



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Aleš Kuthan

ANALÝZA RIZIK U BEZPILOTNÍCH SYSTÉMŮ

Bakalářská práce

2019

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Aleš Kuthan

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Analýza rizik u bezpilotních systémů**

Název tématu (anglicky): Risk Analysis of Unmanned Aerial Systems

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Bepilotní systémy - vymezení pojmů a jejich druhy
- Nebezpečí a rizika, analýza rizik a navržení opatření pro jejich zmírnění
- Nebezpečí a rizika pro multikoptéry
- Analýza rizik pro multikoptéru DJI Phantom 4
- Doporučení postupu pro analýzu rizik bepilotních systémů - multikoptér



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Předpis L2, Doplněk X
ICAO document 9859 Safety Management Manual
Učební texty pro piloty UAS, Dronim
Směrnice CAA-FOD-01/2013

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ladislav Keller

Datum zadání bakalářské práce:

19. října 2018

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajících ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

26. srpna 2019

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývajících ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývajících z doporučeného časového plánu studia

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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Aleš Kuthan
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....19. října 2018

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji Ing. Ladislavu Kellerovi za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady, které mi poskytoval během tvorby. Dále bych rád poděkoval panu doc. Ing. Peterovi Vittekovi, Ph.D. za poskytnutí odborných informací a materiálů. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

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

Nemám závažný důvod proti užívání 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).“

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

V Praze dne 26. srpna 2019



Podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

ANALÝZA RIZIK U BEZPILOTNÍCH SYSTÉMŮ

Bakalářská práce

Srpen 2019

Aleš Kuthan

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je představit nebezpečí a rizika spojená s provozem bezpilotních systémů (UAS), provést analýzu těchto rizik a sestavit doporučený postup pro analýzu rizik u multikoptér. Teoretická část se zaměřuje na bezpilotní systémy a podrobněji multikoptéry. Dále se zabývá teorií analýzy rizik, celkovým řízením bezpečnostních rizik a jak při nich postupovat. Praktická část již kromě představení nebezpečí a rizik obsahuje praktickou analýzu rizik u kvadrokoptéry DJI Phantom 4 a doporučený postup pro analýzu rizik u multikoptér.

Klíčová slova

UAS, multikoptéra, nebezpečí, následek, analýza rizik, řízení bezpečnostního rizika

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to present hazards and risks associated with the operation of unmanned aerial systems (UAS), to perform the analysis of these risks and to compile a recommended procedure for risk analysis of multicopters. The theoretical part focuses on unmanned aerial systems and more specifically on multicopters. It also introduces the theory of risk analysis, safety risk management and how to proceed. The practical part, in addition to presenting hazards and risks, includes a practical risk analysis of quadcopter DJI Phantom 4 and a recommended procedure for risk analysis of multicopters.

Keywords

UAS, multicopter, hazard, consequence, risk analysis, safety risk management

Obsah

1. Úvod	8
2. Bezpilotní systémy – vymezení pojmů a jejich druhy.....	9
2.1 Základní legislativní pojmy	9
2.2. Rozdělení	11
2.2.1 Podle účelu	12
2.2.2 Podle hmotnosti	12
2.2.3 Podle způsobu vzletu a přistání	13
2.2.4 Podle typu pohonu.....	14
2.2.5 Podle trhu	15
2.2.6 Podle stupně automatizace.....	16
3. Multikoptéry	17
3.1 Dělení podle počtu pohonných jednotek.....	17
3.1.1 Trikoptéra.....	17
3.1.2 Kvadrokoptéra	18
3.1.3 Hexakoptéra	18
3.1.4 Oktokoptéra	19
3.2 Letové režimy.....	20
3.2.1 Základní letové režimy	20
3.2.2 Inteligentní letové režimy	21
3.3 Praktická využití multikoptér	23
3.4 Stavební prvky multikoptér	26
4. Nebezpečí a rizika	31
4.1 Vymezení pojmů.....	31
4.1.1 Nebezpečí (<i>Hazard</i>).....	31
4.1.2 Následek/Riziko (<i>Consequence/Risk</i>)	32
4.1.3 Rozdíly mezi nebezpečím a následky	32
4.2 Identifikaci nebezpečí	33
4.2.1 Interní program hlášení událostí.....	34

4.2.2 Zdroje dat pro identifikaci nebezpečí.....	34
4.2.3 Metody identifikace nebezpečí.....	35
4.3 Analýza rizik.....	36
4.3.1 Pravděpodobnost/možná pravděpodobnost bezpečnostního rizika.....	37
4.3.2 Vážnost bezpečnostního rizika (Safety risk severity).....	39
4.3.3 Snesitelnost bezpečnostního rizika (Safety risk tolerability).....	40
4.4 Zmírnění bezpečnostního rizika (Safety risk mitigation).....	43
4.4.1 Strategie zmírnění rizika.....	44
4.5 Dokumentace.....	45
4.6 Řízení bezpečnostního rizika (Safety Risk Management).....	46
5. Nebezpečí a rizika pro multikoptéry.....	49
5.1 Nebezpečí plynoucí z počasí a další přírodní nebezpečí.....	49
5.2 Nebezpečí plynoucí z technických problémů.....	53
5.3 Nebezpečí plynoucí ze vzdušných prostorů a ochranných pásem.....	54
5.4 Nebezpečí plynoucí z lidské psychofyziologie.....	56
5.5 Nebezpečí plynoucí z organizace.....	57
5.6 Nebezpečí plynoucí z jednotlivých druhů provozů.....	59
6. Analýza rizik při provozu kvadrokoptéry DJI Phantom 4.....	62
6.1 Popis kvadrokoptéry DJI Phantom 4.....	62
6.2 Analýza rizik při provozu kvadrokoptéry DJI Phantom 4.....	63
6.3 Shrnutí.....	73
7. Doporučený postup pro analýzu rizik u multikoptér.....	74
8. Závěr.....	77
Použité zdroje.....	79
Seznam obrázků.....	82
Seznam tabulek.....	83

Seznam použitých zkratek:

3D	Three dimensional	Trojdimenzionální
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast	Automatický závislý přehledový systém – vysílání
AFIS	Aerodrome Flight Information Service	Letištní letová informační služba
AGL	Above Ground Level	Nad úrovní země
ALARP	As Low As Reasonably Practicable	Úroveň tak nízká, jak je přiměřeně možné
AMSL	Above Mean Sea Level	Nad střední hladinou moře
ATZ	Aerodrome Traffic Zone	Letištní provozní zóna
BLDC	Brushless DC Motor	Bezkartáčové stejnosměrné elektromotory
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight	Mimo dohled pilota
CAA	Civil Aviation Authority	Úřad pro civilní letectví
CTOL	Conventional Take-Off and Landing	Konvenční způsob vzletu a přistání
CTR	Control Zone	Řízený okresek
ČHMÚ		Český hydrometeorologický ústav
EASA	European Aviation Safety Agency	Evropská agentura pro bezpečnost letectví
ESC	Electronic Speed Control	Regulátor
EUROCONTROL	European Organisation for the Safety of Air Navigation	Evropská organizace pro bezpečnost leteckého provozu
FC	Flight Computer	Palubní počítač
FPV	First Person View	Pohled v první osobě
GPS	Global Positioning System	Globální polohový systém
GS	Ground Speed	Traťová rychlost
HOP		Hustě obydlený prostor
ICAO	International Civil Aviation Organisation	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
Li-Pol	Lithium-Polymer battery	Lithium-Polymerový akumulátor
MCTR	Military Control Zone	Vojenský řízený okresek
MTMA	Military Terminal Control Area	Vojenská koncová řízená oblast
MTOM	Maximum Take Off Mass	Maximální vzletová hmotnost
NiCd	Nickel-Cadmium battery	Nikl-Kadmiový akumulátor
NiMh	Nickel-Metal hydride battery	Nikl-Metal hydridový akumulátor
RPA	Remotely Piloted Aircraft	Dálkově řízené letadlo
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System	System dálkově řízeného letadla
RTH	Return To Home	Režim Návrat domů
ŘLP		Řízení letového provozu
SAR	Search And Rescue	Služba pátrání a záchran

SMS	Safety Management System	System řízení bezpečnosti
SOP	Standard Operating Procedure	Standardní provozní postupy
TMA	Terminal Control Area	Koncová řízená oblast
UA	Unmanned Aircraft	Bezpilotní letadlo
UAS	Unmanned Aerial System	Bezpilotní systém
UAV	Unmanned Aircraft Vehicle	Bezpilotní letadlo
ÚCL		Úřad pro civilní letectví
VFR	Visual flight rules	Pravidla pro let za viditelnosti
VLOS	Visual Line Of Sight	V přímém dohledu pilota
VTOL	Vertical Take-Off and Landing	Vertikální způsob vzletu a přistání

1. Úvod

V současnosti jsou bezpilotní systémy velkým trendem a jejich vývoj se stále pohybuje prudce kupředu. Již to nejsou pouze hračky, které lidé využívají k zábavě, bezpilotní systémy si své místo našli prakticky ve všech odvětvích. Jejich komerční využití je obrovské, jelikož jejich vlastnosti dovolují přístup k místům pro člověka těžko dostupným. Bepilotních systémů je více druhů a dají se rozdělit podle mnoha aspektů jako například hmotnosti, typu pohonu či stupně automatizace. Mezi moderními bezpilotními systémy se využívá zejména automatický režim, který dálkově řídicímu pilotovi dovoluje let provádět podle předem nastaveného programu. [1]

Mezi hlavní zástupce bezpilotních systémů patří multikoptéry. Díky jejich velkému využití v komerčním provozu se na ně budu po domluvě s panem Ing. Kellerem v této práci specializovat. Multikoptéry umožňují visení na místě a přenášení relativně těžkého vybavení a dalších předmětů, což je pro společnosti či jedince velmi atraktivní. Využit se dají, jak pro klasické činnosti jako je filmování, mapování, tak i pro odbornější činnosti jako je inspekce stožárů vysokého vedení, kontrola úrody na poli či jeho postřik. Znalost základních stavebních prvků a režimů multikoptér je také velmi důležité pro celkové pochopení jejich funkce.

Mnoho lidí si neuvědomuje, že létání s multikoptéry není jen zábava. Její provoz s sebou přináší mnoho nebezpečí a s nimi souvisejících následků (rizik). Podobně jako v obchodní letecké dopravě, i zde by se neměla brát nebezpečí a rizika na lehkou váhu. V každé společnosti by mělo fungovat tzv. řízení bezpečnostního rizika, jehož součástí je i analýza rizik. V počátku procesu by mělo dojít k identifikaci nebezpečí a identifikace rizik (následků), u kterých je nutné si dát pozor, jelikož často dochází k jejich záměně či špatnému vyložení. Dále proces pokračuje analýzou bezpečnostního rizika, kde se vyhodnocuje, s jakou pravděpodobností k následku může dojít a jak vážné následky by mohlo přinést. Poté se již dostáváme ke snesitelnosti bezpečnostního rizika. Zde mohou nastat tři scénáře, buďto je nutné činnost zastavit nebo použít zmírňující opatření a pokud jsou vyhodnocená rizika přijatelná, lze v činnosti pokračovat. [2] [3]

Cílem této práce je představit základní nebezpečí a rizika spojená s provozem multikoptér, zejména kvadrokoptéry DJI Phantom 4, kterou jsem si vybral díky jejímu technologickému pokroku a jelikož mám s touto značkou již nějaké zkušenosti. Dále chci touto prací poukázat na to, jakým způsobem by mělo u této kvadrokoptéry probíhat řízení bezpečnostního rizika a jak důležité je při těchto procesech brát v potaz určitý typ multikoptéry. V poslední kapitole vytvořím doporučený postup pro analýzu rizik u multikoptér.

2. Bezpilotní systémy – vymezení pojmů a jejich druhy

Předtím než se dostaneme přímo k analýze rizik u bezpilotních systémů a popsání celé teorie řízení bezpečnostního rizika, je důležité si definovat co to vlastně bezpilotní systémy (UAS) jsou a jak se rozdělují. Mezi bezpilotní systémy totiž patří jak spotřebitelské UAS v hodnotách deseti tisíců korun, tak komerční UAS jejichž cena může dosáhnout až milionů korun. Velmi používané je slovo dron, což je slangový název pro bezpilotní letadlo (UA).

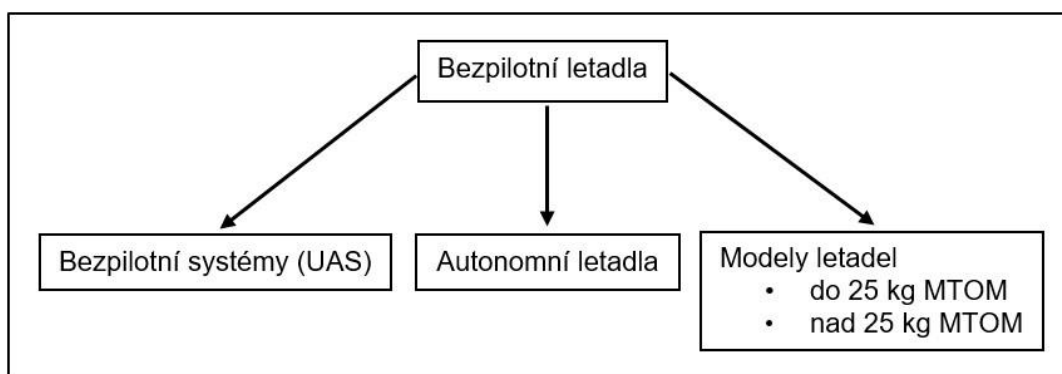
2.1 Základní legislativní pojmy

V České republice najdeme legislativní dělení UAS zejména v Doplněku X Předpisu L2 (Pravidla Létání), který popisuje bezpilotní systémy. Dodatek 4 Předpisu L2 se zabývá Systémy dálkově řízeného letadla a obsahuje například všeobecná pravidla provozu či jak žádat o povolení. V Předpisu L2 Hlava 1 lze nalézt další základní definice týkající se bezpilotních systémů. Zde je výčet definic jednotlivých pojmů obsažených v Předpisu L2, Doplněku X.

- **„Bezpilotní letadlo (UA)** je letadlo určené k provozu bez pilota na palubě. V mezinárodním kontextu se jedná o nadřazenou kategorii dálkově řízených letadel, autonomních letadel i modelů letadel; pro účely tohoto doplněku se bezpilotním letadlem rozumí všechna bezpilotní letadla kromě modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 25 kg.
- **Autonomní letadlo** je bezpilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení letu.
- **Bezpilotní systém (UAS)** je systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bepilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému více.
- **Model letadla** je letadlo, které není schopné nést člověka na palubě, je používané pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely, není vybaveno žádným zařízením umožňujícím automatický let na zvolené místo, a které, v případě volného modelu, není dálkově řízeno jinak, než za účelem ukončení letu nebo které, v případě dálkově řízeného modelu, je po celou dobu letu pomocí vysílače přímo řízené pilotem v jeho vizuálním dohledu.“¹

¹ Přímá citace: Předpis L2, Doplněk X, str.1 [4]

V závěrečné části doplňku X se nachází tabulka s legislativním rozdělením UAS podle jejich maximální vzletové hmotnosti a účelu použití (rekreačně-sportovní, výtěžné, experimentální, výzkumné a samostatná kategorie bezpilotní letadlo provozované mimo dohled pilota). Tabulka dále pokračuje požadavky, které se týkají například evidence letadla/pilota, testů pilota, povolení k létání, potřeby provozní příručky UAS a další. Základní legislativní rozdělení najdeme na obrázku 1. [4]



Obrázek 1: Legislativní rozdělení bezpilotních letadel [4]

Předpis L2 Hlava 1 dále doplňuje definice:

- **„Dálkově řídicí pilot (Remote pilot)** je osoba pověřená provozovatelem povinnostmi nezbytnými pro provoz dálkově řízeného letadla, která ovládá systémy řízení během doby letu.
- **Dálkově řídicí stanice (Remote pilot station)** je součást systému dálkově řízeného letadla obsahující vybavení k řízení dálkově řízeného letadla.
- **Dálkově řízené letadlo (RPA) (Remotely piloted aircraft)** je bezpilotní letadlo, které je řízeno z dálkově řídicí stanice.
- **Systém dálkově řízeného letadla (RPAS) (Remotely piloted aircraft system)** Jsou dálkově řízené letadlo, příslušná(é) dálkově řídicí stanice, nezbytné řídicí a kontrolní spoje a jakékoliv další součásti uvedené v typovém návrhu.
- **Pozorovatel RPA (RPA observer)** je způsobilá osoba, která absolvovala výcvik, určená provozovatelem, aby pomocí vizuálního pozorování dálkově řízeného letadla napomáhala dálkově řídicímu pilotovi při bezpečném provedení letu.“²

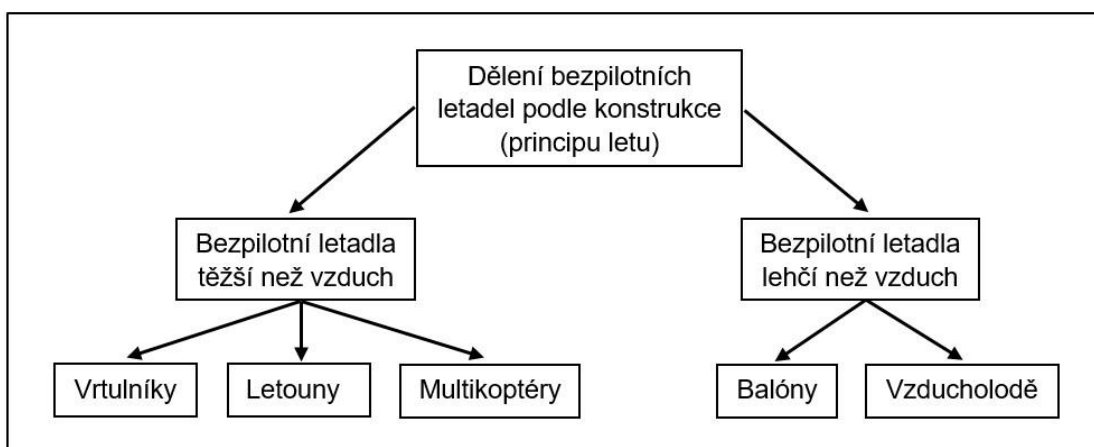
Jelikož se trh s bezpilotními systémy (UAS) velmi prudce rozrůstá, je pro ně využíváno vícero různých označení. Provozovatelé, výrobci, asociace a uživatelé používají určitá označení a definice, které mezi sebou mají jen nepatrné rozdíly.

² Přímá citace: Předpis L2, Hlava1, str.1, 5, 7 [5]

Bezpilotní letadlo bývá velmi často bývá označováno zkratkou UAV (z anglického Unmanned Aerial Vehicle). Tato zkratka je často používaná na internetu, ale mezinárodní a národní organizace od této zkratky ustupují. Dalším známým označením pro bezpilotní systém je slangové slovo dron, které pochází z anglického slova drone-trubec. Toto označení je mezi veřejností velmi populární. Označení UAS je snaha o sjednocení názvu pro bezpilotní systémy a mělo by postupně nahrazovat označení RPAS. „UAS“ využívají mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO), Evropská agentura pro bezpečnost letectví (EASA), EUROCONTROL a další. [6]

2.2. Rozdělení

Trh s bezpilotními systémy/letadly je velice rozšířený, proto se můžeme setkat s různými druhy. Ať už to jsou UAS vážící desítky gramů nebo vojenská UAS vážící tisíce kilogramů. Existuje mnoho aspektů, podle kterých se dají UAS rozdělit. Za základní rozdělení se dá považovat rozdělení podle konstrukce (principu letu), tedy zda je letadlo lehčí než vzduch či těžší. Toto rozdělení vidíme na obrázku 2. Mezi další aspekty branné v potaz při dělení UAS patří hmotnost (MTOM), stupeň automatizace, způsob vzletu, typ pohonu, dolet, rychlost, dostup, výdrž, cena a další.



Obrázek 2: Dělení podle konstrukce (principu letu) [7]

Balóny a vzducholodě se využívají zejména pro meteorologické účely. Meteorologický balón napuštěný vodíkem vynese sondu do cca 30 km. ČHMÚ vypouští balóny za účelem měření tlaku, teploty, vlhkosti, rychlosti a směru větru. Také se využívají sondy k měření ozonu. [8]

Pro podrobné zmapování kvality ovzduší je možné využít bezpilotní vzducholod', například vzducholod' společnosti AirshipClub. Využívá by se zejména s oblastech se znečištěným vzduchem. Jejich výhodou oproti balónům je ovladatelnost a operování v mnohem nižších

výškách (maximální dostup je 1000 m AMSL). Společnost AirshipClub své vzducholodě využívá také ke snímkování, natáčení videa atd. Na obrázku 3 můžeme vidět jeden z jejich nabízených modelů [9] [10]



Obrázek 3: Bezpilotní vzducholodě AirshipClub X15 hybrid [9]

2.2.1 Podle účelu

- Civilní
 - Rekreačně-sportovní
 - Komerční činnost (letecké práce)
 - SAR (Služba pátrání a záchrany)
- Vojenské
 - Průzkumné
 - Zaměření cíle a návnada (Target and decoy)
 - Bojové
 - Výzkumné [4] [11]

2.2.2 Podle hmotnosti

Bezpilotní letadla se podle hmotnosti dělí v závislosti na maximální vzletové hmotnosti (MTOM). Hmotnosti jsou určeny v Doplněku X Předpisu L2.

