychlé a snadno ovladatelné stroje. Jejich zneužití k teroristickému útoku je jen otázka času. Jak bylo zjištěno v práci, tato hrozba není bezvýznamná.

## 15 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

UAV	Unmanned Aerial Vehicles
ZHN	Zbraně hromadného ničení
ČR	Česká republika
IZS	Integrovaný záchranný systém
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
RC	Radio control
ES	Evropská směrnice
ÚCL	Úřad pro civilní letectví
ATZ	Letištní provozní zóna
CTR	Control zone
MCTR	Military control zone
DEA	Drug Enforcement Agency
MHR	Multi-Mission Hemispheric Radar
AUDS	Anti-UAV Defence System
např.	například
apod.	a podobně

## 16 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1]. **GUNDLACH, Jay.** *Designing unmanned aircraft systems: a comprehensive approach.* místo neznámé : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2014. 9781624102615.
- [2]. Úřad pro civilní letectví. *Co je to bezpilotní letadlo, bezpilotní systém, model letadla?* [Online] [Citace: 12. 1 2017.] <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/co-je-to-bezpilotni-letadlo-bezpilotni-system-model-letadla>.
- [3]. **Středa, Ladislav.** *natoaktual.cz. CBRN terorismus – vážná hrozba 21. století.* [Online] 10. 5 2005. [Citace: 1. 2 2017.] [http://www.natoaktual.cz/cbrn-terorismus-vazna-hrozba-21-stoleti-d9o-na\\_analyzy.aspx?c=A050510\\_094008\\_na\\_analyzy\\_m02](http://www.natoaktual.cz/cbrn-terorismus-vazna-hrozba-21-stoleti-d9o-na_analyzy.aspx?c=A050510_094008_na_analyzy_m02).
- [4]. **Matoušek, Jiří, Mika, Otakar a Vičar, Dušan.** *Nové hrozby terorismu: chemický, biologický, radiologický a jaderný terorismus.* Brno : Univerzita obrany, 2005. 80-7231-037-2.
- [5]. **ZALOGA, Steven.** *ZALOGA, Steven. Unmanned aerial vehicles: robotic air warfare 1917-2007.* New York : Bloomsbury Publishing, 2011. 9781849089661.
- [6]. **ARJOMANDI, Maziar.** *Academia.edu. Classification of unmaned aerial vehicles.* [Online] 2007. [Citace: 11. 1 2017.] <http://www.mecheng.adelaide.edu.au/~marjom01/Aeronautical%20Engineering%20Projects/2006/group9.pdf>.
- [7]. **Úřad pro civilní letectví.** *Letecká informační služba. Letecký předpis Pravidla létání L2 - Doplněk X.* [Online] [Citace: 17. 1 2017.] <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>.
- [8]. **ŘEHÁK, Martin.** *Využití bezpilotních prostředků ve fotogrametrii.* Katedra mapování a kartografie, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Praha : autor neznámý, 2012. Diplomová práce.
- [9]. **Eisenbeiß, Henri.** *UAV photogrammetry.* Zurich : Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, 2009. 978-3-906467-86-3.
- [10]. **BEARD, Randal W. a MCLAIN, Timothy W.** *Small unmanned aircraft: theory and practice.* Princeton : Princeton University Press, 2012. 0691149216.
- [11]. **Novák, Jan A.** *Droneweb. Seriál: Začínáme s drony: 4. Výhody a zrady GPS.* [Online] 1. 5 2016. [Citace: 1. 2 2017.] <http://www.droneweb.cz/zaciname/item/52-gps-drony>.
- [12]. **RAPANT, Petr.** *Družicové polohové systémy.* Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002. 80-248-0124-8.