- $\leq 0,91$ kg
- $> 0,91$ kg a < 7 kg
- 7-25 kg
- > 25 kg [4]

Je samozřejmé, že čím vyšší je maximální vzletová hmotnost (MTOM) bezpilotního letadla, tím větší by mohly být následky případné nehody či incidentu. Těžší bezpilotní letadlo dokáže způsobit větší škody.

2.2.3 Podle způsobu vzletu a přistání

Podle způsobu vzletu a přistání můžeme UAS rozdělit na konvenční (CTOL) a s vertikálním vzletem a přistáním (VTOL). VTOL je také občas nazýván „kolmý vzlet a přistání“. Existují i další způsoby jako například UAS s naklápěcím rotorem (Bell Eagle Eye) a další, ale ty nejsou tolik rozšířeny. [12]

CTOL (Conventional Takeoff and Landing) je pojem, kterým označujeme konvenční způsob vzletu a přistání. Tento způsob využívají běžná pilotovaná letadla. Během vzletu musí bezpilotní letadlo zrychlit na požadovanou rychlost, ve které je vztlak na křídlech dostatečný pro dokončení vzletu. Při této rychlosti dále řídící pilot aplikuje sílu na výškové kormidlo, na křídlech se zvýší vztlak a bezpilotní letadlo pokračuje do stoupání. Existuje několik možností, jak vzlet provést. Klasickou možností je využití zpevněné dráhy, ale u menších bezpilotních letadel lze také využít startovací rampu, která letadlo vymrští do vzduchu (příklad na obrázku 4). U některých typů stačí letadlo rukou odhodit směrem vpřed (příklad na obrázku 5). Přistání u větší UAS probíhá stejně jako u běžných letadel. Letadlo se k dráze přibližuje přistávací rychlostí, před dosednutím provede podrovnání a poté následuje výběh. Letadla vzletající z ramp a letadla vypouštěna odhozem většinou přistávají do záchranné sítě nebo na zem. [11] [13]



Obrázek 5: Fulmar X na rampě [14]



Obrázek 4: Odhoz UAS RQ-11B [15]

VTOL (Vertical Takeoff and Landing) je pojem kterým označujeme vertikální (kolmý) způsob vzletu a přistání. Tento způsob je velmi hojně využívám u multikoptér a vrtulníků, ale našel uplatnění i u vojenských letadel. Vztlak potřebný pro vzlet vzniká při rotaci vrtule/vrtulí. U vrtulníků se využívá hlavní horizontální vrtule (v některých případech dvou) a pomocná vertikální vrtule, která pomáhá kompenzovat reakční moment hlavní vrtule. U multikoptér se

využívá několik motorů s menšími horizontálními vrtulemi. Na obrázku 6 je příklad VTOL UAS, přesněji kvadrokoptéra DJI Mavic 2 PRO. [16]



Obrázek 6: Kvadrokoptéra DJI Mavic 2 PRO [17]

Každý z těchto způsobů má své výhody i nevýhody. Výběr UAS podle způsobu vzletu a přistání plně závisí na preferencích uživatele. Hlavní výhody CTOL UAS oproti VTOL UAS jsou zejména větší dolet a výdrž, dále také vyšší rychlost a dostup. Nevýhodou je jistě to, že ke svému provozu potřebuje dráhu a nedokáže se vznášet ve stacionární poloze nad zemí. Velkou výhodou VTOL UAS oproti CTOL UAS je fakt, že umožňuje vzlet z prakticky jakéhokoliv místa, a kromě možnosti stacionárního vznášení také oproti CTOL UAS dovoluje velmi přesné ovládání, což nám zaručí hladké přistání. K nevýhodám VTOL UAS patří kratší dolet a menší výdrž, je pomalejší a mechanicky komplexnější. [18]

Fakt, že CTOL UAS potřebuje ke svému provozu dráhu zvyšuje riziko, že během startu a přistání dojde k nehodě či incidentu. Nevýhodou VTOL UAS je, že při výpadku motorů (záleží na počtu) padá k zemi na rozdíl od CTOL UAS, které dokáže plachtit.

2.2.4 Podle typu pohonu

Volba pohonné jednotky závisí mnoha aspektech, zejména na účelu využití bezpilotního systému, na jeho velikosti, hmotnosti, výdrži, dostup, způsobu vzletu a přistání atd. Hlavní dělení podle typu pohonu se dělí na motorové a bezmotorové. Mezi zástupce bezmotorových patří zejména balóny a vzducholodě. Motorové pohony můžeme dále rozdělit na

- Elektrické motory
- Spalovací motory
- Proudové motory
- Hybridní

Elektrické motory jsou momentálně nejvyužívanější typ pohonu, zejména u spotřebitelských a komerčních UAS. Jsou hojně využívány u multikoptér, které jsou využívány jak k leteckým pracím (dovolují pořizovat snímky a videa ve stacionární poloze), tak pro rekreační účely. Dalšími zástupci jsou vzducholodě, vrtulníky a letadla. Další důvod, proč jsou elektrické

motory tak hojně využívané je jejich nízká hmotnost. Zároveň jsou však náchylnější na změny teplot. [19]

Výhody spalovacích a proudových motorů jsou hlavně vyšší výkon při stejné hmotnosti, díky čemuž UAS unese více vybavení (senzory, snímací zařízení). Výdrž UAS s těmito motory je také obvykle větší a záleží pouze na velikosti palivové nádrže. Nevýhodou je větší hluk, náročnější údržba a cena. Tyto pohony se často využívají u vojenských bezpilotních letadel, kde se vyšší nosnost využívá pro účely sledovacích vybavení a zbraňových systémů. [19]

Hybridní pohony vznikají hlavně z důvodu potřeby delšího doletu, výdrže a nosnosti, jelikož klasické čistě elektrické pohony v tomto směru zaostávají. Pro komerční bezpilotní systémy se nejčastěji používají hybridní pohony tzv. palivo-elektrické (fuel-electric). Ty kromě elektrického akumulátoru využívají rovněž agregát (motorgenerátor) s benzinovým spalovacím motorem. Agregát během letu nabíjí akumulátor či dodává elektrický proud do elektrických motorů. Mezi motorem agregátu a rotory elektrických motorů UAS tedy není žádné mechanické spojení. Takovéto hybridní bezpilotní systémy dosahují velmi dobrých parametrů. Výdrž se pohybuje mezi dvěma až pěti hodinami, dolet mezi 100 až 170 km a nosnost je několik kilogramů. [20]

Pro porovnání, plně elektrický UAS Prime Air, který testuje společnost Amazon pro doručování balíčků má výdrž 15 minut a maximální nosnost 2,2 kg. Hybridní palivo-elektrický UAS HYBRIX.20 (obrázek 7) od společnosti Quaternium má při plném zatížení 2.5 kg výdrž 2 hodiny a využívá se například pro službu pátrání a záchrany či 3D mapování. [21] [22]



Obrázek 7: Bepilotní letadlo s hybridním pohonem HYBRIX.20 [22]

2.2.5 Podle trhu

Momentální trh s rekreačními a komerčními UAS se rozděluje na tyto základní skupiny:

- Drony bez kamery (tzv. „Toy Drony“)

- Drony s kamerou
- FPV drony, často označované jako závodní [23]

Toto rozdělení není oficiálně přesně stanoveno a může se měnit (zejména na internetových stránkách prodejců).

2.2.6 Podle stupně automatizace

Podle stupně automatizace se dají UAS rozdělit manuální řízení, poloautomatické řízení a automatické řízení a autonomní mód. U multikoptér poté najdeme různé režimy/módy, které jsou na těchto čtyřech kategoriích založeny.

- **Manuální řízení** – Bezpilotní letadlo s manuálním řízením ovládá dálkově řídící pilot pouze pomocí vysílače, tedy pohybem řídicích prvků (páček). Jelikož je v tomto režimu letu veškerá stabilizace vypnuta, dálkově řídící pilot musí obratem reagovat na všechny odchylky. Výhodou manuálního řízení je možnost provádět akrobacii. Tento režim využívají zejména rekreačně-sportovní bezpilotní letadla. Z důvodu nemožnosti využít stabilizaci nejsou vhodné pro filmování a snímkování. U moderních multikoptér tento režim řízení ani nebývá k dispozici.
- **Poloautomatické řízení** – Při letu s poloautomatickým řízením bezpilotní letadlo setrvává v režimu letu, který dálkově řídící pilot nastavil na dálkově řídící stanici. Pilot však může pomocí ovládacích prvků příkazy/režimy měnit. Při poloautomatickém řízení je stabilizace aktivní, tedy jakákoliv odchylka od zadaného režimu letu (stoupání, vodorovný let atd.) je automaticky opravována. Dojde-li například k poryvu větru a bezpilotní letadlo se vychýlí, automaticky se vrátí na původního místo.
- **Automatické řízení** – Při letu s automatickým řízením bezpilotní letadlo provádí let podle předem nastaveného programu, který dálkově řídící pilot vložil do autopilota. Může naprogramovat například trasu letu (přes jaké body), výška letu, rychlost a další. Je nutné dodat, že nejde o autonomní let, jelikož dálkově řídící pilot může kdykoliv za letu program změnit (přidání či zrušení bodů, změna výšky atd.) nebo může přejít do jiného režimu řízení (manuální či poloautomatický). Automatické řízení je dostupné pouze v případě, že je v bezpilotním systému zabudovaný GPS modul a GPS signál je dostupný.
- **Autonomní mód** – UAS v autonomním módu má naprogramovaný let, který dálkově řídící pilot nemůže v jeho průběhu ovlivnit. Podle aktuální legislativy nesmí být autonomní UAS ve společném vzdušném prostoru provozováno. Autonomní mód se využívá u Fail Safe režimů letu, které podrobněji proberu níže. [1] [4]

3. Multikoptéry

Multikoptéry jsou na dnešním trhu velice oblíbené jak pro rekreačně-sportovní využití, tak pro komerční. Multikoptéry v posledních letech dosáhly velké inovace a stále se inovují. Jsou cenově dostupné a v komerčním sektoru mají velké využití. Nejvíce se využívají pro snímkování a filmování, ale se správným vybavením se dají využít například i v zemědělství či při pátrání a záchraně osob.

Co se legislativy týče, neexistuje žádná oficiální definice multikoptéry. Neoficiální definice říká, že multikoptéra je vrtulové letadlo s prakticky svislou osou rotace pohonných jednotek. Aerodynamické síly poté vznikají na listech nosných vrtulí. Podle Úřadu pro civilní letectví a Ministerstva dopravy je multikoptéra vrtulník, argumentují tím, že tato klasifikace byla přijata s ohledem na již zavedenou klasifikaci letadel a definice vrtulníku. Podle odborné veřejnosti patří multikoptéry mezi bezkřídla letadla nebo letadla s pohonem vzlaku, jelikož vrtule je součástí pohonné jednotky, nikoliv rotující nosná plocha. Vrtulníky se řídí změnou nastavení listů na rotoru/rotorech na rozdíl od multikoptér, které se řídí pomocí změny otáček některých z vrtulí. Změnou otáček některých vrtulí dojde ke změnám vzlaku což způsobuje pohyb multikoptéry. [1] [24] [25]

3.1 Dělení podle počtu pohonných jednotek

Na trhu se objevuje velké množství různých konstrukčních provedení multikoptér, ale v praxi se využívají zejména trikoptéry (3 pohonné jednotky), kvadroptéry (4 pohonné jednotky), hexakoptéry (6 pohonných jednotek) a oktokopty (8 pohonných jednotek). Na obrázku 9 je toto rozdělení zjednodušeně zobrazeno. Existují také multikoptéry s duálním uložením motorů, tedy s dvěma motory na jednom rameni. Multikoptéry pro běžné uživatele tyto konstrukce kvůli své technické náročnosti, a tedy i ceně využívají jen zřídka a nebudou na ně tedy brát zřetel. Vesměs platí, že čím více vrtulí multikoptéra využívá, tím menší je její obratnost, ale zároveň lepší stabilita. Od konstrukčních úprav za účelem stability se však již upustilo. Stabilita je dnes dosažena zejména pomocí řídicí jednotky, která regulátorem mění otáčky pohonných jednotek. Nejvyužívanější konstrukcí je kvadroptéra, zejména kvůli dobré obratnosti, ovladatelnosti, jednoduchosti konstrukce a přívětivé ceně. [26]

3.1.1 Trikoptéra

Tento typ multikoptéry má tři ramena, z nichž na vrcholu každého je připevněn jeden motor. Ramena jsou od sebe oddělena úhlem 120° , tvoří tedy rovnostranný trojúhelník. Ve většině případů tvoří část se dvěma rameny přední stranu a část s jedním ramenem stranu zadní.

Druhou konstrukční možností je trikoptéra s jedním ramenem vpředu. Velkou nevýhodou trikoptér je nesymetričnost (lichý počet pohonných jednotek) celého rámu. Součástí je tedy servomotor, který ovládá náklon zadního motoru tak, aby došlo k potlačení točivého momentu vzniklého otáčením všech motorů. Pokud by nebyl servomotor nainstalován, trikoptéra by se neustále otáčela. Při změnách kurzu se také využívá naklápěcí mechanismus servomotoru. Tohle vede k mnohem komplikovanější konstrukci. Výhodou trikoptéry je její obratnost, díky které je využívána k závodním účelům. Nevýhodou je, že při výpadku jednoho z motorů trikoptéra ztrácí říditelnost a padá k zemi. [27]

3.1.2 Kvadrokoptéra

Jedná se o nejvyužívanější typ konstrukce. Kvadrokoptéra má čtyři symetrická ramena a na každém z nich je jeden motor. Má tedy dohromady čtyři motory, z nichž dva se otáčejí ve směru hodinových ručiček a zbylé dva v protisměru. To zajišťuje potlačení momentů od vrtulí a možnost vznášení se bez pohybu ve svislé ose. Rám bývá navržen buď ve tvaru „X“ s přední stranou, kterou tvoří spojnice dvou ramen kvadrokoptéry nebo rám ve tvaru „+“ jehož přední strana je tvořena jedním ramenem vpředu. Kvadrokoptéry jsou rychlé, obratné, mají jednoduchou konstrukci a jsou relativně levné. Jelikož mají čtyři pohonné jednotky, mají dostatečný tah pro zavěšení příslušenství. Při výpadku jedné z nich ovšem ztrácí říditelnost a padá k zemi. Tato konstrukce se využívají jak pro závodní účely, tak pro filmování, snímkování a další činnosti. [27] [28]

3.1.3 Hexakoptéra

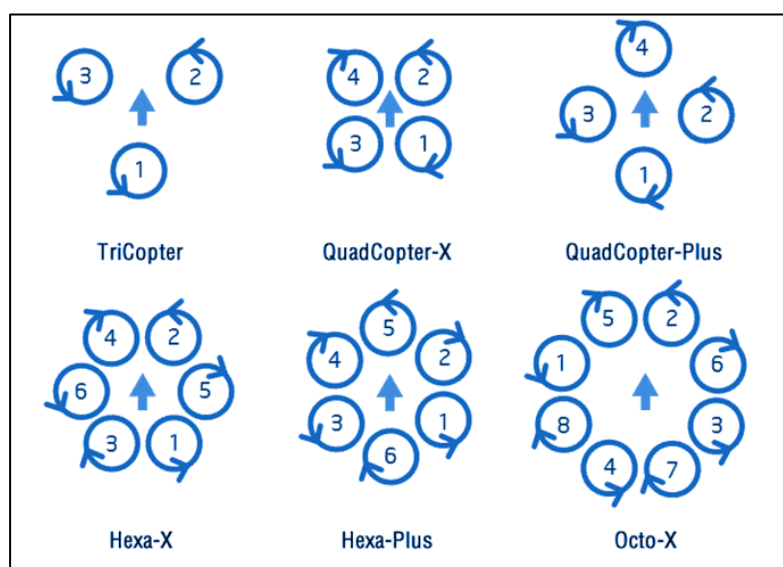
Jak jméno napovídá, tento typ rámu je složen z šesti ramen, a tedy šesti motorů. Ramena jsou symetrická a obdobně jako u kvadrokoptér, tři motory se otáčejí po směru hodinových ručiček a tři proti směru. Tak jako u trikoptér a kvadrokoptér existují dvě možná uspořádání ramen, z nichž první má přední část mezi dvěma motory a druhé přímo za jedním motorem. Tento způsob konstrukce se využívá hlavně u multikoptér pro komerční účely, jelikož má s šesti motory dodatek tahu pro nesení těžšího příslušenství. Mezi další výhody patří operování ve vyšších výškách což je velmi užitečné při snímkování či při pátrání a záchraně osob. Jelikož hexakoptéra využívá šest motorů, není výpadek jednoho z nich problémem. Hexakoptéra s pěti motory dokáže manévrovat a bezpečně přistát. Nevýhodou je vyšší pořizovací cena multikoptéry a náhradních součástek. Vyšší rozměry brání v operování ve stísněných prostorech. Na obrázku 8 je zobrazena hexakoptéra DJI Matrice 600. [27] [28]



Obrázek 8: Hexakoptéra DJI Matrice 600 [29]

3.1.4 Oktokoptéra

Tento typ konstrukce má osm ramen a na každém z nich jeden motor. Ramena jsou opět symetrická a stejné je to i s otáčením motorů (v tomto případě čtyři a čtyři). Opět jsou možná dvě konstrukční uspořádání, stejná jako v předchozích případech. V porovnání s hexakoptérou nám s využitím osmi motorů přináší ještě větší tah. Je tedy schopna přenášet velmi těžké příslušenství. Oktokoptéry jsou velmi drahé a využívají se zejména pro profesionální filmování. Jsou ze všech multikoptér jednoznačně nejrychlejší a vyznačují se výbornou říditelností. Při výpadku jednoho motoru nenastane žádný problém. Při výpadku dvou až tří motorů záleží na jejich umístění a na těžišti nákladu, ale v příznivých podmínkách je možné s oktokoptérou bezpečně přistát. [27] [28]



Obrázek 9: Zjednodušené dělení multikoptér podle počtu pohonných jednotek (zleva trikoptéra, kvadroptéra „X“, kvadroptéra „+“, hexakoptéra „X“, hexakoptéra „+“, oktokoptéra „X“) a směry otáčení jednotlivých motorů. Ostatní konstrukce jsou popsány výše. [30]

Nevýhodou konstrukce s přední částí tvořenou jedním ramenem je větší možnost, že se rameno dostane do kamery a na rozdíl od konstrukce s přední částí mezi dvěma rameny zabírá v každém směru pouze jeden motor. [31]

Trikoptéra a kvadroptéra mají větší pravděpodobnost, že po výpadku jednoho motoru dojde k nehodě či k incidentu. U hexakoptéry a oktokopty je tato pravděpodobnost menší.

3.2 Letové režimy

Každá multikoptéra má několik letových režimů, které jsou založeny na nějakém ze čtyř kategorií řízení (manuální, poloautomatický, automatický, autonomní). Uživatelská příručka (User Manual) a provozní příručka bezpilotního systému musí obsahovat výpis a popis veškerých režimů. Pojmenování těchto režimů není mezi výrobci bezpilotních systémů sjednoceno, proto jsem si pro výpis režimů vybral terminologii používanou společností DJI. Přesněji multikoptéru DJI Phantom 4, u které budu v praktické části této bakalářské práce provádět analýzu rizik. Při výpisu letových režimů jsem čerpal zejména z uživatelské příručky multikoptéry DJI Phantom 4.

3.2.1 Základní letové režimy

U většiny novodobých multikoptér je dostupné několik základních letových režimů, které se mezi sebou liší zejména využitím GPS a systému detekce překážek. U multikoptéry DJI Phantom 4 jsou tyto režimy tři a lze mezi nimi volit pomocí třípolohového přepínače umístěného na vysílači. [32]

- **Positioning mode (GPS mode)** – Je to poloautomatický režim letu a využívá se v případě, kdy je signál GPS dostatečně silný. Multikoptéra využívá GPS a systém detekce překážek pro svou automatickou stabilizaci a navigování mezi překážkami. Multikoptéra udržuje režim letu zadaný dálkově řídicím pilotem. Pokud dá pilot povel letět rovně (pomocí vysílače), multikoptéra letí rovně dokud nedostane jiný povel. Při visení je automaticky udržována vodorovná a svislá poloha (výška) v prostoru. V tomto režimu je i automaticky udržována zeměpisná poloha.
- **Attitude mode** – V tomto režimu letu není možné využít GPS ani optické systémy (detekci překážek) a multikoptéra bude ke stabilizaci a ovládání změny výšky využívat jen barometrický senzor a řídicí jednotku. Pokud tedy například fouká vítr, multikoptéra bude větrem unášena. Attitude mode je také poloautomatický režim letu a využívá se například při létání v uzavřených prostorech, jelikož v nich nebývá dostatečný signál GPS pro let v Positioning modu.