- [13]. **Corrigan, Fintan.** DroneZon. *Drone Gyro Stabilization, IMU And Flight Controllers Explained*. [Online] 12. 6 2016. [Citace: 22. 1 2017.] <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/three-and-six-axis-gyro-stabilized-drones/>.
- [14]. **Dujíček, Martin.** *Barometrický výškoměr pro RC modely letadel*. Brno : autor neznámý, 2012. Bakalářská práce.
- [15]. **Garg, Yash.** RC Drone Arena. *Knowledge Base: What is Return to Home on a drone?* [Online] 17. 12 2015. [Citace: 2. 2 2017.] <http://www.rcdronearena.com/2015/12/17/what-is-one-key-return-to-home-on-a-drone-quadcopter/>.
- [16]. **Novák, Jan A.** DroneWeb. *Není kamera jako kamera*. [Online] 8. 2 2017. [Citace: 12. 2 2017.] <http://www.droneweb.cz/kamery/item/114-drony-kamery>.
- [17]. **Drone Trest.** Drone Trest. *Beginners guide to drone autopilots (flight controllers) and how they work*. [Online] 15. 11 2015. [Citace: 11. 2 2017.] <http://www.dronetrest.com/t/beginners-guide-to-drone-autopilots-flight-controllers-and-how-they-work/1380>.
- [18]. **Snow, Colin.** Dronelife. *Sense and Avoid for Drones is No Easy Feat*. [Online] 20. 10 2016. [Citace: 12. 1 2017.] <http://dronelife.com/2016/09/20/sense-and-avoid-for-drones-is-no-easy-feat/>.
- [19]. Drone Compares. *What You Need to Know About "Follow-Me" Technology*. [Online] 25. 5 2016. [Citace: 22. 1 2017.] <http://www.dronecompares.com/need-know-follow-technology/>.
- [20]. **Minařík, Petr.** Droncentrum. *Ovládání dronů hlasem již brzy!* [Online] 23. 2 2016. [Citace: 6. 1 2017.] <http://www.droncentrum.cz/ovladani-dronu-hlasem-jiz-brzy/>.
- [21]. **Diana, Frank.** Frank Diana's Blog. *Artificial Intelligence Intersects with Drones*. [Online] 24. 8 2016. [Citace: 23. 1 2017.] <https://frankdiana.net/2016/08/24/artificial-intelligence-intersects-with-drones/>.
- [22]. **Mihulka, Stanislav.** Osel. *Američané úspěšně otestovali hejno mikrodronů vypuštěných z letadel*. [Online] 12. 1 2017. [Citace: 11. 2 2017.] <http://www.osel.cz/9189-americane-uspesne-otestovali-hejno-mikrodronu-vypustenych-z-letadel.html>.
- [23]. **Pašková, Miroslava.** Státní ozbrojené a bezpečnostní složky. *Drony ve světě zločinu: Jako vždy mají lumpové náskok*. [Online] 2. 2 2015. [Citace: 12. 2 2017.] <http://www.ozbrojeneslozky.cz/clanek/drony-ve-svete-zlocinu-jako-vzdy-maji-lumpove-naskok>.
- [24]. Úřad pro ochranu osobních údajů. *Nezvaná návštěva může přiletět dronem*. [Online] 18. 1 2016. [Citace: 12. 2 2017.]

[https://www.uoou.cz/VismoOnline\\_ActionScripts/File.ashx?id\\_org=200144&id\\_dokumenty=18912](https://www.uoou.cz/VismoOnline_ActionScripts/File.ashx?id_org=200144&id_dokumenty=18912).

[25]. **Malachovská, Alexandra.** Aktuálně. *Pašeráci mají pod Karpaty ráj. Tady je ukrajinská Sicílie.* [Online] 28. 8 2015. [Citace: 12. 2 2017.] <https://zpravy.aktualne.cz/zahranici/reportaz-z-ukrajinske-sicilie-paseraci-maji-pod-karpaty-raj/r~1ce6a9e23cd411e5b22d002590604f2e/?redirected=1488460575>.

[26]. **Lipertová, Martina.** Týden. *Za pomoci dronu pašovali do vězení drogy, zbraně a porno.* [Online] 26. 8 2015. [Citace: 12. 2 2017.] <http://svetaplikasi.tyden.cz/za-pomoci-dronu-pasovali-do-vezeni-drogy-zbrane-a-porno/>.

[27]. **Minařík, Petr.** Droncentrum. *Hackování bezdrátových tiskáren s pomocí telefonu a dronu.* [Online] 23. 2 2016. [Citace: 22. 2 2017.] <http://www.droncentrum.cz/hackovani-bezdratovych-tiskaren-s-pomoci-telefonu-a-dronu/>.

[28]. **Prigg, Mark.** Daily mail. *Has New York's traffic light system been HACKED? Researcher claims to be able to control Manhattan traffic.* [Online] 30. 4 2014. [Citace: 28. 2 2017.] <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2617228/New-Yorks-traffic-lights-HACKED-technique-work-world.html>.

[29]. **Všetečka, Roman.** iDnes. *Hacker přišel na to, jak populární dron proměnit v zombie.* [Online] 12. 5 2013. [Citace: 1. 2 2017.] [http://technet.idnes.cz/hack-bezpilotniho-dronu-parrot-ar-drone-f0q-/hardware.aspx?c=A131204\\_143901\\_hardware\\_vse](http://technet.idnes.cz/hack-bezpilotniho-dronu-parrot-ar-drone-f0q-/hardware.aspx?c=A131204_143901_hardware_vse).

[30]. **BBC.** BBC News. *Australian triathlete injured after drone crash.* [Online] 7. 4 2014. [Citace: 28. 2 2017.] <http://www.bbc.com/news/technology-26921504>.

[31]. **ČTK.** Aktuálně. *Dron se u Mnichova málem srazil s letadlem. Airbus plný lidí ho minul o deset metrů.* [Online] 6. 8 2016. [Citace: 1. 3 2017.] <https://zpravy.aktualne.cz/zahranici/dron-se-u-mnichova-malem-srazil-s-letadlem-airbus-ho-minul-o-r~ac23e1605bd211e6abfa0025900fea04/>.

[32]. **BBC.** BBC News. *EDF France: Inquiry after drones buzz nuclear sites.* [Online] 30. 10 2014. [Citace: 1. 3 2017.] <http://www.bbc.com/news/world-europe-29831897>.

[33]. **ČTK.** iDnes. *Islámský stát vybavil bezpilotní stroje náložemi, létající bomba zabíjela.* [Online] 12. 10 2016. [Citace: 17. 1 2017.] [http://zpravy.idnes.cz/islamsky-stat-bezpilotni-letoun-dron-irak-fju-/zahranicni.aspx?c=A161012\\_055706\\_zahranicni\\_ane](http://zpravy.idnes.cz/islamsky-stat-bezpilotni-letoun-dron-irak-fju-/zahranicni.aspx?c=A161012_055706_zahranicni_ane).

[34]. **Hájek, Adam.** iDnes. *IS vypouští smrtící kvadroptéry, pumy dělá z granátů a míčeků na badminton.* [Online] 28. 2 2017. [Citace: 28. 2 2017.] [http://zpravy.idnes.cz/islamsky-stat-drony-mosul-dc6-/zahranicni.aspx?c=A170227\\_150556\\_zahranicni\\_aha](http://zpravy.idnes.cz/islamsky-stat-drony-mosul-dc6-/zahranicni.aspx?c=A170227_150556_zahranicni_aha).