- **Sport mode** – Multikoptéra v tomto režimu se vyznačuje výbornou ovladatelností a citlivým řízením. V tomto modu se stejně jako u modu Positioning využívá GPS pro automatickou stabilizaci. Maximální rychlost letu je oproti ostatním režimům zvýšena, ale naopak „brzdná dráha“ se zvětší. Velkou nevýhodou je nemožnost využití systému detekce překážek. Znamená to, že multikoptéra nebude schopna automatického vyhnutí překážce a dálkově řídící pilot musí být obezřetný. [1] [32]

3.2.2 Inteligentní letové režimy

Většina výrobců moderních multikoptér, zejména těch pro komerční činnosti umožňuje uživatelům využití tzv. „Inteligentních“ letových režimů. Tyto letové režimy usnadňují pilotům práci zejména při snímkování a filmování, ale je možné jich využít například i v zemědělství či při zkoumání kvality ovzduší. U jejich aktivace se provádí přímo na vysílači nebo v aplikaci komunikující přes telefon/tablet s multikoptérou. Multikoptéra DJI Phantom 4 poskytuje tyto inteligentní letové režimy:

- **Normal mode** – V tomto letovém režimu se multikoptéra ovládá naprosto běžným způsobem. Pohybem páčky ovladače dopředu (od sebe) způsobíme, že se multikoptéra pohybuje svou přední částí dopředu. Tento režim lze využít u všech tří předešlých základních letových režimů.
- **Home Lock** – Tento letový režim se využívá v případě, kdy dálkově řídící pilot není schopen určit přesnou polohu multikoptéry. Home Lock umožňuje, že se multikoptéra začne vracet na místo vzletu, aniž by záviselo na jejím natočení. Stačí aby pilot po zapnutí tohoto režimu posunul páčku klopení dozadu (k sobě) a multikoptéra se vrátí. Režim je dostupný až od vzdálenosti cca 10 m.
- **Course Lock** – V tomto letovém režimu je možné provést přímý let, a přitom s multikoptérou pohybovat kolem svislé osy (zatáčet). Tedy pokud při kurzu na sever nastavíme režim Course Lock a multikoptéru poté přední částí otočíme směrem na východ, tak při posunutí páčky klopení vpřed multikoptéra nepoletí na východ, ale na sever. Tento režim se využívá při filmování.
- **Point of Interest** – V tomto letovém režimu multikoptéra automaticky krouží kolem vybraného bodu, aby se mohl pilot více soustředit na filmování či jiné aktivity. Nejprve je třeba nad bod doletět a označit ho. Poté se pilot s multikoptérou vzdálí na určitý poloměr kružnice a zvolí rychlost a směr otáčení. Během letu může pilot s multikoptérou pohybovat kolem svislé osy.
- **TapFly** – Tento letový režim se využívá pro let na určité místo bez toho, aby pilot musel multikoptéru ovládat. Místo označí pilot dotykem na displeji telefonu/tabletu. Po dosažení bodu přejde multikoptéra do visení. Během letu je aktivní automatické

vyhýbání překážkám a při zjištění slabého signálu GPS multikoptéra ukončí režim TapFly a vrací se na místo vzletu (Fail Safe RTH).

- **Active Track** – Multikoptéra v tomto režimu dovoluje vybrat pohybující se objekt a sledovat ho. Objekt vybere pilot dotykem nebo ohraničením na displeji. Během letu je aktivní automatické vyhýbání překážkám.
- **Waypoints** – Tento režim je využíván zejména pro filmování, jelikož dovoluje na displeji nastavit místa (waypoints), kterými poté multikoptéra automaticky proletí a pilot se může soustředit a ovládání kamery. V aplikaci lze zadat rychlost letu a co má multikoptéra po dokončení provést. Při slabém GPS signálu přechází do Fail Safe režimu a pokračuje na místo vzletu.
- **Draw** – Při použití tohoto režimu lze na displeji nakreslit prstem trasu letu, kterou má multikoptéra automaticky proletět. U tohoto režimu je také nutný dostatečně silný GPS signál, jinak se multikoptéra vrací na místo vzletu (FailSafe RTH).
- Další inteligentní letové režimy – Multikoptéry DJI využívají ještě několik dalších režimů, ale ty již podle mého názoru nejsou tolik využitelné. Mezi ně patří módy Follow Me, při němž multikoptéra následuje osobu s vysílačem, dále Terrain Follow Mode, u kterého multikoptéra při stoupavém terénu udržuje konstantní výšku. Ještě jsou také využívány režimy Tripod Mode, který při malé rychlosti multikoptéry dovoluje velmi plynulé pohyby a režim Gesture Mode, při němž je možné pomocí gest pořídit tzv. „selfie“ fotografii. Skoro samozřejmostí je u dnešních multikoptér systém automatického vzletu a přistání. [32] [33]

Fail Safe – Jedná se o autonomní režimy letu, které se využívají v případě ztráty řídicího či datového spoje mezi multikoptérou a vysílačem nebo při zjištění slabého signálu GPS. Multikoptéra přechází do Fail Safe buď automaticky nebo příkazem dálkově řídicího pilota (na displeji či vysílači). Multikoptéra DJI Phantom 4 využívá pouze režim Fail Safe RTH, ale u multikoptér jiných výrobců je možné využít i jiné režimy. [1] [32]

- **RTH (Return to Home)** – Po automatickém/manuálním spuštění tohoto režimu provede multikoptéra návrat na místo vzletu. Pro použití RTH je třeba dostatečný GPS signál. Před vzletem je pomocí GPS senzoru v multikoptéře zaznamenán bod vzletu. Trasa letu je celou dobu snímána předními senzory. Pokud během letu dojde k poruše spojení (řídicí, datové či slabý GPS signál), aktivuje se režim RTH a multikoptéra se po stejné trase letu snaží vrátit zpět na místo vzletu. Poté co multikoptéra znovu naváže spojení s vysílačem, může nad ní pilot převzít kontrolu. Pokud je při letu aktivní systém detekce překážek, multikoptéra se všem překážkám vyhýbá. Existují ještě další dva módy RTH, a to Smart RTH a Low Battery RTH. Při Smart RTH může pilot sám režim aktivovat a multikoptéra se vrací na místo vzletu.

Pokud se úroveň nabití baterie sníží pod určitou úroveň, režim Low Battery RTH je spuštěn. Jestliže pilot nepřevzme kontrolu, tak let zpět k místu vzletu probíhá stejně jako v předchozích případech.

- **Další Fail Safe režimy** – U multikoptér jiných výrobců existují i jiné Fail Safe režimy, jako například Auto Hovering. Ten se využívá v případech, kdy multikoptéra není vybavena GPS senzorem nebo při slabém signálu GPS. V tomto módu multikoptéra přejde do visení a poté pomalým klesáním přistane. [1] [32]

3.3 Praktická využití multikoptér

Využití multikoptér a celkově bezpilotních systémů je nepřeberné množství. Nejjednodušším využitím je samozřejmě pro zábavu. Pro komerční účely je lze využít například při pátrání po osobách, v zemědělství při postřiku polí nebo pro klasické filmování. Jejich hlavní výhodou je usnadnění práce a značné zvýšení efektivity. Využití na nebezpečných místech či při nebezpečných aktivitách je také velkou výhodou. Další možná využití multikoptér plynou z možnosti umístění speciálních senzorů či jiného vybavení pod multikoptéru či přímo na ní. Multikoptéry mají velký potenciál a v budoucnu se s nimi budeme setkávat čím dál tím více. Samozřejmostí je dodržování veškeré legislativy státu, ve kterém se pilot s multikoptérou nachází. V této části představím nejčastější využití multikoptér. Nebudu se věnovat vojenskému využití, jelikož s tím téma mojí práce nemá žádnou souvislost. [31] [34]

- **Zábava** – Využití pro zábavu je jednoduché a mnohdy určuje i trendy a prvky pro profesionální multikoptéry. Multikoptéry pro komerční využití již nejsou tak drahé jako bývaly, a proto si je v dnešní době může pořídit široká veřejnost. Létat s nimi není nijak náročné, hlavně díky mnoha pomocným systémům pro stabilizaci či udržení přesné pozice vůči zemi pomocí GPS senzoru. Samozřejmě je třeba se s multikoptérou řádně seznámit. I když to není pravidlem, tyto multikoptéry bývají v dnešní době vybaveny kamerou pro filmování a focení a jsou tak vhodné pro objevení okolí. Jedním z oblíbených využití je možnost sledovat sebe sama například při sportování (zejména lyžování či cyklistice) a nechat se u toho multikoptérou automaticky natáčet. Multikoptéra automaticky osobu sleduje a není třeba zasahovat do řízení. Jistě sem také patří multikoptéry pro letecké závody, zejména FPV (First Person View) závody. Piloti mají nasazené speciální FPV brýle, do kterých se přenáší obraz z kamery umístění na multikoptěře.
- **Fotografování a filmování** – Pořizování leteckých fotografií je společně s filmováním nejčastějším výstupem z multikoptér. Je to velice jednoduché, jelikož multikoptéra se většinou s kamerou či fotoaparátem již prodává. Pokud ne, musí si uživatel obstarat kameru či fotoaparát podle svých preferencí (čip, rozlišení atd.) sám. Moderní

multikoptéry podporují nesení kamer s rozlišením až 4K (4096 x 2160 pixelů), což je velmi užitečné zejména pro profesionální filmování.

Při leteckém fotografování vidíme nejenom fotografovaný objekt, ale i jeho okolí a členitost. Toho je využíváno například při dokumentování průběhu staveb. Letecké fotografování se také využívá pro marketingové účely, tedy fotografování památek, měst, akcí atd. V dnešní době jsou také oblíbené tzv. „virtuální prohlídky“, což je prezentace prostoru složená z několika fotek. Virtuální prohlídky lze využít i pro prezentaci nemovitostí.

Letecké video nám umožňuje vnímat celou krajinu a utvořit naši představu o místě natáčení a dnes to dokáží již i malé a relativně levné multikoptéry. Nevýhodou oproti leteckému fotografování představuje nutnost speciálního kamerového závěsu (gimbal) , který pohlcuje vibrace a dovoluje pohyb kamery ve všech třech osách. Velké využití se samozřejmě našlo ve filmovém průmyslu, kde se multikoptéry využívají místo speciálních helikoptér se zavěšenou kamerou. To zejména z důvodu mnohem jednodušší konstrukce. Ceny multikoptér pro profesionální filmování jsou samozřejmě mnohem dražší než ty běžně dostupné. Speciálně upravené multikoptéry lze využít i pro přímé přenosy například sportovní události. Stejně jako tomu bylo u fotografování, i letecké video lze využít pro marketingové účely či různé dokumentace stavu. [31] [34]

- **Mapování** – Multikoptéry můžeme využít například k vytváření map (orthofotomapy), podobných těm, které jsou dostupné na internetových mapových serverech. Na rozdíl od letadel a družic však dokáže multikoptéra dokáže zmapovat pouze malé území. Z toho plyne že hlavní využití je mapování staveb, pro marketingové účely nebo mapování škod při krizových událostech. Dalším výstupem mapování může být vytváření digitálních modelů povrchu a terénu pomocí speciálních softwarů. Z těchto modelů se poté dají například počítat objemy povrchových útvarů nebo vytvářet 3D modely krajiny. Mapování je také velmi užitečné v zemědělství například pokud nastanou nenadálé události (silné deště, sucho atd.) nebo po dokončení určité práce.
- **Monitorování** – Multikoptéry se pro letecký monitoring a různé letecké inspekce využívají hlavně tam, kde dosud monitoring probíhal s využitím pilotovaných letadel nebo leteckých kontrol. Toto monitorování se týká zejména výškových staveb, jako například chladicí věže elektráren či vodní hráze. V energetice si také multikoptéry najdou využití, a to při inspekcích stožárů vysokého vedení. Pokud jsou multikoptéry vybaveny speciálními senzory, mohou například monitorovat čistotu ovzduší nebo místa postižená živelnými pohromami. Na stavbách je můžeme využít jako ostrahu objektů, jelikož moderní multikoptéry dokáží přenášet obraz v reálném čase.

- **Transport a logistika** – Transport zásilek pomocí multikoptér má potenciál a velké přepravní společnosti na nich pracují. Tento druh transportu může být velmi rychlý a za minimální náklady. Je to však téma, které se týká zejména legislativy, jelikož například v České republice je provoz autonomního bezpilotního letadla zakázán. Dalším legislativním problémem je létání nad obydlenou oblastí a nad lidmi. Tyto problémy se však netýkají využití UAS v uzavřených prostorách, tedy například přepravě zboží ve skladu. Zde mohou multikoptéry efektivně expedovat zboží. Další možností je roznáška jídla a nápojů zákazníkům restaurací. V budoucnu bychom se mohli setkat i s přepravou osob multikoptéry, ale parametry doletu ani legislativa zatím nenasvědčují jejich nasazení. [34]
- **U záchranných složek** – U záchranných složek mají multikoptéry velký potenciál, jelikož se dostanou do míst, která mohou být pro záchranáře či zúčastněné osoby nebezpečná. Multikoptéry se využívají k monitoringu, jelikož mohou v reálném čase a sledovat rozsah krizových situací a vyhodnotit další postup. Policie je využívá při demonstracích a jiných nepovolených shromážděních. Dále mohou být multikoptéry využity pro transport lékařského vybavení a pro vybavení pro záchranu života, například nizozemská záchranářská multikoptéra je schopna nést defibrilátor pro poskytnutí první pomoci. Horská služba České republiky také disponuje několika multikoptéry (obrázek 10), které pomáhají při hledání osob v lavinách a pomocí kamer prohledávají okolí. Při využití termovizních kamer dokáží multikoptéry pomoci záchranným složkám v pátrání po osobách. [31] [34]



Obrázek 10: Hexakoptéra Robodrone Kingfisher patřící Horské službě [35]

- **Využití se speciálními senzory a vybavení** – K mnoha využitím stačí pouze kamera či fotoaparát, ale pokud na multikoptéru upevníme jeden či více speciálních senzorů, dostáváme se nepřebornému množství dalších funkcí. S termovizní kamerou můžeme například kontrolovat poškozené solární elektrárny, identifikovat podpovrchové poruchy půdy v zemědělství nebo pátrat po osobách. Laserové skenery se používají ve stavebnictví a geodézii při zaměření objektů a ploch. Dále se využívají senzory pro měření znečištění ovzduší v průmyslových zónách, při požárech atd. Mezi multikoptéry využívající speciální vybavení lze rozhodně zařadit DJI AGRAS MG-1 (obrázek 11), který má na sobě zabudovanou nádobu (pro 10 kg kapaliny) na chemické látky pro postřik zemědělských plodin. [34] [36]



Obrázek 11: Zemědělská oktokoptyra DJI AGRAS MG-1 [36]

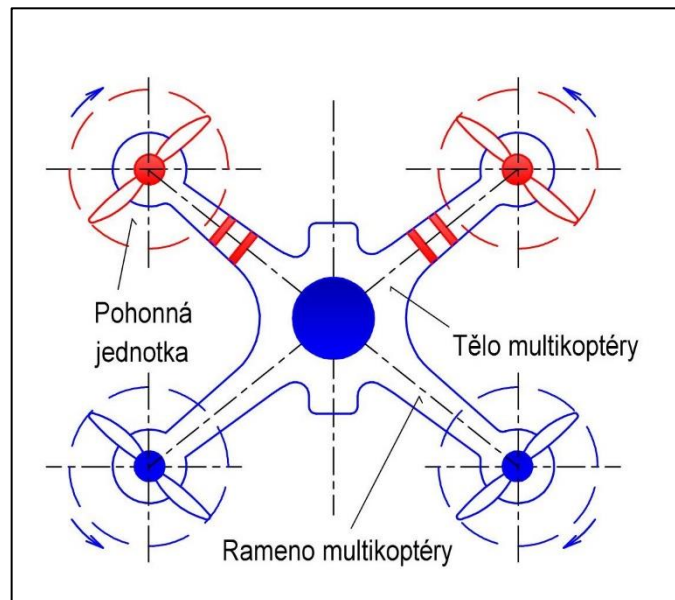
3.4 Stavební prvky multikoptér

V této podkapitole bych rád představil základní stavební prvky multikoptér, jejich funkce a případně i jejich technický popis. Ať už si uživatel multikoptéru staví sám doma nebo ji koupí v obchodě, tyto stavební prvky tam jistě najde. Multikoptéru je třeba brát jako bezpilotní systém, který neobsahuje jen multikoptéru, ale i vysílače, pozemní řídicí stanici, nabíječ akumulátorů a další příslušenství nutné pro provoz. Multikoptéry lze rozdělit na tyto základní části:

- Tělo multikoptéry
- Ramena multikoptéry

- Pohonné jednotky multikoptéry
- Přistávací zařízení [1] [31]

Obrázek 12 představuje pohled shora na multikoptéru s rámem ve tvaru „X“ a její základní rozdělení.



Obrázek 12: Základní stavební prvky multikoptéry [1]

Tělo multikoptéry – V těle multikoptéry je umístěna většina elektroniky (plošné spoje, kabely atd.) a akumulátory. Tělo multikoptéry lze podle konstrukce rozdělit na skořepinové a trubkové. Skořepinová konstrukce se objevuje zejména u zakoupených multikoptér (například kvadroptéra DJI Phantom 4) a tvoří s rameny a přistávacím zařízením jeden celek. Bývá vyrobena z plastu či kompozitu. Trubková konstrukce se využívá zejména pro amatérské konstrukce stavebnicového charakteru a vyrábí se z překližky či uhlíkových desek. Výhodou trubkové konstrukce je snadnější oprava po havárii. [1] [31]

Rameno multikoptéry – Ramena slouží k uchycení pohonných jednotek (motorů) a spojují je s tělem multikoptéry. Důležité je zachování symetričnosti ramen, což přispívá k celkové stabilitě. Ramena mohou být v některých případech sklopná směrem k tělu multikoptéry, což je výhodné pro přepravu. Pro jednodušší rozpoznání přední části multikoptéry bývají ramena barevně označena. Pro výrobu ramen se používají kompozitní materiály a mohou být trubkové konstrukce nebo z ohýbaných profilů. [34]

Přistávací zařízení – Přistávací zařízení může být jak pevné, tak i „polohovatelné“ (za letu je podvozek v horizontální poloze). V prvním případě jde buďto o pevné ližiny či nohy. Pevný podvozek je zpravidla jednodušší konstrukce, lehčí a několikanásobně levnější. Nevýhodu

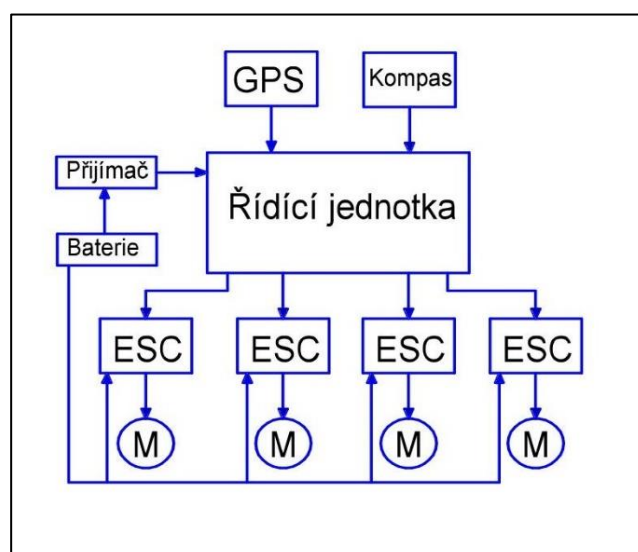
Ize najít při použití kamerových závěsů, které jsou schopny se otáčet o 360° kolem své osy. V určitých polohách kamerového závěsu bychom totiž kamerou natáčeli vlastní podvozek. Tyto problémy řeší „polohovatelný“ podvozek, který se využívá zejména u multikoptér pro profesionální filmování. Polohování se provádí přes rameno/kladku pomocí servomotoru. [1] [34]

Pohonná jednotka multikoptéry – Až na výjimky, jako jsou hybridní multikoptéry popsané v minulé kapitole, jsou multikoptéry poháněné elektrickými pohonnými jednotkami. Ty se skládají z:

- **Elektromotory** – Zjednodušeně by se dalo říci, že motorů má multikoptéra tolik, kolik má vrtulí. Elektromotory mají rychlou reakční dobu, minimální vibrace, nízkou hmotnost a jednoduchou konstrukci a údržbu. Zvětšením motoru dosáhneme většího točivého momentu, ale také větší spotřeby energie. Téměř u všech moderních multikoptér se využívají bezkomutátorové elektromotory (BLDC – Brushless DC) s rotačním pláštěm. Tyto motory jsou tvořeny statorem a rotorem. Na statoru je navinutý měděný vodič a rotor vyrobený z neodymových magnetů obíhá okolo něj. Změnou otáček na rotoru měníme tah na vrtuli, jelikož je na něj připojená. Pokud měníme otáčky na různých motorech je dosaženo říditelnosti multikoptéry.
- **Vrtule** – Díky tomu, že se na rotující vrtuli tvoří vztlak, je multikoptéra schopna létat. Vrtule se skládají ze dvou listů a mohou být buď pevné či sklopné, přičemž sklopné se prakticky nevyužívají. Polovina vrtulí se vždy točí po směru hodinových ručiček a druhá polovina proti směru. Parametry vrtule se zpravidla uvádí ve tvaru průměr x stoupání a jsou v palcích. Pro výrobu vrtulí se využívá zejména plast a kompozitní materiály. Před letem je velmi důležité zkontrolovat jejich stav. [31] [33]
- **Regulátor** – Regulátor otáček je elektronický modul označující se anglickou zkratkou ESC (Electronic Speed Controller) a potřebuje ho každý motor. V průběhu letu ESC zjišťuje momentální otáčky a podle požadavků je přizpůsobuje. Regulátor zajišťuje přepínání proudů do správných cívek ve správném okamžiku a regulaci otáček pomocí změny proudových pulzů. Regulátor musí umět rychle reagovat na požadované otáčky a musí snést vysoké hodnoty proud. [1] [31]
- **Akumulátor** – Akumulátory jsou zdrojem energie pro motory a je nutné, aby při napětí řádově desítek voltů dodávali proud až stovek ampérů. Toho dříve používané NiCd a NiMh nejsou schopné dosáhnout, proto se v dnešní době využívají zejména Li-Pol akumulátory (Lithium-Polymer). Na rozdíl od NiCd a NiMh, Li-Pol nemají takový paměťový efekt a při stejné kapacitě jsou lehčí. Li-Pol akumulátory se skládají až z šesti článků, přičemž nominální napětí jednoho článku je 3,7V (3,8V) a plně nabitě mají 4,2V (4.35V). Články jsou zapojeny buď do série nebo paralelně (existují

i sérioparalelně zapojené akumulátory, avšak u multikoptér se nevyužívají). Akumulátor multikoptéry DJI Phantom 4 Pro obsahuje inteligentní akumulátor a čtyři do série zapojené články. Inteligentní nabíječka zajišťuje, že všechny články se nabíjí na stejné napětí. Nevýhodou Li-Pol akumulátorů je, že mají složitější nabíjecí proces, při kterém je potřeba inteligentní nabíječka (tzv. balancer). U Li-Pol akumulátorů nesmí dojít k úplnému vybití, proto je třeba ukončit let s 25% - 30% kapacity (napětí by nemělo klesnout pod 3,2V). Pokud dojde k vybití pod 3V, je článek nezvratně poškozen. U akumulátorů nás obvykle zajímají tři parametry, tedy počet článků, kapacita a velikost proudu který jsou schopny dodat. Li-Pol akumulátory jsou schopny životnosti 100 až 250 nabíjecích cyklů. Jsou velmi citlivé na teplotu a je nutné je skladovat při teplotě vyšší než 0°C. [31] [33]

Řídící jednotka – Tato elektronická součást multikoptéry zajišťuje její ovládání. Součástí řídicí jednotky je i palubní počítač (FC – Flight Controller). Ten zpracovává mnoho důležitých dat, mezi které patří zejména signály přijímané z vysílače dálkového ovládání multikoptéry. Pilot během letu pohybuje ovládacími páčkami a dalšími ovládacími prvky a vysílač odesílá data o jejich poloze do řídicí jednotky. Dále palubní počítač zpracovává data od senzorů pro zjištění zrychlení, rychlosti a polohy. Jednodušší řídicí jednotky využívají trojosý gyroskop, který měří rotaci rámu multikoptéry a trojosý akcelerometr, který určuje úhel naklonění rámu. U moderních multikoptér využívají řídicí jednotky navíc GPS modul, kompas (magnetometr), barometrické čidlo (tlakoměr) a u dražších modelů i ultrazvukové dálkoměry. Řídící jednotka ze získaných dat/informací poté vytvoří signály pro regulátory pohonných jednotek. Regulace otáček zajistí požadovaný směr pohybu a stabilizuje horizontální polohu multikoptéry. Na obrázku 13 vidíme jednoduché schéma zapojení řídicí jednotky. [31] [33]



Obrázek 13: Jednoduché schéma zapojení řídicí jednotky [1]

Dálkový ovladač (vysílač) – Využíváme ho pro ovládání bezpilotních systémů, jejich kamerových závěsů (gimbalů) a dalšího příslušenství. Samotný let se ovládá páčkami, posuvníky, potenciometry a dalšími ovládacími prvky. Povel, co má multikoptéra vykonat jsou přiděleny určitým ovládacím prvkům na dálkovém ovladači. Při koupi moderních komerčních multikoptér jsou obvykle vysílače součástí balení a je možné je „spárovat“ pouze s určeným typem. „Spárováním“ dosáhneme toho, že během letu nedojde k ovlivnění jinými vysílači. Informace se většinou přenášejí na frekvenci 2,4 GHz a je zapotřebí alespoň 6 kanálů. Při využívání dalšího řízeného vybavení jako například gimbal je potřeba vícepovelová soustava. U moderních multikoptér je již skoro samozřejmostí přenos obrazu, který se zobrazuje na tabletu/telefonu připevněném na dálkovém ovladači. Systémy přenosu ovládacího signálu, obrazu a telemetrie bývají sjednoceny. [33] [34]

Další vybavení – Každá multikoptéra má svoje specifické využití, k němuž se vztahuje určité vybavení. Jde například o velmi používaný gimbal nebo různé typy kamerového vybavení. Gimbal je speciální držák (závěs), který rychle a plynule vyrovnává náklon kamery tak, aby byla stále v požadované rovině. Díky zajištění stabilizace a snížení vibrací se gimbal využívají pro filmování a fotografování. K dalšímu vybavení dále patří senzory a snímače, mezi které patří například gyroskop, kompas, barometrický senzor, dálkoměr, antikolizní senzory, GPS moduly a další. Informace ze senzorů a snímačů jsou dále zpracovány v řídicí jednotce. Neméně důležité jsou také v dnešní době systémy pro dálkový přenos obrazu a pro ochranu dražších UAS je možné opatřit padákový systém (obrázek 14). Aktivace otevření padáku pyrogenerátorem se provádí buď na dálkovém ovládání či automaticky z rozhodnutí řídicí jednotky multikoptéry (například po překročení určité vertikální rychlosti). [33]



Obrázek 14: Otevření padáku Safetech ST60 [37]

4. Nebezpečí a rizika

V této kapitole bych rád vysvětlil základní pojmy týkající se nebezpečí a rizik a přiblížil teoretickou problematiku řízení bezpečnostního rizika, přesněji řečeno, jak se postupuje při zjišťování a identifikaci nebezpečí a poté při vyhodnocování a zmírňování rizik.

4.1 Vymezení pojmů

K hlubšímu pochopení problematiky řízení bezpečnostního rizika je nutné si přesně definovat základní pojmy jako nebezpečí, následek/riziko a jak spolu souvisí. Směrnice CAA-FOD 01/2013 využívá termín riziko a ICAO Doc 9859 využívá termín následek, ale význam je prakticky stejný. Podle mého názoru není moc vhodné používat slovo riziko, jelikož by mohlo dojít k popletení s bezpečnostním rizikem, které je později také popsáno. [2] [3]

4.1.1 Nebezpečí (*Hazard*)

Úřad pro civilní letectví nebezpečí definuje jako „*existující stav, případ, okolnost nebo předmět mající potenciál zapříčinit smrt, zranění osob, poškození zařízení nebo vybavení, ztrátu materiálu, nebo snížení schopnosti vykonávat předepsané a stanovené funkce nebo činnosti. Jinými slovy, nebezpečí je aktuální, existující stav, událost, předmět nebo okolnosti, které by mohly vést nebo přispět k neplánované nebo nežádoucí události.*“³

Nebezpečí jsou nedílnou součástí našeho okolí, nemusejí však ihned znamenat ničení. Do takové formy se mohou dostat až po kontaktu s provozními operacemi, které mohou mít vliv na bezpečnost. [2]

Nebezpečí můžeme rozdělit na pět druhů, přesněji řečeno na:

- **Přírodní nebezpečí** – Jsou výsledkem prostředí, uvnitř kterých se provoz odehrává. Patří sem například bouřky, stříhy větru, námraza, sněžení, zemětřesení, požáry, nepříznivý terén atd.
 - **Technická nebezpečí** – Mezi ně patří například nedostatky letadel (bezpilotních systémů) a jejich součástí, vybavení společnosti.
 - **Ekonomická nebezpečí** – Patří sem expanze společnosti, recese a další
 - **Ergonomická nebezpečí** – K těmto nebezpečím patří nedostatky v pracovním prostředí a pracovní zátěž.
 - **Organizační nebezpečí** – Mezi ně patří složitá organizační struktura či reorganizace
- [3]

³ Přímá citace: Směrnice CAA-FOD-01/2013, str.28 [3]

4.1.2 Následek/Riziko (Consequence/Risk)

Následek (riziko) je definován jako „*možný, pravděpodobný výsledek nebezpečí, nebo jinými slovy, budoucí účinek nebo vliv nebezpečí, které by nebylo řízeno/kontrolováno nebo odstraněno.*“⁴

Následek (riziko) je tedy jinými slovy budoucí účinek nebo vliv nebezpečí, které by se mohlo objevit, kdyby nebylo řízeno/kontrolováno nebo odstraněno. [2] [3]

4.1.3 Rozdíly mezi nebezpečím a následky

V praxi často dochází k zaměňování těchto dvou termínů, tedy popis nebezpečí vyjadřuje již samotné následky. Touto záměnou bychom zamaskovali skutečnou povahu nebezpečí a zabránili bychom identifikaci jiných důležitých následků nebezpečí. Pro správné porozumění těchto dvou termínů je důležité si uvést několik příkladů. [2] [3]

Nebezpečí může představovat i více následků (rizik), je proto důležité je popsat a analyzovat úplně všechny, nejen ty nejznámější a na první pohled zřetelné. Létání s multikoptérou v blízkosti pevné překážky je nebezpečí. Možnost/pravděpodobnost, že pilot při letu s multikoptérou do překážky narazí, kdy výsledkem může být zničení multikoptéry je následek.

Klasickým příkladem rozdílu mezi nebezpečím a následkem je vítr, který je pevnou součástí našeho životního prostředí. Samotný vítr však nelze označit jako nebezpečí, jelikož s sebou nese nevyhnutelné následky. Naopak, při letu s multikoptérou po větru je rychlost oproti zemi (Ground speed – GS) větší než při letu proti větru. Nebezpečím se stává až v určitých operacích jako je například vzlet, visení nad zemí, přistání. V těchto případech již vzniká možnost poškození a operace má vliv na bezpečnost. Následkem takového nebezpečí může být například přistání mimo zamýšlené místo přistání či poškození přistávacího zařízení. Multikoptéry a další UAS mívají stejně jako letadla určené maximální hodnoty rychlostí větru. [2] [3]

Dalším příkladem může být létání s multikoptérou v oblačnosti. Toto samotné je již nebezpečí, jelikož do oblačnosti by se multikoptéra neměla za žádných okolností dostat. Jedním z následků, která mohou z tohoto nebezpečí vzejít je, že s multikoptérou vlétneme do oblasti námrazy a budou značně omezeny její manévrovací schopnosti a výkony.

Všechny tyto následky mohou být eliminovány/zmírněny zavedením zmírňujících opatření. Nebezpečí je stav, který je neustále kolem nás, je tedy záležitost současnosti. Následek je možný výsledek nebezpečí a je naopak záležitostí budoucnosti. Je to možnost, že případ se

⁴ Přímá citace: Směrnice CAA-FOD-01/2013, str.28 [3]

může stát. K přiměřenému zhodnocení možných následků je nutná řádná identifikace nebezpečí. [2] [3]

4.2 Identifikaci nebezpečí

Podle úřadu pro civilní letectví je identifikace „*nebezpečí formálním prostředkem pro sběr, zaznamenávání, analýzu, reakci a vytváření zpětné vazby, týkající se nebezpečí a s nimi spojených rizik, která ovlivňují bezpečnost provozních činností provozovatele.*“⁵

Při identifikaci nebezpečí postupujeme podle re-aktivních, pro-aktivních a prediktivních metod sběru bezpečnostních informací a údajů. Ve schopném systému řízení bezpečnosti je identifikace nebezpečí stále pokračujícím a nikdy nekončícím procesem. [2]

K tomu abychom mohli nebezpečí ovládat a řídit, je nutné vědět o jeho existenci. Chyby se mohou objevit poté, co na nebezpečí působí určité spouštěcí faktory během provozních operací. Nebezpečí mohou být výsledkem systémů, které nejsou dostatečné v jejich konstrukci, technické funkčnosti, lidském rozhraní nebo v interakci s jinými procesy a systémy. Nebezpečí také mohou vyplývat z neúspěchu stávajících systémů a procesů přizpůsobit se změnám v provozu společnosti. Pokud se provede řádná analýza těchto faktorů již během prvotní fáze (plánování, návrhy atd.), můžeme identifikovat a eliminovat potenciální nebezpečí ještě před tím, než bude systém v provozu. Nebezpečí mohou být samozřejmě zjištěna i během provozu, a to buď vyšetřováním incidentů nebo prostřednictvím hlášení zaměstnanců. Tato nebezpečí by se měla analyzovat s ohledem na systém tak, aby nedocházelo přisuzování událostí pouze „lidské chybě“. Chyby v systému samotném by se poté mohli zanedbat a v budoucnosti by mohli vést k závažnější události. Pochopení systému a jeho provozu je pro dosažení vysoké bezpečnosti nezbytné. [2]

Existuje řada situací, které vedou k rozsáhlejší a hlubší identifikaci nebezpečí. Mezi ně například patří případy, kdy se společnost potýká s nevysvětlitelným nárůstem událostí souvisejících s bezpečností nebo při významných provozních změnách a změnách klíčových pracovníků. Dále sem také patří situace, kdy dochází k významným organizačním změnám. [2]

Proces identifikace nebezpečí (zejména ve velkých společnostech) může zahrnovat skupinová sezení odborníků s cílem provádět analýzy vybraných scénářů. Mezi odborníky by měl být zejména provozní a technický personál. Stejná skupina lidí může také provádět analýzu bezpečnostních rizik. [2]

⁵ Přímá citace: Směrnice CAA-FOD-01/2013, str.30 [3]

Je třeba používat systém bezpečnostních hlášení, inspekce či audity, pomocí kterých by měly být identifikovány skryté problémy a okolnosti, které by mohli ohrozit bezpečnost provozu. Mělo by být prosazováno interní dobrovolné hlášení méně významných událostí jako jsou například negativní zkušenosti, pochybnosti a další informace, které by mohli ohrozit bezpečnost. Interní hlášení jsou velmi užitečná pro správný chod společnosti a informace získané z nich mohou být doplněny zjištěními z běžných inspekcí či auditů společnosti. Nebezpečí lze také identifikovat přezkoumáním zpráv o vyšetřování nehod/incidentů. To se týká zejména nebezpečí, která jsou nepřímo přispívajícími faktory a nemusí být náležitě vyřešena nápravnými opatřeními vyplývajícími z vyšetřování. Takovéto přezkoumávání zpráv o vyšetřování nehod/incidentů je velmi dobré pro zlepšení identifikace nezabezpečí, a to zvláště u společností kde ještě není tolik rozvinuto dobrovolné hlášení. Všichni zaměstnanci by měli být povinni využívat systém bezpečnostního hlášení, a především mít jasno v tom, jak hlásit, co hlásit a komu hlásit. Podaná hlášení by měla následně sloužit pro identifikaci bezpečnostních rizik, tak aby mohly být podniknuty další náležité kroky a posléze i zmírňující opatření. [2] [3]

4.2.1 Interní program hlášení událostí

Účelem programu hlášení událostí je zdokonalování úrovně bezpečnosti pomocí hlášených informací. Celkovým záměrem programu je vyhodnocování dopadů na bezpečnost každého incidentu či nehody tak, aby mohla být realizována jakákoliv nezbytná opatření a také zajištění, že výsledky šetření budou šířeny, aby je mohli další osoby a společnosti využít. Program hlášení událostí je hlavním prvkem funkce sledování a je to doplněk ke standardním postupům. V žádném případě je nenahrazuje. Program hlášení se využívá pro identifikaci případů, kde standardní postupy selhali. Hlášení by měla být uchovávána pro případy kdy jejich důležitost může být zřejmá až s odstupem času. [2] [3]

4.2.2 Zdroje dat pro identifikaci nebezpečí

Existuje mnoho zdrojů dat identifikace nebezpečí, ale v podstatě se rozdělují na interní a externí. Interní zdroje jsou získané od společnosti samotné a externí zdroje jsou postavené na spolupráci mezi společnostmi a státy. Příklady interních zdrojů dat pro identifikaci nebezpečí zahrnují:

- 1) Běžné monitorování provozu
- 2) Systémy hlášení:
 - a) Systém povinného hlášení událostí
 - b) Interní systém dobrovolného hlášení (ústní, písemná forma)

- c) Interní systém dobrovolného důvěrného hlášení (písemnou formou pomocí bezpečnostních stránek, intranet atd.)
- 3) Bezpečnostní průzkumy a audity
 - 4) Zpětná vazba z výcviku
 - 5) Vyšetřování a zprávy z událostí, které se již stali (incidenty, nehody)
 - 6) Hledání nových nápadů při diskuzi (*brainstorming*) na skupinovém sezení
 - 7) Kontrolní seznamy nebezpečí (*hazard checklists*) – Jsou to seznamy známých nebezpečí nebo příčin nebezpečí získaných z praxe či zkušeností. Je třeba zvážit každou položku na seznamu pro kompatibilitu se systémem. [2] [3]

Příklady externích (vnějších) zdrojů dat pro identifikaci nebezpečí zahrnují:

- 1) Zprávy o nehodách či incidentech od jiných společností
- 2) Zprávy z auditů provedených státními či světovými orgány
- 3) Státní systémy hlášení
- 4) Systémy výměny informací
- 5) Systémy výměny bezpečnostních informací (například webové stránky) [2] [3]

4.2.3 Metody identifikace nebezpečí

Při identifikaci nebezpečí postupujeme podle re-aktivních, pro-aktivních a prediktivních metod sběru bezpečnostních informací a údajů.

- **Re-aktivní** – Při této metodě se využívají případy, které se již staly a nebezpečí je tedy identifikováno na základě výsledků provedeného šetření. Incidenty a nehody jsou jasnými ukazateli nedostatků, ať už v bezpečnosti, nebo například v technické konstrukci bezpilotního systému. Tyto nedostatky přispěly k události, a proto je můžeme dále využít k identifikaci nebezpečí.
- **Pro-aktivní** – U této metody spočívá identifikace nebezpečí v analýze existujících situací nebo situací, které momentálně probíhají. Proces pro-aktivní metody je základním úkolem funkce ověřování úrovně bezpečnosti. Sem patří audity, zapojení zaměstnanců do programu hlášení událostí. Zjištěná nebezpečí se poté analyzují a mohou být použita i zmírňující opatření. Tato metoda zjišťování nebezpečí zahrnuje aktivní a neustálé vyhledávání nebezpečí v existujícím stávajícím provozu. Je ze všech metod nejvýznamnější a měla by být využívána v každé správně fungující společnosti.
- **Prediktivní** – Tato metoda identifikace nebezpečí spočívá ve sběru údajů, tak aby se odhalily možné budoucí negativní výsledky nebo události. Je to vlastně analyzování systémových procesů a prostředí pro odhalení možných nebezpečí, ze kterých poté

plynou následky/rizika. Následuje zahájení činnosti pro jejich zmírnění, aplikace zmírňujících opatření. [2] [3]

Ve společnostech s kvalitním systémem bezpečnostního managementu (SMS), tedy zejména ve velkých společnostech, se při identifikaci využívá kombinace reaktivních, proaktivních a prediktivních metod, které využívají interní i externí zdroje informací. Identifikovat nebezpečí musí být schopen každý pracovník, ale zodpovědnost za identifikaci má určitá osoba (bezpečnostní pracovník). [2]

Jaký typ technologie bude pro identifikaci rizik využit závisí na velikosti a složitosti společnosti a také na tom jaké služby poskytuje. Proces identifikace nebezpečí musí být bez ohledu na velikost systému či složitost operací vždy součástí SMS (Safety Management System) dokumentace společnosti (poskytovatele služeb) a musí být jasně a srozumitelně popsán. Některé malé společnosti komerčně provozující bezpilotní systémy však SMS zavedené nemají a ani nemusí. Ve společnostech se složením jedna osoba a jeden UAS, je SMS zbytečný. [2]

4.3 Analýza rizik

Před podrobným popisem analýzy rizik je třeba si definovat bezpečnostní riziko (safety risk), které je pro analýzu zásadní, jelikož se s ním pracuje při zjišťování pravděpodobnosti a vážnosti rizik. Na rozdíl od nebezpečí a následků není viditelné a není součástí prostředí. Úřad pro civilní letectví definuje bezpečnostní riziko jako „*předpokládanou pravděpodobnost a vážnost následků momentálně existujícího nebezpečí nebo stavu/situace.*“⁶ [2]

Je velmi důležité, aby byly následky správně nazývány/popisovány, jelikož při nich může dojít až ke ztrátám životů či poškození majetku. Pokud bychom následky popisovali špatně, například poškození majetku, analýza bezpečnostních rizik nebude mít smysl, jelikož špatný popis způsobí potíže při zavádění zmírňujících opatření. Je tedy nutné následky popisovat správně (na nižší úrovni), například omezení manévrovacích schopností, poškození přistávacího zařízení atd. [2]