- [35]. **Horgan, John a Taylor, Max.** *The Future of Terrorism.* New York : Routledge, 2013. 9781136329722.
- [36]. **Cole, Benjamin.** *The Changing Face of Terrorism: How Real is the Threat from Biological, Chemical and Nuclear Weapons?* New York : I.B.Tauris, 2011. 9780857718860.
- [37]. **ČTK.** Aktuálně. *Zatčen Japonec, který poslal radioaktivní dron k premiérovi.* [Online] 25. 4 2015. [Citace: 3. 3 2017.] <https://zpravy.aktualne.cz/zahranici/zatcen-japonec-ktery-poslal-radioaktivni-dron-k-premierovi/r~3563d80aeb1211e4994f002590604f2e/>.
- [38]. **Minařík, Petr.** Droncentrum. *Šílený nápad - dron vybavený plamenometem.* [Online] 23. 2 2016. [Citace: 24. 2 2017.] <http://www.droncentrum.cz/sileny-napad-dron-vybaveny-plamenometem/>.
- [39]. **Bieber, Nicholas.** Mirror. *Incredible flying flamethrower drones burn debris off of power lines in job too dangerous for humans.* [Online] 18. 2 2017. [Citace: 28. 2 2017.] <http://www.mirror.co.uk/news/world-news/incredible-flying-flamethrower-drones-burn-9847548>.
- [40]. **Dunn, James.** Daily Mail. *Now that's a chopper: Friends make a drone-controlled CHAINSAW and use it to hack at trees and even decapitate a snowman.* [Online] 3. 4 2016. [Citace: 4. 3 2017.] <http://www.dailymail.co.uk/news/article-3521759/Now-s-chopper-Friends-make-drone-controlled-CHAINSAW-use-hack-trees-decapitate-snowman.html>.
- [41]. **Minařík, Petr.** Droncentrum. *Policie v Severní Dakote využívá drony vybavené tasery.* [Online] 23. 2 2016. [Citace: 22. 2 2017.] <http://www.droncentrum.cz/policie-v-severni-dakote-vyuziva-drony-vybavene-tasery/>.
- [42]. **Wolff, Christian.** Radar tutorial. *Radar Principle.* [Online] [Citace: 11. 3 2017.] <http://www.radartutorial.eu/01.basics/Radar%20Principle.en.html>.
- [43]. **Grohmann, Jan.** iDnes. *Válka dronů zuří nad iráckým Mosulem. Poučit se může i Armáda ČR.* [Online] 26. 3 2017. [Citace: 27. 3 2017.] [http://technet.idnes.cz/valka-dronu-nad-mosulem-0vx-/vojenstvi.aspx?c=A170324\\_105528\\_vojenstvi\\_erp](http://technet.idnes.cz/valka-dronu-nad-mosulem-0vx-/vojenstvi.aspx?c=A170324_105528_vojenstvi_erp).
- [44]. **Srubar, Martin.** Techblog. *Pasivní radary jako strategická zbraň.* [Online] 26. 8 2005. [Citace: 2. 2 2017.] <http://www.techblog.cz/technologie/pasivni-radary-jako-strategicka-zbran.html>.
- [45]. **Benjamin, Minas a Goldman, Geoffrey H.** Defense Technical Information Center. *Acoustic Detection and Tracking of a Class I UAS with a Small Tetrahedral Microphone Array.* [Online] 22. 9 2014. [Citace: 16. 3 2017.] [www.dtic.mil/docs/citations/ADA610599](http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA610599).



- [46]. **Ševčík, Jiří.** Intelligent Video Surveillance System Evaluation. *Proceedings of the 2014 International Conference on Applied Mathematics, Computational Science & Engineering*. Varna : autor neznámý, 2014.
- [47]. Idnes. *Inteligentní kamerové systémy dokáží vyhodnotit podezřelé situace*. [Online] 23. 9 2013. [Citace: 15. 2 2017.] [http://sdeleni.idnes.cz/inteligentni-kamerove-systemy-dmr/-eko-sdeleni.aspx?c=A130918\\_113540\\_eko-sdeleni\\_ahr](http://sdeleni.idnes.cz/inteligentni-kamerove-systemy-dmr/-eko-sdeleni.aspx?c=A130918_113540_eko-sdeleni_ahr).
- [48]. **Gao, Wen a Ma, Siwei.** *Advanced Video Coding Systems*. Beijing : Springer, 2015. 978-3-319-14243-2.
- [49]. Aaronia. *IsoLOG 3D*. [Online] [Citace: 11. 3 2017.] <http://www.aaronia.com/products/antennas/IsoLOG-3D/>.
- [50]. **Egozi, Arie.** Flight Global. *Rafael unveils "Drone Dome" anti-UAV system*. [Online] 16. 4 2016. [Citace: 16. 3 2017.] <https://www.flightglobal.com/news/articles/rafael-unveils-drone-dome-anti-uav-system-424095/>.
- [51]. **Chuanren, Chen.** Shephard. *Milipol Asia 2017: Drone Dome operational in Asia*. [Online] 5. 4 2017. [Citace: 20. 4 2017.] <https://www.shephardmedia.com/news/digital-battlespace/milipol-asia-2017-drone-dome-operational-asia/>.
- [52]. Panasonic. *Security Solutions*. [Online] [Citace: 12. 3 2017.] <http://business.panasonic.co.uk/security-solutions/news-and-events/panasonic-showcases-cost-busting-security-features-at-ifsec-2016>.
- [53]. Digital security magazine. *Panasonic develops a technology for detecting drones which is the starting point to control them*. [Online] 5. 6 2016. [Citace: 20. 4 2017.] <http://www.digitalsecuritymagazine.com/en/2016/07/05/panasonic-desarrolla-una-tecnologia-para-detectar-drones-lo-que-supone-el-punto-de-partida-para-controlarlos/>.
- [54]. DEDRONE. [Online] [Citace: 11. 3 2017.] <http://www.dedrone.com/en/>.
- [55]. **Baraniuk, Chris.** BBC. *Small drone 'shot with Patriot missile'*. [Online] 15. 3 2017. [Citace: 22. 3 2017.] <http://www.bbc.com/news/technology-39277940>.
- [56]. **Grohmann, Jan.** Armádní noviny. *Laserové zbraně: Revoluce nebo technický naivismus?* [Online] 31. 7 2015. [Citace: 22. 3 2017.] <http://www.armadninoviny.cz/laserove-zbrane-konecne-revoluce-nebo-technicky-naivismus3f.html>.
- [57]. **Visingr, Lukáš a Kotrba, Štěpán.** Britské listy. *Laserové zbraně: paprsky smrti ve službách velmocí*. [Online] 1. 8 2008. [Citace: 22. 3 2017.] <http://blisty.cz/art/41863.html>.