Analýza/vyhodnocení rizika umožňuje organizaci vyhodnotit úroveň rizika (následku) spojeného s identifikovaným nebezpečím. Analýza se provádí vzhledem k jeho potencionálu způsobit újmu. Rizika se vyhodnocují podle tabulek klasifikace z hlediska pravděpodobnosti a vážnosti jejich následků. [2]

Samotný proces analýzy/vyhodnocení bezpečnostního rizika začíná určením rizika (následku), které souvisí s identifikovaným nebezpečím. Nebezpečí byla identifikována

⁶ Přímá citace: Směrnice CAA-FOD-01/2013, str.35 [3]

jednou z předem popsaných metod (re-aktivní, proaktivní, prediktivní). Jak již bylo řečeno, z jednoho konkrétního nebezpečí nemusí vycházet jen jedno riziko, může jich být hned několik. Analýza/vyhodnocování bezpečnostního rizika však musí být provedena pro každé riziko zvlášť. [3]

Poté co je identifikovali bezpečnostní rizika, vyhodnotíme ho/je podle tabulek vzhledem k pravděpodobnosti a vážnosti rizika. Následuje stanovení celkové úrovně rizik, k čemuž se využívá jednoduchá matice pro vyhodnocení bezpečnostního rizika (safety risk assessment matrix), kterou budu popisovat dále. Z matice snesitelnosti bezpečnostního rizika (safety risk tolerability matrix) zjistíme, v jaké oblasti se nacházíme (přijatelná, snesitelná, nepřijatelná). V závislosti na této oblasti by měla být použita vhodná a přiměřená opatření pro zmírnění. Toho lze dosáhnout buď úplným eliminováním rizika, zmenšením rizika na nižší úroveň nebo na úroveň tak nízkou, jak je přiměřeně možné (*ALARP-as low as reasonably practicable*). Po dosažení této úrovně se nám již nevyplatí dále investovat do zmírňování rizika. V systému zůstávají zbytky rizik, ale výhody zmírnění je převažují. Při realizaci opatření pro zmírnění rizika by mělo dojít ke snížení pravděpodobnosti bezpečnostního rizika nebo snížení vážnosti bezpečnostního rizika. [2] [3]

Je důležité, aby se do procesu analýzy rizik zapojilo více personálu (zejména kvalifikovaný a zkušený personál) a získalo se tak více odborných názorů na věc. To zajistí efektivní a funkční výsledky analýzy. Při analýze bezpečnostního rizika je důležité používat pouze kvalitní informace, jelikož všechna vyhodnocení a analýza bezpečnostních rizik na těchto informacích a na lidech, kteří je vyhodnocují, závisí. [3]

4.3.1 Pravděpodobnost/možná pravděpodobnost bezpečnostního rizika

Pravděpodobnost bezpečnostního rizika je ÚCL definována jako „*možná pravděpodobnost nebo četnost / frekvence, s jakou by mohlo dojít k bezpečnostnímu následku nebo výsledku.*“⁷ Proto abychom došli k závěru analýzy, tedy v jaké oblasti (přijatelná, snesitelná, nepřijatelná) se riziko nachází, musí se vyhodnotit, jak velká je pravděpodobnost, že dané riziko nastane. [3]

Při vyhodnocování pravděpodobnosti bezpečnostního rizika se však v potaz bere možná pravděpodobnost, kterou je velmi obtížné definovat, jelikož samotná definice není vědecky podložena. Otázka, na kterou se ptáme je tedy: Jaká je možná pravděpodobnost, že určité riziko nastane? Během vyhodnocování je samozřejmě třeba brát v potaz již aplikovaná zmírňující opatření, která možnou pravděpodobnost nějakým způsobem snižují. Při hledání

⁷ Přímá citace: Směrnice CAA-FOD-01/2013, str.36 [3]

rozumného výsledku stanovení možné pravděpodobnosti (jedna z pěti skupin) se musí využívat logika a „selský“ rozum. [3]

Ke stanovení možné pravděpodobnosti můžeme využít následující otázky:

1. Stala se již v minulosti stejná či podobná událost, o které se uvažuje (v jakékoliv organizaci) nebo je to jen ojedinělý případ?
2. Jaké další vybavení, zařízení a komponenty stejného typu by mohlo trpět stejnou/podobnou závadou?
3. Kolik pracovníků se řídí nebo podléhá příslušným postupům, se kterými událost souvisí?
4. Jaké procento času je podezřelé zařízení nebo pochybné postupy v užívání?
5. Do jaké míry se mohou vyskytnout organizační, manažerské nebo regulační důsledky, které by mohly ohrozit veřejnou bezpečnost? [2]

Tabulka 1: Tabulka klasifikace možné pravděpodobnosti bezpečnostního rizika [3]

Možná Pravděpodobnost <i>(Likelihood)</i>	Význam <i>(Meaning)</i>	Hodnota <i>(Value)</i>
Častá <i>(Frequent)</i>	Pravděpodobnost, že se může stát velmi často (stalo se často)	5
Občasná <i>(Occasional)</i>	Pravděpodobnost, že se může někdy stát (stalo se nepříliš často)	4
Časově vzdálená <i>(Remote)</i>	Nepravděpodobné, ale s možností, že se může stát (stalo se zřídka)	3
Nepravděpodobná <i>(Improbable)</i>	Velmi nepravděpodobné, že by se mohlo stát (není známo, že by se stalo)	2
Extrémně nepravděpodobné <i>(Extremely Improbable)</i>	Téměř nemyslitelné, že by se takový případ mohl stát	1

Tabulka 1 představuje typickou tabulku klasifikace možné pravděpodobnosti rizika, v tomto případě pětibodovou. Tabulka je podle levého sloupce rozdělena do pěti skupin pro vyjádření pravděpodobnosti nějaké nebezpečné situace. Dále v ní najdeme slovní význam každé skupiny a v pravém sloupci číselné hodnoty 1-5, které jsou skupinám přiděleny. [2] [3]

Je třeba poznamenat, že tato tabulka, stejně jako další tabulky a matice používané při analýze rizik jsou jen příklady. Jejich složitost a podrobnosti by měli být upraveny na míru určité společnosti. [2] [3]

Při vyhodnocování možné pravděpodobnosti bezpečnostního rizika je nutné si z ověřeného zdroje zjistit, zda se již případ stal a jestli ano, tak kolikrát a v jakém časovém období. Je vhodné čerpat z historických bezpečnostních záznamů (bezpečnostní knihovny). V případě, že není žádný historický zdroj k dispozici, se o pravděpodobnosti rozhodne buď na základě trendů v odvětví či prostým úsudkem. [2] [3]

Z kategorie možné pravděpodobnosti zjistíme příslušnou číselnou hodnotu, která je potřebná do matice vyhodnocení rizika (Risk assessment matrix). [2] [3]

4.3.2 Vážnost bezpečnostního rizika (Safety risk severity)

Po stanovení možné pravděpodobnosti bezpečnostního rizika je nutné se zaměřit na vyhodnocení vážnosti bezpečnostního rizika. Zjištění vážnosti rizika a její hodnoty (písmena) je velmi důležité pro celý proces analýzy bezpečnostního rizika, ale je také důležité porozumět co vlastně vážnost rizika je. [2] [3]

Vážnost bezpečnostního rizika je definována jako „*rozsah nebo závažnost újmy nebo poškození, který by se mohl stát jako následek nebo výsledek zjištěného/ identifikovaného nebezpečí.*“⁸

Jinými slovy při vyhodnocování vážnosti bezpečnostního rizika vlastně zjišťujeme, jak špatná situace by nastala, když by k události skutečně došlo. Při vyhodnocování musíme také brát v úvahu již existující zmírňující opatření, které vážnost následků snižují. Zároveň je také nutné si dát pozor, aby během tohoto procesu byly zváženy všechny důsledky, které by s nebezpečím mohli souviset. Samotná vážnost se poté analyzuje z hlediska nejhorší možné situace, která by mohla nastat. [2] [3]

Ke stanovení vážnosti můžeme využít následující otázky:

1. Kolik lidských životů by při nastalém riziku mohlo být ohroženo/ztraceno ať už se jedná o zaměstnance, obyvatele či jen o přihlížející? U letecké dopravy se hodnotí i počet cestujících.
2. K jakému poškození letadla, zařízení, majetku, vybavení a dalšímu finančnímu poškození by při nastalém riziku mohlo dojít?
3. K jak velkým škodám na životním prostředí by mohlo dojít, pokud by riziko nastalo? Může se jednat jednak jak o fyzické poničení prostředí, tak o poškození chemikáliemi

⁸ Přímá citace: Směrnice CAA-FOD-01/2013, str.37 [3]

(palivo, akumulátory). Tento aspekt při zjišťování vážnosti je důležitý zejména u letecké dopravy, jelikož bezpilotní systémy jsou mnohem menších rozměrů a neobsahují tolik chemických látek.

4. Mohla by nastat situace (riziko) způsobit nepříznivé mediální důsledky či ztrátu pověsti a důvěru veřejnosti?
5. Mohly by se vyskytnout nějaké organizační nebo regulační důsledky s potenciálem vytvořit hrozbu veřejné bezpečnosti? Toto se opět týká zejména letecké dopravy, kde stejná chyba na více letadlech může ohrozit mnohonásobně více lidských životů než při provozu bezpilotních systémů. [2] [3]

Tabulka 2: Tabulka klasifikace vážnosti bezpečnostního rizika [2] [3]

Vážnost (Severity)	Význam (Meaning)	Hodnota (Value)
Katastrofická (Catastrophic)	- Nehoda, úmrtí a/nebo zničení zařízení	A
Nebezpečná (Hazardous)	- Rozsáhlé snížení míry bezpečnosti, takové hmotné potíže nebo pracovní zatížení, že se provozovatel nemůže spolehnout, že bude schopen plnit své úkoly přesně nebo beze zbytku - Vážné zranění - Závažné poškození zařízení	B
Závažná (Major)	- Významné snížení míry bezpečnosti, omezení schopnosti provozovatele vyrovnat se s nepříznivými provozními podmínkami zapříčiněnými zvýšeným pracovním zatížením nebo podmínkami, které zhoršují jejich výkonnost - Vážný incident - Zranění osob	C
Mírně závažná (Minor)	- Obtíže - Provozní omezení - Použití nouzových postupů - Méně závažný incident	D
Zanedbatelná (Negligible)	- Malé následky	E

Tabulka 2 představuje typickou tabulku klasifikace vážnosti bezpečnostního rizika (Safety risk severity table). Tabulka je opět podle levého sloupce rozdělena do pěti skupin pro vyjádření vážnosti nějaké nebezpečné situace, v prostředním sloupci je význam (popis) každé skupiny a v levém sloupci jsou hodnoty (písmena A-E) přiřazené ke skupinám. [2] [3]

4.3.3 Snesitelnost bezpečnostního rizika (Safety risk tolerability)

Poté co jsme vyhodnotili možnou pravděpodobnost a vážnost bezpečnostního rizika můžeme pomocí matice vyhodnocení rizika (risk assessment matrix) určit index bezpečnostního rizika (safety risk index). Index rizika je alfanumerické označení složené

z číselné hodnoty označující možnou pravděpodobnost bezpečnostního rizika a písmena označujícího hodnotu vážnosti bezpečnostního rizika. Představme si například situaci, kdy pravděpodobnost byla ohodnocena jako nepravděpodobná (2) a závažnost byla ohodnocena jako závažná (C). Index rizika by byl v tomhle případě označen jako 2C. Příslušné kombinace pravděpodobnosti/vážnosti jsou uvedeny v matici pro vyhodnocení rizika (Risk assessment matrix) v tabulce 3. [2]

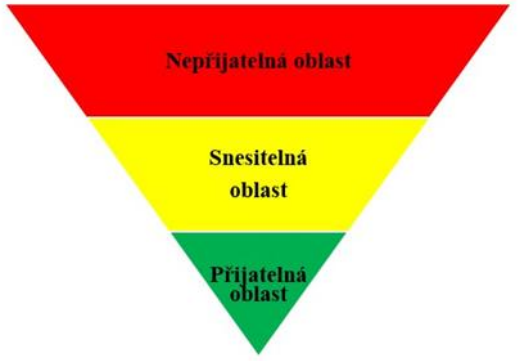
Tabulka 3: Matice vyhodnocení bezpečnostního rizika [3]

Pravděpodobnost rizika		Vážnost rizika				
		Katastrofický <i>Catastrophic</i> A	Nebezpečný <i>Hazardous</i> B	Závažný <i>Major</i> C	Méně závažný <i>Minor</i> D	Zanedbatelný <i>Negligible</i> E
Častá (<i>Frequent</i>)	5	5A	5B	5C	5D	5E
Občasná (<i>Occasional</i>)	4	4A	4B	4C	4D	4E
Velmi slabá (<i>Remote</i>)	3	3A	3B	3C	3D	3E
Nepravděpodobná (<i>Improbable</i>)	2	2A	2B	2C	2D	2E
Extrémně nepravděpodobná (<i>Extremely Improbable</i>)	1	1A	1B	1C	1D	1E

Matice pro vyhodnocení rizika je pro větší přehlednost rozdělena podle barev na tři oblasti, které jsou podrobněji popsány v matici snesitelnosti bezpečnostního rizika.

Index rizika exportujeme do matice snesitelnosti bezpečnostního rizika (Safety risk tolerability matrix), která je na vyobrazena v tabulce 4. Z té poznáme, v jaké oblasti se nacházíme (přijatelná, snesitelná, nepřijatelná). [2]

Tabulka 4: Matice snesitelnosti bezpečnostního rizika [3]

Kritéria zhodnocení rizika	Váženost rizika	Přijatelnost rizika
	5A, 5B, 5C 4A, 4B, 3A	Nepřijatelné za daných okolností
	5D, 5E, 4C, 4D 4E, 3B, 3C, 3D 2A, 2B, 2C, 1A	Přijatelné na základě zmírnění rizika (rozhodne vedení)
	3E, 2D, 2E, 1B, 1C, 1D, 1E	Přijatelné

Rizika můžeme klasifikovat (rozdělit) do tří oblastí jako přijatelné (zelená barva), či snesitelné (žlutá barva) nebo nepřijatelné (červená barva). V obráceném trojúhelníku je vidět, že ve vrchní části je nahromaděno nejvíce rizik, tedy rizika spadající do nepřijatelné oblasti. Nejméně rizik naopak spadá do přijatelné oblasti. Vyhodnocení společně s tímto rozdělením nám umožňuje zavedení vhodné strategie pro zmírnění rizika, jestliže je požadováno. [2, 3]

U příkladu uvedeného výše jsme zjistili, že index rizika je 2C a při použití matice snesitelnosti bezpečnostního rizika vyhodnotíme, že spadá do Snesitelné oblasti. Riziko je tedy přijatelné na základě zmírnění rizika. Nyní je důležité si říci, jak se má organizace chovat, když se bezpečnostní riziko vyskytne v nějaké ze těchto tří oblastí a co to vlastně pro organizaci znamená. [2] [3]

První z oblastí, kterou si popíšeme je Nepřijatelná oblast čili oblast s vysokým rizikem. Pravděpodobnost a váženost bezpečnostního rizika je tak vysoká, že ohrožuje provozuschopnost organizace. Pokud je riziko nepřijatelné (*unacceptable*), provoz nebo činnost by měly být okamžitě zastaveny. Je nutné ihned přijmout opatření (pokud jsou již nějaká zmírňující opatření implementována je třeba na ně brát ohled a případně zavést opatření tvrdší) pro zmírnění rizika, a to na míru tak nízkou, jak je přiměřeně možné (as low as reasonably practicable –ALARP). Tedy v indexu rizika snížit složku váženosti rizika a/nebo pravděpodobnosti bezpečnostního rizika. Po dosažení stupně ALARP se nám již riziko zmírňovat nevyplatí, což ovšem neznamená že riziko již neexistuje. Zůstává zbytkové riziko, ale převažují benefity, které z operace vyplývají. [2] [3]

Pokud bylo bezpečnostní riziko vyhodnoceno jako nepřijatelné, je třeba aby byl postup následovný:

1. Může být riziko odstraněno? Pokud je odpověď:
ANO, tak se podniknou vhodné kroky a lze pokračovat v provozu. Jestliže je odpověď:
NE, tak pokračuje se dále:
2. Může být bezpečnostní riziko zmírněno? Pokud je odpověď:
NE, tak musejí být činnosti zastaveny. Jestliže je odpověď:
ANO, tak jsou zavedeny opatření pro zmírnění a pokračuje se níže:
3. Je zbytkové riziko akceptovatelné (Residual Safety Risks)? Pokud je odpověď:
ANO, tak musí být zbytková rizika vyhodnocena pro stanovení jejich úrovně snesitelnosti a je možné pokračovat v provozu. [3]

Další oblast, kterou můžeme v matici snesitelnosti bezpečnostního rizika nalézt je Snesitelná oblast čili oblast s přiměřeným rizikem. Pokud riziko po vyhodnocení spadá do této oblasti a stále budí znepokojení (vážnost/možná pravděpodobnost či obojí), je na místě, aby byla zavedena nová zmírňující opatření. Zmírňování by mělo probíhat na úroveň tak nízkou, jak je přiměřeně možné (ALARP). Může totiž dojít k situaci, při níž se již z hlediska příliš vysokých nákladů další zmírňování rizik nevyplatí a riziko je stále ve snesitelné oblasti. V tomto případě může být riziko akceptováno za podmínek, že je riziku porozuměno a je odsouhlaseno odpovědným vedoucím (Accountable Manager). Pokud by se však pokračovalo až za tuto hranici, mohlo by dojít až k bankrotu společnosti. Proto bychom před přijmutím rizika měli provést přezkoumání/analýzu z hlediska nákladů a výnosu (Cost-benefit analysis). [2] [3]

Poslední a zároveň pro společnost nepřívětivější je Přijatelná oblast čili oblast s nízkým rizikem. Následky takového rizika jsou natolik nepravděpodobné či nejsou tak vážné, aby vyvolávaly jakékoliv znepokojení. Riziko je v tomto případě přijato bez toho, aby byla nutná jakákoliv zmírňující opatření, což neznamená že by dalšímu snižování rizika neměla být věnována pozornost. [3]

4.4 Zmírnění bezpečnostního rizika (Safety risk mitigation)

Před tím, než se dostaneme k samotným způsobům/opatřením ke zmírnění bezpečnostního rizika, je nutné si definovat co to zmírnění bezpečnostního rizika je. Je to proces začlenění opatření a/nebo preventivních kontrol ke snížení pravděpodobnosti a vážnosti rizika. Opatření pro zmírnění, občas také nazývána jako obranná opatření jsou již

určité kroky (opatření), které je třeba podniknout pro zmírnění bezpečnostního rizika. Toho dosáhneme tím, že zavedeme preventivní opatření s cílem předejít vytvoření nebo vystupňování nebezpečí do nepřijatelných mezí. Pokud riziko po vyhodnocení spadá do nepřijatelné či snesitelné oblasti (skupiny) je nutné zavést opatření pro zmírnění rizika na úroveň tak nízkou, jak je přiměřeně možné (ALARP). [2] [3]

Poté co provedeme odbornou analýzu rizik a zjistíme v jaké oblasti se riziko nachází, mohou být zavedena zmírňující opatření. Samotná zmírňující opatření mohou obsahovat mnoho alternativ ať už zavedení nových provozních postupů nebo jen jejich úpravu, zavedení dodatečného výcviku atd. [2]

Téměř vždy budou alternativy zahrnovat opatření z těchto tří (čtyř) základních skupin:

1. **Technické** – Do této skupiny patří zmírňující opatření týkající se zavedení nových technických zařízení (dodatečných) nebo modifikovaného zařízení.
2. **Výcvik** – Zmírňujícím opatřením tohoto typu se rozumí zavedení dodatečného výcviku, změny postupů v dosavadního výcviku nebo zavedení nového výcviku, a to pro všechny personál, kterého se to týká. Nevýhodou je že dochází k přenášení zodpovědnosti za bezpečnost na personál.
3. **Standardní provozní postupy (SOP) a pravidla** – Do této skupiny patří zmírňující opatření týkající se zavedení dodatečných provozních postupů, jejich úpravě nebo zavedení nových provozních postupů a pravidel.
4. **Další možnosti** – Sem patří jakákoliv další opatření, kterými je možné odstranit či zmírnit bezpečnostní riziko. Například přezkoumat, zdali je činnost vedoucí k riziku nutná nebo zlepšení dohledu atd. [2] [3]

Před přijmutím určitého zmírňujícího opatření je nutné určit, zda přijmutí nevede k vytvoření nových nebezpečí. [3]

4.4.1 Strategie zmírnění rizika

Při zmírňování rizik se řídíme třemi základními přístupy popsány níže. Strategie může zahrnovat jak jeden přístup, tak i několik. Pro nalezení optimální strategie je nutné zvážit všechna možná opatření. Strategie by se měli zaměřovat hlavně proaktivně a nečekat až se následky skutečně stanou a poté je řešit reaktivně. [2]

Strategie zmírnění rizika se rozděluje na tři přístupy:

1. **Vyvarování (Avoidance)** – Aktivita/provoz jsou pozastaveny nebo úplně zrušeny, a to buď proto, že související bezpečnostní rizika jsou nepřijatelná nebo jsou považována za

nepřijatelná vzhledem k souvisejícímu prospěchu. Míra bezpečnostního rizika je vyšší než prospěch z pokračování v aktivitě/provozu.