- [58]. **Atherton, Kelsey D.** Popular Science. *SkyWall Is A New Anti-Drone Net Bazooka For Police*. [Online] 7. 3 2016. [Citace: 22. 3 2017.] <http://www.popsci.com/skywall-is-an-anti-drone-net-bazooka>.
- [59]. OpenWorks Engineering. *SkyWall*. [Online] [Citace: 22. 3 2017.] <https://openworksenineering.com/skywall>.
- [60]. **Williams, Rhiannon.** The Telegraph. *Tokyo police are using drones with nets to catch other drones*. [Online] 11. 12 1015. [Citace: 12. 3 2017.] <http://www.telegraph.co.uk/technology/2016/01/21/tokyo-police-are-using-drones-with-nets-to-catch-other-drones/>.
- [61]. **Glaser, April.** Wired. *11 Police Robots Patrolling Around the World*. [Online] 24. 7 2016. [Citace: 15. 4 2017.] <https://www.wired.com/2016/07/11-police-robots-patrolling-around-world/>.
- [62]. **Minařík, Petr.** Droncentrum. *Čekají nás války komerčních dronů? Podívejte se na tento "dron chytač"*. [Online] 23. 2 2016. [Citace: 21. 3 2017.] <http://www.droncentrum.cz/dron-chytac-si-posviti-na-nelegalni-lety/>.
- [63]. Theiss UAV Solutions. *Excipio*. [Online] [Citace: 21. 3 2017.] <http://www.theissuav.com/researchanddevelopment/>.
- [64]. **Lavars, Nick.** New Atlas. *Drone-catching hexacopter fires a large net to reel in suspicious aircraft*. [Online] 11. 1 2016. [Citace: 12. 4 2017.] <http://newatlas.com/drone-catching-net-aircraft/41291/>.
- [65]. **ČTK.** Aktuálně. *Nizozemská policie cvičí orly k odchytu nebezpečných dronů*. [Online] 2. 2 2016. [Citace: 3. 3 2017.] <https://magazin.aktualne.cz/kuriozity/v-holandsku-vyuziva-policie-k-odchytu-dronu-dravce/r~a7eb6afac9ab11e5819a002590604f2e/>.
- [66]. **Hoferková, Kateřina.** Svět Hardwaru. *Francouzská armáda cvičí orly v ničení dronů*. [Online] 17. 2 2017. [Citace: 2. 3 2017.] <http://www.svethardware.cz/francouzaska-armada-cvici-orly-v-niceni-dronu/43954>.
- [67]. **Selk, Avi.** SFGate. *Terrorists are building drones. France is destroying them with eagles*. [Online] 27. 2 2017. [Citace: 14. 4 2017.] <http://www.sfgate.com/weird/article/Terrorists-are-building-drones-France-is-10948978.php>.
- [68]. Chess dynamics. *AUDS Anti-UAV Defence System*. [Online] [Citace: 25. 4 2017.] <http://www.chess-dynamics.com/auds/>.
- [69]. Blighter. *AUDS Anti-UAV Defence System*. [Online] [Citace: 22. 3 2017.] <http://www.blighter.com/products/auds-anti-uav-defence-system.html>.

- [70]. Battelle. *Counter-UAS Technologies*. [Online] [Citace: 22. 3 2017.] <https://www.battelle.org/government-offerings/national-security/aerospace-systems/counter-UAS-technologies>.
- [71]. **Szondy, David**. New Atlas. *Battelle's DroneDefender anti-drone beam gun grounds UAVs*. [Online] 16. 10 2015. [Citace: 13. 4 2017.] <http://newatlas.com/battelles-dronedefender-beam-gun-uavs/39885/>.
- [72]. DroneShield. *DroneGun*. [Online] [Citace: 22. 3 2017.] <https://www.droneshield.com/dronegun>.
- [73]. **Dillow, Clay**. Fortune. *Islamic State Ups the Size and Sophistication of Its Drone Fleet*. [Online] 18. 4 2018. [Citace: 2. 4 2017.] <http://fortune.com/2016/04/18/islamic-state-ups-its-drone-fleet/>.
- [74]. **Očadlý, Tomáš**. Svět androida. *DJI Phantom 2 Vision – kvadroptéra s Androidem (recenze)*. [Online] 1. 31 2014. [Citace: 11. 4 2017.] <https://www.svetandroida.cz/dji-phantom-2-vision-multikoptera-androidem-201401>.
- [75]. DJI. *Phantom 2*. [Online] [Citace: 12. 4 2017.] <http://www.dji.com/phantom-2/info#specs>.
- [76]. **Horák, Jan a Kudlák, Aleš**. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. *Pomůcka: pro využívání softwaru pro rychlý odhad následků havárií a teroristických útoků program TerEx*. [Online] 2007. [Citace: 2. 4 2017.] <https://www.zsf.jcu.cz/cs/katedra/katedra-radiologie-toxikologie-a-ochrany-obyvateilstva/informace-katedry/projekty/vyukove-pomucky-pro-software-emoff-a-terex/terex.pdf>.
- [77]. **Barta, Jiří a Ludík, Tomáš**. Univerzita obrany. *TerEx - modelování a simulace*. [Online] 2012. [Citace: 21. 3 2017.] [https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/26278/mod\\_resource/content/1/Studijni\\_pomucka\\_TerEx.pdf](https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/26278/mod_resource/content/1/Studijni_pomucka_TerEx.pdf).
- [78]. **Ludvík, Tomáš a Barta, Jiří**. Univerzita obrany. *ALOHA – modelování a simulace*. [Online] 2012. [Citace: 3. 4 2017.] [https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/26279/mod\\_resource/content/1/Studijni\\_pomucka\\_Aloha.pdf](https://moodle.unob.cz/pluginfile.php/26279/mod_resource/content/1/Studijni_pomucka_Aloha.pdf).
- [79]. Eden Arena. *O stadionu*. [Online] [Citace: 6. 4 2017.] <http://www.edenarena.cz/cs/arena/o-stadionu/>.
- [80]. **Austin, Red**. *Unmanned aircraft systems UAVs design, development and deployment*. Wiley : Chichester, 2010. 9780470664803.