2. **Omezení (Reduction)** – Na rozdíl od vyvarování jsou některá rizika akceptována, ale vážnost a pravděpodobnost rizik je snížena omezením aktivit/provozu nebo jinými zmírňujícími opatřeními.
3. **Izolace (Segregation of exposure)** – Je třeba podniknout kroky pro izolaci potenciálních následků rizika souvisejících s nebezpečím nebo pro vytvoření více vrstev obranných opatření, které chrání proti nim. Vytvořením více vrstev je myšleno přijímání dodatečných opatření jako například dodatečné vybavení, postupy atd. [2] [3]

Před tím, než se opatření pro zmírnění bezpečnostního rizika přijme, tak ho musíme přezkoumat hned v několika oblastech (hlediscích). Jedním z hlavních hledisek je **Efektivita** (Effectiveness), která zjišťuje, v jak velkém rozsahu opatření snižují případně eliminují bezpečnostní riziko. Další přezkoumání je z hlediska **Nákladů a výnosů** (Cost/benefit). To zjišťuje, do jaké míry přínosy opatření pro zmírnění převyšují náklady. Náklady by mohly být tak vysoké, že by ohrožovaly existenci společnosti (bankrot). **Praktičnost** (Practicality) zjišťuje, jak je opatření pro zmírnění vhodné z hlediska finančních zdrojů, dostupných technologií, předpisů atd. **Vynutitelnost** (Enforceability) se zaměřuje na to, jak dobře lze sledovat dodržování pravidel nebo provozních předpisů (SOP). **Odolnost** (Durability) se zabývá tím, do jaké míry bude zmírnění rizika udržitelné a jak bude účinné. Důležité je také přezkoumání týkající se **Zbytkových bezpečnostních rizik** (Residual safety risks). Tato rizika přetrvávají i po prvotním zmírnění a sama mohou vyžadovat další opatření pro zmírnění. Při aplikování zmírňujících opatření je třeba si dát pozor na zavedení **Nežádoucích důsledků** (Unintended consequences) čili na zavedení nových nebezpečí a s nimi souvisejících následků (rizik). [2]

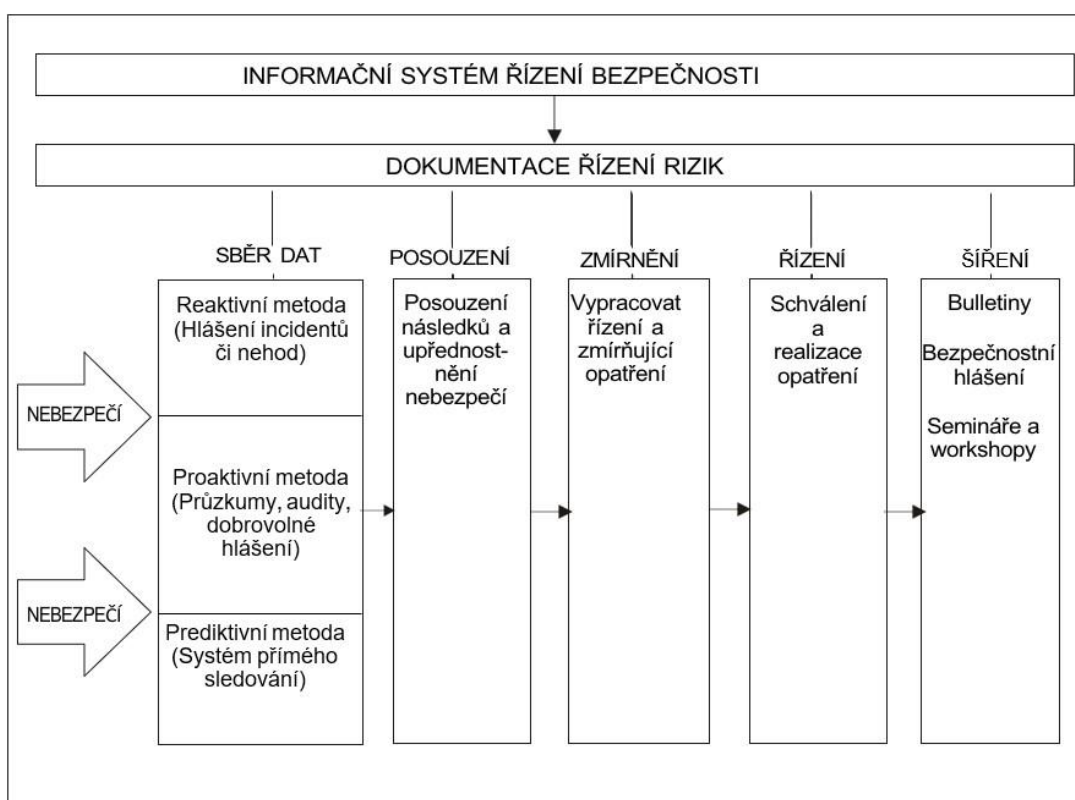
Poté co je opatření pro zmírnění bezpečnostního rizika schváleno a zrealizováno, jakékoliv související dopady na bezpečnost nám poskytují zpětnou vazbu pro zajištění bezpečnosti. Každé zrealizované opatření pro zmírnění rizika musí být zdokumentováno. Toho lze dosáhnout například základními tabulkami nebo softwarem pro snižování rizik. Dokončené dokumenty týkající se zmírnění rizika by měli být řádně schváleny. [2]

4.5 Dokumentace

Dokončený proces identifikace nebezpečí, analýza rizik a jejich zmírnění je třeba zdokumentovat a schválit a je součástí informačního systému managementu bezpečnosti (Safety Management Information System). Dokumentaci můžeme provést například zavedením záznamů o nebezpečí, registru rizik či pomocí speciálního softwaru. Záznamy

(dokumentace) by měly obsahovat všechna identifikovaná nebezpečí, s nimi související rizika, výsledky analýzy rizik, realizovaná opatření (jsou-li třeba) a opětovnou analýzu rizik pro zhodnocení požadovaných bezpečnostních výsledků (výkonnosti). Pokud se objeví nová nebezpečí, stávající analýzy by měli být znovu přezkoumány. Informační systém řízení bezpečnosti je zdrojem bezpečnostních znalostí a může sloužit jako reference při rozhodovacích procesech týkajících se bezpečnosti. Záznamy jsou nedílnou součástí knihovny bezpečnosti (Safety library) společnosti a měly by být pravidelně přezkoumávány. Celkovou dokumentaci nebezpečí a následné řízení bezpečnostních rizik vidíme na tabulce 5. [2] [3]

Tabulka 5: Dokumentace nebezpečí a řízení bezpečnostních rizik [2]



4.6 Řízení bezpečnostního rizika (Safety Risk Management)

Zde bych rád shrnul tuto kapitolu a na tabulkách přestavil kompletní proces, který se při vyhodnocování vyžaduje.

Řízení bezpečnostního rizika, občas také nazýváno Management bezpečnostního rizika je pojem, který v sobě zahrnuje identifikaci nebezpečí, analýzu rizik a provádění zmírnění bezpečnostního rizika. Je to činnost, při které by poskytovatelé služeb měli zajistit, aby bezpečnostní rizika byla řádně kontrolována a bylo tak dosaženo bezpečnostních cílů.

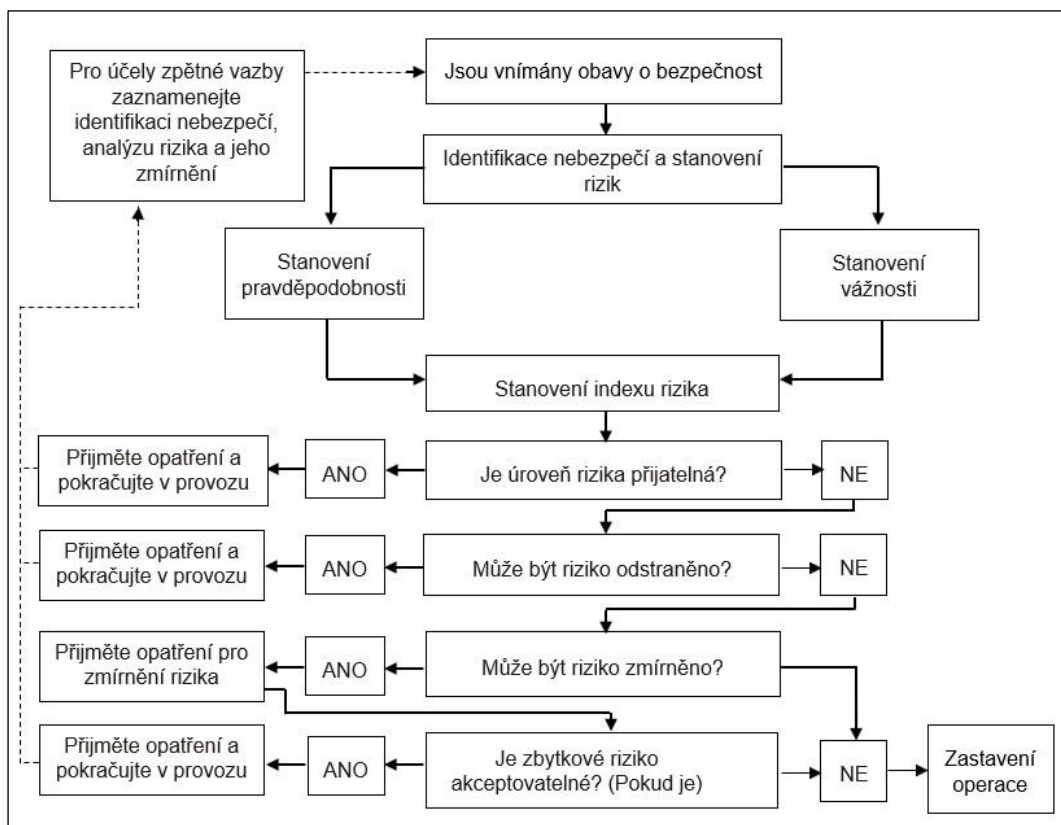
Řízení bezpečnostního rizika je základní součástí managementu bezpečnosti. Zjednodušený model řízení bezpečnostního rizika můžeme vidět na tabulce 6. [2]

Tabulka 6: Zjednodušený model řízení bezpečnostního rizika [2]



Celý proces tedy začíná identifikací nebezpečí, která souvisejí s produkty nebo službami společnosti. Dalším krokem v řízení bezpečnostního rizika je analýza rizik souvisejících s nebezpečím. Vyhodnocujeme bezpečnostní riziko z hlediska pravděpodobnosti (jaká se pravděpodobnost že riziko nastane?) a z hlediska vážnosti (když riziko nastane, jak nepříznivé jeho následky budou?). Vyhodnocená pravděpodobnost se označí čísly 1-5 a vážnost se označí písmeny A-E. Kombinací poté dostaneme alfanumerický znak „index bezpečnostního rizika“. S použitím indexu a matice snesitelnosti bezpečnostního rizika zjistíme snesitelnost bezpečnostního rizika. Podle té zjistíme, zda je riziko nepřijatelné, snesitelné či přijatelné. Poté můžeme přikročit k realizaci opatření (pokud je třeba) za účelem snížení úrovně rizika (tedy pravděpodobnosti a/nebo vážnosti) na hodnotu tak nízkou, jak je přiměřeně možné (ALARP). Zrealizovaná opatření musí být průběžně sledována a před jejich zavedením do procesu přezkoumána (z hlediska výnosů atd.) Tabulka 7 popisuje celý proces řízení bezpečnostních rizik. [2] [3]

Tabulka 7: Proces řízení bezpečnostních rizik [2]



5. Nebezpečí a rizika pro multikoptéry

Jak jsem již zmínil v předchozí kapitole, identifikace nebezpečí je stále pokračujícím a nikdy nekončícím procesem. Ideálně by se měla při identifikaci využívat kombinace reaktivních, proaktivních, prediktivních metod a interních a externích zdrojů informací. [2]

V této kapitole bych rád představil základní příklady nebezpečí a rizik, které se mohou při provozu multikoptér vyskytnout. Je samozřejmostí, že jedno nebezpečí může souviset s několika riziky. Nebezpečí a rizika se nemusí týkat je multikoptéry samotné, ale například i dálkově řídicího pilota (a zúčastněných osob), cizích osob, přírodního prostředí či samotné společnosti, která létání s multikoptéry provozuje. U některých z těchto rizik budu v následující kapitole provádět analýzu pro kvadrokoptéru DJI Phantom 4.

Při psaní této kapitoly budu kromě ostatních zdrojů s dovolením pana Ing. Kellera využívat také jím napsanou provozní příručku UAS. Čerpat budu z části týkající se analýzy rizik a opatření pro jejich zmírnění.

Nebezpečí jsem rozdělil na 6 druhů:

1. Nebezpečí plynoucí z počasí a další přírodní nebezpečí
2. Nebezpečí plynoucí z technických problémů
3. Nebezpečí plynoucí ze vzdušných prostorů a ochranných pásem
4. Nebezpečí plynoucí z lidské psychofyziologie
5. Nebezpečí plynoucí z organizace
6. Nebezpečí plynoucí z jednotlivých druhů provozu

Každý z těchto druhů má samozřejmě svoje vlastní typická nebezpečí a rizika.

5.1 Nebezpečí plynoucí z počasí a další přírodní nebezpečí

Do této kategorie patří nebezpečí, která jsou výsledkem prostředí, ve kterém se provoz odehrává. Počasí má na bezpečný průběh letu velký vliv a je třeba, aby si pilot před každým letem uvědomil, zda je počasí pro let vhodné a postupoval podle provozní příručky. Jen déšť jako nebezpečí může způsobit značné následky. Dále sem samozřejmě patří vliv silného větru, turbulence, vliv změny teplot a nadmořské výšky, různé druhy nebezpečných proudění (za stromy, za budovou, za skupinou překážek), námraza, vliv terénu a překážek a náhlá změna meteorologických podmínek. Patří sem také trochu nevšední nebezpečí spojená s napadením UA dravým ptákem či hejnem ptáků.

Vliv silného větru

Tak jako pro klasická letadla, i pro multikoptéry a další UAS je silný vítr (nad $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) či poryv větru nebezpečný. U bezpilotních letadel o to více, že jsou většinou mnohem lehčí a vítr si s nimi může více „pohrávat“. Je jasné, že čím více výkonu multikoptéra má, tím více je mu schopná vzdorovat, tedy například oktokoptéra bude účinky větru snášet lépe než kvadrokoptéra. [38]

Rizika (následky) – V důsledku silného větru může dojít k ovlivnění výkonů a říditelnosti, což ovlivňuje provádění určené činnosti. V extrémním případě může dojít až k nehodě.

Jako příklad bych mohl uvést leteckou nehodu z 15.6.2017. Při letu v režimu „Attitude mode“ došlo při nacvičování základních prvků k poryvu větru. Ten multikoptéru snesl do stromoví, kde došlo k pádu. Multikoptéra byla při pádu značně poničena, ale ke zranění osob či škodám na cizím majetku nedošlo. [39]

Turbulence

Turbulence vzniká působením větru a vyznačuje se turbulentním prouděním (kolísáním rychlosti větru a rychlými změnami směru). [38]

Rizika (následky) -Turbulence provázející silný vítr multikoptérou prudce pohybuje („pohazuje“) a komplikuje tím průběh činnosti (například fotografování nebo filmování). Stejně jako u vlivu silného větru může v nejhorším případě dojít až k nehodě.

Vliv teplot a nadmořské výšky

Provoz multikoptéry je velmi závislý na teplotě a nadmořské výšce. S rostoucí teplotou a nadmořskou výškou se snižují výkony, jelikož se snižuje hustota vzduchu (měrná hmotnost vzduchu) a s tím i tah, který je vytvářen vrtulemi pohonných jednotek. Teplota má také vliv na hmotnost maximálního užitečného zatížení. Čím vyšší teplota tím nižší je hmotnost maximálního užitečného zatížení. Při nízkých teplotách naopak dochází ke snižování kapacity baterie, proto by měla být výrobcem stanovena minimální teplota, při které je možné multikoptéru provozovat. [38]

Rizika (následky) - Při letech ve vysokých teplotách hrozí přehřátí baterií a regulátorů. Pokud dojde k přehřátí, tepelná pojistka odpojí regulátor a UAS havaruje. [38]

Naopak při velmi nízkých teplotách se objevují problémy s kapacitou akumulátoru, které by mohli vést nutnosti předčasně přistát a v extrémním případě by mohli vést k havárii.

Při letech v oblastech s vysokou nadmořskou výškou by mohlo dojít ke zhoršení říditelnosti v důsledku snížení výkonů.

Déšť

Multikoptéry obsahují mnoho elektronických součástí. Díky tomu jsou samozřejmě náchylné na možné poškození při vniknutí vody.

Rizika (následky) – Při letu v dešti by mohlo dojít ke vniknutí vody do vnitřní konstrukce multikoptéry a posléze ke zkratu na některé z elektrických součástí. Zkrat by mohl způsobit poškození některého systému, v extrémním případě nehodu multikoptéry.

Nebezpečná proudění v blízkosti překážek

Existuje více druhů proudění, které by mohly negativně ovlivnit provoz multikoptéry. Patří mezi ně proudění za budovou, za skupinou překážek a za stromovým porostem. Proudění se samozřejmě mohou objevit vlivem okolního terénu. Všechna tato proudění se vyskytují i u provozu klasických letadel, ale kvůli své nízké hmotnosti je ještě nebezpečnější.

V blízkosti budov (např. obytné domy, hangáry, sklady), za hranou návětrné strany střechy, vzniká nebezpečné vírové proudění. Toto proudění může sahát do výšky 1,5 až 2 násobku výšky budovy. Létáme-li tedy poblíž budovy vysoké 20 m, turbulentní proudění může dosáhnout výšky 30 až 40m. [38]

Proudění za skupinou překážek je velmi těžké či téměř nemožné odhadnout, jelikož jde o kombinaci („součet“) vlivů vícero překážek a je závislé na mnoha faktorech. Mezi hlavní faktory patří směr a rychlost větru a samozřejmě také velikost a tvar překážky. V zásadě lze ale očekávat, že se před překážkami objeví stoupavé proudění a za nimi klesavé turbulentní proudění. Zároveň může za překážkami docházet ke změnám směru proudění, jelikož jsou překážky obtékány bočně. [38]

Velmi nebezpečné je také proudění za řadou stromů, u kterého se na návětrné straně vytváří vzestupné zesilující proudění a na závětrné straně dochází k proudění sestupnému s výrazným snížením rychlosti. U země se poté přetáčí do opačného směru a vytvoří vírové proudění, jehož součástí je i silná turbulence. Sestupné proudění může dosáhnout až do vzdálenosti desetinásobku výšky stromů. Při výšce stromů 12 m existuje až do vzdálenosti 120 m za stromy. [38]

Rizika (následky) – Při vlétnutí do nebezpečného proudění velmi záleží na jeho intenzitě. Při menší intenzitě dojde k negativnímu ovlivnění ovladatelnosti multikoptéry. Při větší intenzitě by mohlo dojít až ke ztrátě kontroly a pádu.

Námraza

I když se nejedná o typické nebezpečí, co se provozu multikoptér a dalších UAS týče, je důležité s jeho možností počítat. U multikoptér se námraza tvoří zejména na listech vrtulí,

čímž se naruší jejich aerodynamické tvary. To vede ke zvyšování odporu listů vrtule a snižování vzlaku multikoptéry. Příčinou námrazy jsou přechlazené vodní kapky, které dopadají na povrch multikoptéry a při kontaktu zmrznou. Tvorba námrazy způsobuje zhoršení výkonů a ovladatelnosti. [38]

Rizika (následky) – Při vlétnutí do oblačnosti (ke kterému by nemělo z legislativního hlediska nikdy dojít) může dojít k tvorbě námrazy. Pokud pilot s multikoptérou z oblasti námrazy nevlétne, dojde k významnému zhoršení výkonů. Pokud by došlo k námraze nepravidelně (na některých listech větší vrstva), dojde k velkému zhoršení ovladatelnosti. Námraza je pro multikoptéru velmi nebezpečná a v extrémním případě může dojít až k nehodě.

Náhlá změna meteorologických podmínek

V průběhu letu může dojít k náhlé změně meteorologických podmínek, které mohou multikoptéru ohrozit. Z tohoto důvodu by si měl pilot vždy před letem pozorně prostudovat aktuální meteorologické informace v oblasti. [38]

Rizika (následky) – Během letu může dojít k změně meteorologických podmínek, zejména pak těch, které jsem vypsál výše. Ty mohou způsobit zhoršení výkonů a/nebo ovladatelnosti a v nejhorším případě nehodu.

Létání v oblastech s výskytem dravých ptáků či hejny ptáků

Je možné se že provoz multikoptéry bude probíhat v oblastech s výskytem dravých ptáků či hejn ptáků. Draví ptáci si mohou multikoptéru splést se svou kořistí a napadnout ji. [38]

Rizika (následky) - Mohlo by dojít k poškození multikoptéry, zejména motorů a listů vrtule. Po napadení dravcem často dochází k pádu multikoptéry.

V případě že multikoptéra létá v prostoru, kde se vyskytují velká hejna ptáků (špačci, holubi atd.) existuje riziko vlétnutí do tohoto hejna. Při vlétnutí do hejna může dojít k poškození multikoptéry a v nejhorším případě i pád. V obou případech může dojít ke zranění ptactva.

Oslnění Sluncem

Při slunečných dnech je třeba si dát pozor na oslnění Sluncem, které může vést ke katastrofickým následkům. Pokud je to možné pilot by s multikoptérou neměl létat přímo proti Slunci, tedy tak aby multikoptéra nebyla mezi Sluncem a pilotem. [38]

Rizika (následky) – Pokud pilot letí proti Slunci, může dojít k oslnění pilota, který posléze multikoptéru ztratí z odhledu. Pokud pilot včas neobnoví oční kontakt s multikoptérou, může dojít ke střetu s překážkou a způsobit materiální škodu či újmu na zdraví. Moderní multikoptéry vybavené GPS systémem jsou schopny velmi dobře viset na určitém místě,

pokud tedy pilot při oslnění sluncem zůstane viset na místě, pravděpodobnost srážky je menší.

5.2 Nebezpečí plynoucí z technických problémů

V průběhu letu či na zemi může dojít k určitým technickým problémům, která mohou mít vážné následky. Těchto nebezpečí může být nespočet, takže zde uvedu základní příklady. Ztráta signálu je jeden z nejčastějších technických problémů, ale také bychom se mohli zařadit například vysazení motoru, jehož následky závisí na konstrukci multikoptéry. Dále také třeba chyba GPS modulu či závada řídicí jednotky. Snížit jejich pravděpodobnost pomáhá dobrá údržba UAS. Tak jako u většiny nebezpečí, i tato mohou vyústit k materiálním škodám či újmě na zdraví.

Ztráta řídicího a datového spoje

Ke ztrátě řídicího a datového spoje může dojít z důvodu technického problému, provozu UAS mimo dosah dálkového ovladače (vysílače) nebo zalétnutí za překážku, kde dojde ke ztrátě signálu. Ztráta signálu však u moderních multikoptér automaticky neznamena nehodu. Jsou totiž vybaveny letovými režimy Fail Safe, které dokáží incidentu či nehodě včas zabránit a ve většině případů (při využití RTH) se i bezpečně vrátit na místo vzletu.

Rizika (následky) - Pokud multikoptéra není letovými režimy Fail Safe vybavena, zvyšuje se pravděpodobnost, že k incidentu či nehodě dojde. Při ztrátě signálu přestane být multikoptéra ovladatelná a může dojít ke střetu s blízkou překážkou a pádu.

Jako příklad skutečné události lze uvést leteckou nehodu z 31.1.2018. Tehdy pilot při testovacím letu ztratil nad UAS kontrolu vlivem ztráty signálu a narazil do blízké skalky. Poté se UAS zřítilo do vody. Během letecké nehody došlo k vážnému poškození UAS. [40]

Vysazení motoru

Na průběhu tohoto nebezpečí velmi závisí na konstrukcím uspořádání multikoptéry. Jak jsem již zmiňoval, u trikoptér a kvadrokoptér je vysazení jednoho z motorů fatální. U hexakoptéry není vysazení jednoho motoru žádný problém a bezpečně se dokáže vrátit zpět. Oktokoptéra dokáže letět při výpadku až tří motorům kde však záleží na tom jaké motory vysadily a jaká je hmotnost nákladu. [28]

Rizika (následky) – Během vysazení motoru/motorů multikoptéry může dojít ke ztrátě ovladatelnosti a posléze k pádu. Riziko pádu je samozřejmě u hexakoptéry a oktokoptéry mnohem nižší. Pokud u těchto dvou typů konstrukce dojde k vysazení jednoho motoru (mu oktokoptéry až tří), mohou nastat potíže multikoptéru ovládat.

Ztráta GPS signálu

Mnoho inteligentních režimů využívá během letu navigaci pomocí systému GPS a některé jsou na nich plně závislé (u multikoptér DJI Waypoints, TapFly, Draw atd.). Multikoptéry také GPS využívají k automatické stabilizaci, takže ztráta signálu GPS by mohla být nebezpečná. Podobně jako při ztrátě signálu z vysílače, i zde se u moderních multikoptér využívají režimy Fail Safe. Ke ztrátě signálu může dojít vlivem technických potíží, pohyb mimo oblast pokrytou signálem GPS (překážky, budovy atd.) nebo při zvýšené sluneční aktivitě. [32]

Rizika (následky) – Pokud multikoptéra není letovými režimy Fail Safe vybavena, může dojít z důvodu absence přesné stabilizace k vychýlení z momentální polohy a ke střetu s překážkou. Také by multikoptéra při chybě GPS modulu mohla pokračovat nesprávnou trasou a například narušit vzdušný prostor, v nejhorším případě způsobit nehodu.

Závada řídicí jednotky

Závada řídicí jednotky je jedno z dalších technických nebezpečí, se kterým se lze v provozu setkat. Řídicí jednotka zajišťuje pomocí regulace otáček motorů požadovaný směr pohybu multikoptéry stabilizuje její horizontální polohu. Bez řídicí jednotky není provoz multikoptéry možný a její závada může vést k velmi nebezpečným situacím.

Rizika (následky) – Při závadě řídicí jednotky dojde k celkovému zmatení multikoptéry a ke ztrátě kontroly. Při této závadě padá multikoptéra k zemi čímž způsobí poškození multikoptéry, ale může dojít i ke škodám na cizím majetku či k ohrožení na zdraví.

5.3 Nebezpečí plynoucí ze vzdušných prostorů a ochranných pásem

Možné vlétnutí UAS (multikoptéry) do vzdušného prostoru je momentálně velmi probíraným tématem, jelikož představuje nebezpečí jak pro multikoptéru, tak zejména pro ostatní provoz, který by se ve vzdušném prostoru mohl vyskytovat. Každý pilot by si měl před letem důkladně prostudovat, zda se v oblasti provozu nevyskytuje vzdušný prostor, do kterého je zakázané vlétnout. Případně si může zažádat o povolení k provozu. V okolí se také samozřejmě mohou vyskytovat ochranná pásma jako jsou například ochranné parky. [38]

Výskyt ochranných pásem

Provoz multikoptéry v ochranných pásmech může nebezpečný a v některých případech i zakázaný (pokud není povolen). K ochranným pásmům patří vodní zdroje, pozemní liniové stavby (dopravní stavby, inženýrské sítě), národní parky a vodohospodářská zařízení. Nově

také existují ochranné prostory nad několika ochrannými parky v České republice, ve kterých provoz možný pouze po povolení ÚCL a po dohodě s vedením národního parku. [38]

Rizika (následky) – Při provozu multikoptéry nad ochrannými pásmy by mohlo při případném pádu dojít ke znečištění/poničení přírodních objektů (lesy, vodní zdroje atd.) a staveb.

Výskyt zakázaných, omezených, dočasně rezervovaných, dočasně vyhrazených, nebezpečných prostorů v místě plánovaného letu UAS

Provoz v těchto prostorech je možný pouze po získání potřebného povolení od příslušných úřadů. V nebezpečných prostorech dochází, jak je již z názvu jasné, k nebezpečným aktivitám (vypouštění plynu atd.), v zakázaných prostorech jsou umístěny stavby jejichž činnost by mohla být narušením prostoru omezena (jaderné elektrárny, vysílače). Ostatní zmíněné prostory slouží k ochraně letadel a mohou se v nich tedy letadla nacházet. [38]

Rizika (následky) – Při létání v těchto prostorech existuje zvýšené riziko, jelikož by mohlo dojít ke sblížení a srážce multikoptéry se stavbou či dokonce s pilotovaným letadlem, vletnutí do oblaku vypouštěného plynu atd. Pokud by se multikoptéra srazila s překážkou, mohlo by to vést k vysokým materiálním škodám a v nejhorším případě újmě na zdraví či ohrožení života. Toto jsou nouzové situace, které nesnesou odklad a vedou tedy k záchranným a pátracím akcím.

Výskyt ATZ, TMA, CTR, MTMA, MCTR v místě plánovaného letu UAS

Provoz v těchto prostorech je z důvodu možného provozu letadel stejně jako v předchozím případě nebezpečný a je možný pouze po získání potřebného povolení od příslušných úřadů. Pro let v ATZ letiště je nutný souhlas provozovatele letiště a koordinace s letištní službou AFIS/RADIO. [38]

Rizika (následky) – Rizika tohoto nebezpečí jsou prakticky totožná s těmi u předchozího nebezpečí.

Jako příklad bych uvedl incident z 29.3.2018, který se odehrál poblíž bodu ERASU. Kapitán letadla Boeing 737 zde ohlásil přítomnost čtyřmotorového UAS na zhruba stejné výšce (4000ft). [40]

Výskyt jiného provozu (UAS/s pilotem)

Toto nebezpečí bychom mohli rozdělit na dvě části dle vertikálního rozložení vzdušného prostoru:

- **< 150m (500ft) AGL** – V této části vzdušného prostoru se objevují zejména UAS, dále však také provoz provádějící letecké práce, akrobatické lety, letecký výcvik

(návčik nouzových přistání, bezpečnostního přistání, přezkušovací lety), letecké záchranné služby, letecké služby Policie ČR atd. [38]

Rizika (následky) – V této části vzdušného prostoru je zvýšené nebezpečí výskytu provozu UAS. Mohlo by zde dojít k srážce dvou bezpilotních systémů, poškození některého systému či prvku řízení a v nejhorším případě by došlo k jejich pádu.

Dále by mohlo dojít ke srážce s pilotovaným letadlem, ale to není tak pravděpodobné, jelikož se v tomto prostoru primárně nevyskytují.

- **> 150m (500ft) AGL** – V této části vzdušeného prostoru se vyskytuje zejména provoz s pilotem na palubě. Tato hranice (500ft) je minimální povolená výška pro lety VFR. Jelikož je UAS relativně malé, nepředpokládá se, že ho bude pilot letícího letadla schopen rozpoznat. [38]

Rizika (následky) – Rizika jsou zde obdobná jako v předchozím případě, jen je zde naopak zvýšené nebezpečí výskytu provozu s pilotem na palubě.

5.4 Nebezpečí plynoucí z lidské psychofyziologie

Nebezpečné situace se nemusí týkat jen bezpilotního systému jako takového, mohou se týkat i dálkově řídicího pilota (posádky). Psychofyziologická nebezpečí negativně ovlivňují pilota, zejména jeho výkon. I v provozu bezpilotních systémů je třeba počítat s tzv. lidským činitelem. Mezi příklady nebezpečí plynoucí z lidské fyziologie patří například únava, návykové látky, dehydratace, podchlazení nebo hypoglykémie. [41]

Únava

Provoz multikoptéry může být v mnoha případech časově náročné což může vést k únavě. Další možností samozřejmě je nedostatečná doba spánku či odpočinku. Únava má velký vliv na reflexy, tedy jak rychle člověk dokáže zareagovat na určité změny v prostředí. Dále má vliv na proces rozhodování.

Rizika (následky) – Pokud je pilot unavený, mohlo by z důvodu pomalých reflexů dojít ke srážce s překážkou a pádu multikoptéry. Mohlo by dojít jak k materiálním škodám, tak k újmě na zdraví.

Dlouhodobý pobyt na přímém slunci či v chladu

Během letních měsíců je pobyt na přímém slunci velmi častý, a proto je třeba na něj brát velký zřetel. Může dojít například k úpalu (přehřátí organismu), které je způsobeno právě dlouhodobým pobytem na slunci a/nebo nedostatečným příjmem tekutin. S nedostatečným příjmem tekutin také souvisí dehydratace, jež by se také mohla při delším pobytu na slunci

objevit. Velmi známý je také úžeh, který je na rozdíl od úpalu přehřátí mozku. Stejně jako úpal je i úžeh způsoben pobytem na slunci a dá se mu zabránit nošením pokrývky hlavy. [38] [42]

Zároveň také při dlouhodobém pobytu pilota (posádky) UAS v oblastech s mrazivými teplotami hrozí určitá rizika. Vhodný oděv by měl být zvolen podle momentální situace.

Rizika (následky) – Dlouhodobý pobyt na slunci by mohl způsobit nevolnost, zvracení bolest hlavy a zrychlený tep atd. U „slabých“ jedinců by mohla v extrémním případě nastat i smrt. Dlouhodobý pobyt pilota v oblastech s mrazivými teplotami by mohl způsobit prochlazení či omrzliny. [42]

Všechna tato rizika mají vliv na výkon pilota a při projevu by mohlo dojít k nehodě multikoptéry (UAS).

Hypoglykémie

Hypoglykémie je termín známý především u lidí léčených s diabetem. Může však nastat i zdravého člověka, zejména při nízkém příjmu potravy či nesprávné životosprávě. Hypoglykémie může způsobit akutní zdravotní komplikace. Pilot by se měl snažit dodržovat vyvážený příjem potravy. [38]

Rizika (následky) – Akutní zdravotní komplikace spojené s hypoglykemií mohou způsobit neschopnost řídit multikoptéru (UAS) a posléze způsobit nehodu.

Alkohol a návykové látky

Alkohol a návykové látky jsou samozřejmě velmi nebezpečné a mají neblahý vliv na výkony pilota. Komerčně provozovat UAS pod vlivem těchto látek je zakázáno. V případě zjištění, že je pilot pod jejich vlivem mu může být odebrán průkaz a zakázána činnost.

Rizika (následky) – Alkohol a návykové látky mají velmi špatný vliv na pilotovi výkony, tedy může vést ke nezvládnutí řízení, špatnému rozhodování, pomalým reakcím atd. To může vést až k nehodě a způsobit materiální škody či újmu na zdraví. Pro společnost samotnou to může být špatná reklama a pokud má společnost málo zaměstnaných pilotů tak i ekonomický problém.

5.5 Nebezpečí plynoucí z organizace

Do této podkapitoly patří nebezpečí spojená s organizační strukturou společnosti a s organizací činností. Patří sem tedy například nesprávné postupy či zastaralé příručky,

nedostatečný výcvik, nedostatečné poučení osob (špatná komunikace), provedení vzletu/přistání bez udělení souhlasu majitele pozemku a další.

Nesprávné postupy (SOP)/zastaralé příručky

Celý provoz multikoptér (UAS) na komerční úrovni je založen na postupování podle určitých příruček a standardních postupů (SOP). Tyto příručky musí být samozřejmě kontrolovány a v případě, že jsou zastaralé, tak aktualizovány.

Rizika (následky) – V případě že postupujeme podle zastaralé příručky nebo nesprávných postupů může dojít ke špatnému fungování multikoptéry, jejímu poškození a pokud se k situaci dojde za letu, tak může dojít k nehodě. Samozřejmě může dojít k materiální škodám či újmě na zdraví.

Nedostatečný výcvik

Výcvik je velmi důležitý, jelikož se při něm pilot naučí praktické ovládání multikoptéry (UAS) a přesné postupy potřebné pro její provoz, a to jak normální postupy, tak nouzové. Čím důkladnější výcvik je, tím spíše nedojde k žádnému incidentu či nehodě.

Rizika (následky) – Z důvodu nedostatečného výcviku může dojít k mnoha nepříjemným následkům, ale v zásadě jsou velmi podobné těm u předchozího nebezpečí, jelikož spolu tyto dvě souvisí. Může například dojít ke špatnému ovládání multikoptéry a následnému pádu jejímu nebo k jejímu poškození špatným zacházením. Dále třeba vlétnutí do vzdušného prostoru s výskytem pilotovaných letadel, kde může dojít k jejich sblížení a v nejhorším případě nehodě.

Špatná komunikace

Do těchto nebezpečí můžeme zařadit ta, která souvisejí s problémy v komunikaci, tedy například nedostatečné poučení osob, nedostatečné zajištění prostoru atd.

Komunikace mezi lidmi, kteří se provozu UAS účastní je velmi důležitá a poučení zúčastněných lidí by měla být samozřejmost. Měla by být vytvořena dokumentace popisující činnosti osob zúčastněným na provozu UAS (pomocný personál, studenti a další). Všechny tyto osoby by měli být během předletového školení s touto dokumentací prokazatelně seznámeni. [38]

Při nedostatečném zajištění prostoru stanoviště pilota UAS může dojít k narušení stanoviště pilota UAS nezúčastněnými osobami nebo zvěří. Zúčastněné a poučené osoby by měli takovými lidem či zvěří zabránit v narušení. [38]

Rizika (následky) – Pokud nejsou zúčastněné osoby dostatečně poučeny může dojít například k jejich zranění multikoptérou (UAS) a to zejména v případě kdy se nepohybují v bezpečném prostoru. Špatnou komunikací může také dojít k nehodě multikoptéry či jejímu poškození. Pokud by prostor stanoviště pilota narušila zvěř či nezúčastněné osoby, mohlo by dojít k rušení pozornosti pilota a k poškození či zničení multikoptéry.

Provedení vzletu / přistání bez udělení souhlasu majitele pozemku

Toto nebezpečí by se dalo rovněž zahrnout do předchozího „Špatná komunikace“, ale je velmi důležité a měl by se na něj brát velký ohled. Vzlety a přistání mohou být prováděny pouze z ploch, jejichž majitel/majitelka s danými činnostmi UAS souhlasí. Před provozem je tedy nutné vždy získat souhlas jejího majitele, nejlépe samozřejmě písemný. [38]

Rizika (následky) – Mezi hlavní rizika tohoto nebezpečí patří vyhoštění z pozemku či podání žaloby majitelem pozemku na společnost provozující UAS. To by mohlo vést k pokutě nebo až odebrání licence komerčního využití UAS.

5.6 Nebezpečí plynoucí z jednotlivých druhů provozu

Během provozu multikoptéry mohou nastat rizika výše vypsaná, ale i rizika, která jsou specifická pro různé druhy provozu, která jsou s multikoptérou vykonávána. Patří sem například snímkování realit či krajiny, kontrola produktovodů, filmování, činnost v HOP, monitorování, pátrání a záchrana, zjišťování znečištění ovzduší a další.

Každý provozovatel by měl mít v příručce popsán provoz, který bude s multikoptérou vykonávat o čemž jsem se již na začátku této kapitoly zmiňoval. Je důležité, aby se při tvorbě provozní příručky brala v potaz i rizika, která se mohou vyskytnout jen u jednoho určitého druhu provozu.

Mezi příklady patří let s multikoptérou v blízkosti pevných překážek, létání v HOP bez povolení, provoz v blízkosti konstrukcí vyzařujících elektromagnetické záření, létání v oblasti liniových staveb a narušení jejich ochranných prostorů nebo například provoz v blízkosti produktovodů. [38]

Létání v blízkosti pevných překážek

Během některých činností jako jsou například filmování, monitorování, snímkování realit je létání v blízkosti pevných překážek (porost, budovy atd.) běžné, a proto je třeba na toto nebezpečí brát velký zřetel. Během letu by měla být od překážky udržována dostatečná vzdálenost. Pokud provádíme let v blízkosti budov, jejichž majitelé s provozem UAS nesouhlasí, je třeba udržovat alespoň dvojnásobnou horizontální vzdálenost, než je aktuální

výška letu AGL. Pokud majitelé budovy s provozem souhlasí, je třeba zajistit, aby se za okny nacházející v oblasti možného dopadu multikoptéry pohybovali pouze zúčastněné osoby. [38]

Rizika (následky) – Pokud by při letu multikoptéry v blízkosti pevných překážek došlo chybě v řízení či ztrátě ovladatelnosti, mohli by dojít ke srážce a jejímu pádu. Pokud by došlo k nárazu do budovy, může dojít k materiálním škodám a v nejhorším případě i k ohrožení zdraví, a to jak osob zúčastněných, tak nezúčastněných.

Létání v HOP s/bez povolení

S příslušným povolením je možné provádět lety HOP čehož se využívá při nejrůznějších činnostech (filmování festivalů, snímkování a další). Pátrací a záchranné akce se provádí v nouzových situacích, které nesnesou odklad (újma na zdraví, ohrožení života, vysoké materiální škody) a provádí se bez příslušných povolení, což s sebou samozřejmě nese větší rizika. [38]

Rizika (následky) – Létání v HOP s sebou vždy nese velká rizika. Pokud by během letu nastaly technické potíže a multikoptéra by se zřítila k zemi, mohlo by dojít k ohrožení zdraví či přímo života. Pokud by se multikoptéra střetla s cizím objektem (stavby, stromové atd), může dojít jak k jejímu poškození, tak materiálním škodám na objektu.