## 17 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Provoz bezpilotního letadla v ATZ a prostorech třídy G a E .....	27
Obrázek 2 - Provoz bezpilotního letadla v CTR a dalších prostorech .....	28
Obrázek 3 - Aaronia Drone detector .....	44
Obrázek 4 - Izraelský detekční systém Drone Dome .....	45
Obrázek 5 - Panasonic Security Solutions Drone detector .....	46
Obrázek 6 - Dedrone Data Sheet DroneTracker .....	47
Obrázek 7 - Základní odpalovací komplet SkyWall 100 .....	51
Obrázek 8 - Policejní dron se zavěšenou sítí .....	52
Obrázek 9 - Chytání dronu do sítě ze zařízení umístěného pod dronem .....	53
Obrázek 10 - Chytání dronů za pomoci cvičených orlů .....	54
Obrázek 11 - AUDES (Anti-UAV Defence System) .....	56
Obrázek 12 - Battelle DroneDefender .....	57
Obrázek 13 - DJI Phantom 2 .....	61
Obrázek 14 - Testovaná kvadrokoptéra DJI Phantom 2 .....	64
Obrázek 15 - Umístění zátěže pod testovaný dron.....	65
Obrázek 16 - Dosah vysílače a maximální dolet kvadrokoptéry se zátěží 650 g.....	71
Obrázek 17 - Dosah vysílače kvadrokoptéry okolo Eden Areny .....	72
Obrázek 18 – Bezpečnostní vzdálenost pro nekryté osoby při použití nálože 600 g.....	74
Obrázek 19 – Mapa ohrožení výbuchem při náloži 600 g .....	75
Obrázek 20 – Ohrožení osob toxickou látkou Sarin - pomalý odpar kapaliny z louže .....	77
Obrázek 21 – Mapa ohrožení osob toxickou látkou Sarin - pomalý odpar kapaliny z louže.....	78
Obrázek 22 - Rozptyl kapalné látky z dronu.....	79
Obrázek 23 - Ohrožení osob toxickou látkou Sarin – rozptyl z výšky 10 m .....	81
Obrázek 24 - Mapa ohrožení osob toxickou látkou Sarin – rozptyl z výšky 10 m .....	82
Obrázek 25 - Bezpečnostní vzdálenost pro nekryté osoby při útoku špinavou bombou.....	84
Obrázek 26 - Ohrožení radioaktivní látkou Kobalt-60 při útoku špinavou bombou.....	85
Obrázek 27 – Mapa ohrožení výbuchem při útoku špinavou bombou.....	86
Obrázek 28 - Mapa ohrožení radioaktivní látkou Kobalt-60 při útoku špinavou bombou .....	86

## **18 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK**

Tabulka 1 - Další podmínky, které musí být dodrženy při provozu bezpilotního letadla.....	31
Tabulka 2 - SWOT analýza k použití dronu k teroristickému útoku .....	87