Výskyt nezúčastněných osob a majetku těchto osob

Mnohdy je činnost jako například filmování či monitorování doprovázeno výskytem nezúčastněných osob a majetku těchto osob. Pokud je to možné, je vhodné vyhnout se letu přes nezúčastněné osoby a jejich majetek. Pokud je třeba záběry nezúčastněných osob a jejich majetku pro svou činnost zveřejnit, je třeba získat jejich souhlas. [38]

Rizika (následky) - Pokud bychom záběry nezúčastněné osoby a jejího pozemku bez jeho/jejího povolení zveřejnily, došlo by porušení ochrany osobních údajů a osoba by mohla na společnost podat žalobu. Mohlo by také dojít k ústnímu či fyzickému napadení posádky UAS mentálně labilním člověkem, jelikož mnoho lidí je přesvědčeno (většinou mylně) že jsou multikoptérou sledováni. Samotný přelet přes pozemek však zakázaný není. Provoz v místech s možným výskytem nezúčastněných osob je samozřejmě spojen s rizikem ohrožení těchto osob. [38]

Létání v blízkosti konstrukcí vyzařujících elektromagnetické záření

V praxi může k tomuto nebezpečí zejména při provádění inspekcí stožárů vysokého napětí nebo při letu v jejich blízkosti. Dále také k těmto jevům dochází při létání v blízkosti

elektrických transformátorů, zejména těch využívaných v energetice. Pokud není let kolem těchto zařízení nutný, není důvod v jejich blízkosti létat.

Elektromagnetické záření může způsobovat velmi zásadní problémy, jako například rušení GPS signálu, rušení kontrolního a řídicího datového spoje mezi dálkovým ovladačem (vysílačem) a multikoptérou nebo i k rušení inerciální jednotky multikoptéry. [38]

Rizika (následky) – Při rušení GPS signálu by mohlo dojít k potížím se stabilizací polohy či letu špatným směrem. Jestliže není GPS signál obnoven, může dojít k letecké nehodě. Pokud dojde k rušení datového spoje mezi dálkovým vysílačem a multikoptérou, je možné ztratit nad multikoptérou kontrolu, což může vést ke srážce a pádu. Při rušení inerciální jednotky multikoptéry dochází k problémům s její stabilizací a později až pádu. Všechna tato rizika s sebou samozřejmě nesou možnost materiálních škod jak na multikoptéře, tak objektu, do kterého narazí/spadne. V nejhorším případě může dojít až ke střetu s člověkem a ublížení na zdraví.

Létání v blízkosti liniových staveb

K létání v blízkosti liniových staveb (stavba, u které převažuje jeden rozměr – délka, šířka či výška), jako jsou například tunely, dráhy, elektrické vedení, produktovody, dochází při monitorování dopravy, inspekci inženýrských sítí a dalších činnostech. Při normálním letu také může dojít k narušení jejich ochranných prostorů. [38]

Rizika (následky) – Pokud by při činnostech, kde je třeba létat v blízkosti liniových staveb došlo k pádu/nárazu multikoptéry na stavbu, mohlo by dojít k jejímu poškození a zneschopnění či omezení její funkce. V případě elektrického vedení například dočasnému přerušení dodávky elektrického proudu. K poškození liniové stavby a multikoptéry by také mohlo dojít v případě, že by byla naprogramována tak aby v případě ztráty signálu ihned na místě přistála.

6. Analýza rizik při provozu kvadrokoptéry DJI Phantom 4

Předtím, než se dostaneme k samotné analýze by bylo vhodné uvést základní informace o kvadrokoptéře DJI Phantom 4.

6.1 Popis kvadrokoptéry DJI Phantom 4

Čínská firma DJI se primárně zabývá prodejem multikoptér, ale v její nabídce se nachází i další výrobky jako například speciální kamery či gimbaly pro sportovní kamery a chytré telefony. Vyráběné multikoptéry jsou určeny zejména pro filmování a fotografování, ale nabízí i typy vhodné pro mapování, monitorování, zemědělství, hledání osob atd. [43]

Phantom 4 (obrázek 15) je nejnovější model řady Phantom, který má v sobě již zabudovaný tříosý gimbal s kamerou. Využívá velice inovativní systémy, čemuž také odpovídá její cena. Celá kvadrokoptéra váží s baterií a vrtulemi necelých 1400 g. Kamera, kterou Phantom 4 využívá má rozlišení 12Mpx, což odpovídá velikostem fotografií 4000x3000 pixelů. Video dokáže pořizovat až s rozlišením 4K (4096x2160), ale jsou na výběr i další rozlišení. Maximální provozní dostup kvadrokoptéry je 6000 m AMSL, ale je samozřejmě nutné dodržovat veškerá legislativní ustanovení platná pro oblast, ve které provádíme let. Dosah signálu vysílače se může lišit v závislosti na tom, v jakém státě se let odehrává. V USA může být dosah signálu až 5 km na rozdíl od států Evropské unie, kde je dosah z důvodu snížení vysílacího výkonu přibližně 3,5 km. I tady je však třeba brát v potaz legislativní ustanovení. Dálkový ovladač pracuje na frekvenci 2,4 GHz a přímo na něm je zabudovaný držák na telefon či tablet, na kterém se přes aplikaci zobrazuje živé vysílání z kamery kvadrokoptéry a další důležité informace pro let. Přes aplikaci je také možné nastavovat určité parametry kvadrokoptéry či obsluhovat inteligentní letové režimy. Maximální doba letu je přibližně 28 minut, ale je závislá na mnoha aspektech jako je styl letu, venkovní teplota atd. Největší rychlost, které je DJI Phantom 4 schopen dosáhnout je 72 km/h, a to ve Sport modu. Samozřejmostí je GPS/GLONASS modul, který kvadrokoptéra využívá při letu v Positioning modu a u inteligentních letových režimů, které jsem již popisoval. Velmi užitečný je také systém detekce překážek, které umožňují zabránit srážce s překážkou tím, že ji obletí, přeletí nebo přejde do visení. Systém vizuálního stanovení polohy využívající ultrazvukových vln a obrazových dat pomáhá udržovat kvadrokoptéru v její stávající poloze a přesněji létat v prostorech, kde není k dispozici signál GPS. DJI Phantom 4 pro detekci překážek a vizuálního stanovení polohy využívá dva ultrazvukové senzory na spodní části kvadrokoptéry a čtyři optické snímače (dva na přední části a dva na spodní části). Inteligentní baterie používaná pro pohon 4 elektrických motorů je složena ze čtyř do série zapojených Li-Pol článků, má kapacitu 5350 mAh a dohromady články dodávají 15,2 V. Důležité je také vědět,

v jakém teplotním rozmezí se může multikoptéra provozovat, u DJI Phantom 4 je to 0 °C až 40 °C. [32] [43]

Momentálně jsou v prodeji dvě verze této kvadroptéry, a to DJI Phantom 4 Advanced a dražší, ale zároveň „inteligentnější“ DJI Phantom 4 PRO V2.0. Ty se od základní verze Phantom 4 liší zejména výkonnější kamerou, akumulátorem s kapacitou 5870 mAh, a tedy i zvýšenou maximální dobou letu na 30 min. Phantom 4 Pro V2.0 využívá pro přenos signálu nejenom frekvenci 2,4 GHz, ale také 5,8GHz, která zajišťuje zejména kvalitnější živý obraz z kamery kvadroptéry. Ve státech Evropské unie se dosah dálkového ovládání změnil pouze u tohoto druhého modelu, a to na 4 km (s využitím frekvence 2,4 GHz). Oproti původní verzi je tento model navíc vybaven dvěma optickými snímači na zadní části a dvěma infračervenými senzory na bocích (na každé straně jeden). Tato verze je tedy schopna detekovat překážky v pěti různých směrech a ve čtyřech směrech je schopna se jim vyhnout. Další výhodou této verze jsou speciální vrtule, které snižují hluk až o 60 %. [43] [44]



Obrázek 15: Kvadroptéra DJI Phantom 4 [43]

6.2 Analýza rizik při provozu kvadroptéry DJI Phantom 4

Analýza rizik by měla probíhat s přihlédnutím k určitému typu multikoptéry (UAS), jelikož různé typy se liší konstrukcí, systémy a vybavením. S tím souvisejí různé následky (rizika) a jejich různé hodnoty pravděpodobnosti a vážnosti bezpečnostního rizika. Konečné vyhodnocení analýzy tedy může být pro dva typy multikoptér rozdílné. Samozřejmě že nebezpečí a rizika (následky) týkající se psychofyziologie dálkově řídicího pilota (posádky) a organizace bude víceméně stejná u většiny typů multikoptér (UAS).

V této podkapitole bych rád představil, jak by analýza rizik měla probíhat ve vyspělé společnosti zabývající se provozem bezpilotních systémů. Takováto společnost by měla mít zaměstnance, jehož/jejichž hlavní pracovní náplní je udržovat bezpečnost ve své společnosti na určité úrovni.

Pro příklad správného vypracování analýzy rizik při provozu kvadrokoptéry DJI Phantom 4 jsem si vybral několik nebezpečí a rizik z minulé kapitoly týkající se obecných nebezpečí a rizik pro multikoptéry.

Vyhodnocení číslo 1

Nebezpečí: Létání v blízkosti pevných překážek

Riziko (následek): Střet s překážkou při letu s přední částí vpřed

Jako první jsem si vybral toto nebezpečí a riziko (následek), jelikož se dá na analýze bezpečnostního rizika velmi dobře ukázat, jak moc záleží, zda je bezpečnostní riziko vyhodnocováno pro určitou multikoptéru či pro multikoptéry obecně.

Analýza bezpečnostního rizika

A) Stanovení pravděpodobnosti bezpečnostního rizika

Kvadrokoptéra DJI Phantom 4 je vybavena dvěma optickými snímači, které dokáží detekovat překážku a zabránit srážce. Tento způsob ochrany před nárazem velmi účinný, ale je dostupný pouze při letu v Positioning módu (GPS módu). Ve Attitude módu a Sport módu je možnost detekovat překážku deaktivována. Po uvážení stanovuji možnou pravděpodobnost bezpečnostního rizika na nepravděpodobnou (2).

Tabulka 8: Stanovení pravděpodobnosti bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 1)
Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]

Možná Pravděpodobnost (<i>Likelihood</i>)	Význam (<i>Meaning</i>)	Hodnota (<i>Value</i>)
Častá (<i>Frequent</i>)	Pravděpodobnost, že se může stát velmi často (stalo se často)	5
Občasná (<i>Occasional</i>)	Pravděpodobnost, že se může někdy stát (stalo se nepříliš často)	4
Časově vzdálená (<i>Remote</i>)	Nepravděpodobné, ale s možností, že se může stát (stalo se zřídka)	3
Nepravděpodobná (<i>Improbable</i>)	Velmi nepravděpodobné, že by se mohlo stát (není známo, že by se stalo)	2
Extrémně nepravděpodobné (<i>Extremely Improbable</i>)	Téměř nemyslitelné, že by se takový případ mohl stát	1

B) Stanovení vážnosti bezpečnostního rizika

Povaha škod (zranění) samozřejmě závisí na rychlosti, kterou kvadrokoptéra do překážky narazila (pokud se překážka pohybuje, mohou se výsledná poškození lišit). Nicméně můžeme říci, že pokud by kvadrokoptéra do překážky skutečně narazila, k jejímu poškození došlo vždy. Při nárazu se totiž poškodí vrtule, které zajišťují tah. Poté by následoval pád, který by mohl způsobit strukturální poškození kvadrokoptéry a/nebo jejího vybavení. Mohlo by také dojít k materiálním škodám na překážce (dům, automobil a další). Po uvážení stanovuji vážnost bezpečnostního rizika na nebezpečnou (B).

Tabulka 9: Stanovení vážnosti bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 1)

Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]

Vážnost (Severity)	Význam (Meaning)	Hodnota (Value)
Katastrofická (Catastrophic)	- Nehoda, úmrtí a/nebo zničení zařízení	A
Nebezpečná (Hazardous)	- Rozsáhlé snížení míry bezpečnosti, takové hmotné potíže nebo pracovní zatížení, že se provozovatel nemůže spolehnout, že bude schopen plnit své úkoly přesně nebo beze zbytku - Vážné zranění - Závažné poškození zařízení	B
Závažná (Major)	- Významné snížení míry bezpečnosti, omezení schopnosti provozovatele vyrovnat se s nepříznivými provozními podmínkami zapříčiněnými zvýšeným pracovním zatížením nebo podmínkami, které zhoršují jejich výkonnost - Vážný incident - Zranění osob	C
Mírně závažná (Minor)	- Obtíže - Provozní omezení - Použití nouzových postupů - Méně závažný incident	D
Zanedbatelná (Negligeble)	- Malé následky	E

C) Index bezpečnostního rizika

Spojením hodnot možné pravděpodobnosti a vážnosti bezpečnostního rizika dostaneme index bezpečnostního rizika **2B**.


Tabulka 10: Index bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 1) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]

Pravděpodobnost rizika		Vážnost rizika				
		Katastrofický <i>Catastrophic</i> A	Nebezpečný <i>Hazardous</i> B	Závažný <i>Major</i> C	Méně závažný <i>Minor</i> D	Zanedbatelný <i>Negligible</i> E
Častá (<i>Frequent</i>)	5	5A	5B	5C	5D	5E
Občasná (<i>Occasional</i>)	4	4A	4B	4C	4D	4E
Velmi slabá (<i>Remote</i>)	3	3A	3B	3C	3D	3E
Nepravděpodobná (<i>Improbable</i>)	2	2A	2B	2C	2D	2E
Extrémně nepravděpodobná (<i>Extremely Improbable</i>)	1	1A	1B	1C	1D	1E

D) Snesitelnost bezpečnostního rizika

Přesunem indexu bezpečnostního rizika do matice snesitelnosti bezpečnostního rizika zjistíme, že se nacházíme ve snesitelné oblasti. Rizika v této oblasti jsou přijatelná na základě zmírnění rizika. Pokud neurčí odpovědný vedoucí jinak, je nutné zavést zmírňující opatření.

Tabulka 11: Snesitelnost bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 1) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]

Kritéria zhodnocení rizika	Vážnost rizika	Přijatelnost rizika
 <p>Nepřijatelná oblast</p>	5A, 5B, 5C 4A, 4B, 3A	Nepřijatelné za daných okolností
	5D, 5E, 4C, 4D 4E, 3B, 3C, 3D 2A, 2B, 2C, 1A	Přijatelné na základě zmírnění rizika (rozhodne vedení)
	3E, 2D, 2E, 1B, 1C, 1D, 1E	Přijatelné

Zmírnění bezpečnostního rizika

Jelikož se riziko nachází ve snesitelné oblasti, je nutné zavést zmírňující opatření:

1. Během letu by měly být na kvadroptěře namontovány ochranné oblouky, které při případné srážce s překážkou snižují pravděpodobnost poškození vrtulí.

2. Pokud to okolnosti dovolují, létat s kvadrokoptérou tak, aby se při letu nevyskytovala přímo mezi překážkou a pilotem. Pilot by měl stát tak aby dokázal odhadnout vzdálenost mezi překážkou a kvadrokoptérou.
3. Pokud je k dispozici GPS signál a je to při dané činnosti možné, vždy provozovat let s kvadrokoptérou v Positioning módu (GPS módu). Tím zajistíme, že bude optický systém detekce překážek k dispozici.
4. Postupy zpracovat do provozní příručky, část B.

Zavedením těchto zmírňujících opatření nijak neohrozíme ekonomiku společnosti, ani jejich zavedením nezpůsobíme existenci nežádoucích důsledků (nových nebezpečí).

Po zavedení těchto zmírňujících opatření se přesuneme do přijatelné oblasti, jelikož jsme tím snížili pravděpodobnost bezpečnostního rizika. Index bezpečnostního rizika je po zmírnění **1B** a zbytkové riziko je akceptovatelné.

Pokud bychom prováděli tuto analýzu rizik pro multikoptéry obecně, možná pravděpodobnost a vážnost bezpečnostního rizika by byla odlišná. Je proto výhodné vždy brát v potaz vlastnosti a vybavení určitého typu.

Vyhodnocení číslo 2

Nebezpečí: Výskyt vzdušného prostoru, kde je zakázané nebo omezené létání, v místě plánovaného letu

Riziko (následek): Narušení vzdušného prostoru, kde je zakázané nebo omezené létání a ohrožení bezpečnosti

Analýza bezpečnostního rizika

A) Stanovení pravděpodobnosti bezpečnostního rizika

Kvadrokoptéra DJI Phantom 4 je vybavena softwarem nazývaným „Geofencing“, který zabraňuje (upozorňuje) vlétnutí do vzdušného prostoru, ve kterém je zakázaný let. Vlétnutí však přímo zabraňuje pouze do blízkosti vytížených řízených letišť (V České republice jen LKPR), vojenských letišť, věznic, vojenských a policejních objektů a jaderných elektráren. Na ostatní vzdušné prostory jako například ty u méně vytížených řízených letišť, ATZ, CTR a další pouze upozorňuje nebo požaduje autorizaci přes internet. Nicméně tento software ke snížení pravděpodobnosti velmi přispívá. Po uvážení stanovuji možnou pravděpodobnost bezpečnostního rizika na Extrémně nepravděpodobné (1). [45]

Tabulka 12: Stanovení pravděpodobnosti bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 2)
Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]

Možná Pravděpodobnost (Likelihood)	Význam (Meaning)	Hodnota (Value)
Častá (Frequent)	Pravděpodobnost, že se může stát velmi často (stalo se často)	5
Občasná (Occasional)	Pravděpodobnost, že se může někdy stát (stalo se nepříliš často)	4
Časově vzdálená (Remote)	Nepravděpodobné, ale s možností, že se může stát (stalo se zřídka)	3
Nepravděpodobná (Improbable)	Velmi nepravděpodobné, že by se mohlo stát (není známo, že by se stalo)	2
Extrémně nepravděpodobné (Extremely Improbable)	Téměř nemyslitelné, že by se takový případ mohl stát	1

B) Stanovení vážnosti bezpečnostního rizika

Při narušení vzdušného prostoru by mohlo dojít ke sblížení či ke kolizi s pilotovaným letadlem. Při srážce s pilotovaným letadlem by došlo k letecké nehodě, která by mohla vyústit k vážným zraněním až úmrtí a velkým materiálními škodám. Po uvážení stanovují vážnost bezpečnostního rizika na katastrofickou (A).

Tabulka 13: Stanovení vážnosti bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 2)
Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]

Vážnost (Severity)	Význam (Meaning)	Hodnota (Value)
Katastrofická (Catastrophic)	- Nehoda, úmrtí a/nebo zničení zařízení	A
Nebezpečná (Hazardous)	- Rozsáhlé snížení míry bezpečnosti, takové hmotné potíže nebo pracovní zatížení, že se provozovatel nemůže spolehnout, že bude schopen plnit své úkoly přesně nebo beze zbytku - Vážné zranění - Závažné poškození zařízení	B
Závažná (Major)	- Významné snížení míry bezpečnosti, omezení schopnosti provozovatele vyrovnat se s nepříznivými provozními podmínkami zapříčiněnými zvýšeným pracovním zatížením nebo podmínkami, které zhoršují jejich výkonnost - Vážný incident - Zranění osob	C
Mírně závažná (Minor)	- Obtíže - Provozní omezení - Použití nouzových postupů - Méně závažný incident	D
Zanedbatelná (Negligible)	- Malé následky	E

C) Index bezpečnostního rizika

Spojením hodnot možné pravděpodobnosti a vážnosti bezpečnostního rizika dostaneme index bezpečnostního rizika **1A**.


Tabulka 14: Index bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 2) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]

Pravděpodobnost rizika		Vážnost rizika				
		Katastrofický <i>Catastrophic</i> A	Nebezpečný <i>Hazardous</i> B	Závažný <i>Major</i> C	Méně závažný <i>Minor</i> D	Zanedbatelný <i>Negligible</i> E
Častá (<i>Frequent</i>)	5	5A	5B	5C	5D	5E
Občasná (<i>Occasional</i>)	4	4A	4B	4C	4D	4E
Velmi slabá (<i>Remote</i>)	3	3A	3B	3C	3D	3E
Nepravděpodobná (<i>Improbable</i>)	2	2A	2B	2C	2D	2E
Extremně nepravděpodobná (<i>Extremely Improbable</i>)	1	1A	1B	1C	1D	1E

D) Snesitelnost bezpečnostního rizika

Z matice snesitelnosti bezpečnostního rizika zjistíme, že se i toto riziko nachází ve snesitelné oblasti. Pokud zodpovědný vedoucí neurčí jinak, je nutné zavést zmírňující opatření.

Tabulka 15: Snesitelnost bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 2) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]

Kritéria zhodnocení rizika	Vážnost rizika	Přijatelnost rizika
	5A, 5B, 5C 4A, 4B, 3A	Nepřijatelné za daných okolností
	5D, 5E, 4C, 4D 4E, 3B, 3C, 3D 2A, 2B, 2C, 1A	Přijatelné na základě zmírnění rizika (rozhodne vedení)
	3E, 2D, 2E, 1B, 1C, 1D, 1E	Přijatelné

Zmírnění bezpečnostního rizika

Jelikož se riziko nachází ve snesitelné oblasti, je nutné zavést zmírňující opatření:

1. Nainstalovat do kvadrokoptér ADS-B modul. Ten by umožňoval zobrazení kvadrokoptéry na displeji stanoviště ŘLP a zobrazení provozu (pokud má ADS-B modul) na displeji dálkového ovladače (vysílače) multikoptéry.
2. Zajistit, aby byla před letem vždy provedena pečlivá příprava, tedy zda se v okolí budoucí činnosti nenacházejí vzdušné prostory se zakázaným nebo omezeným provozem. Pokud ano, zjistit si jejich podrobnosti.
3. Pokud během letu software „Geofencing“ umožňuje na vzdušný prostor, vždy si důkladně přečíst bližší informace a řídit se podle nich.
4. Postupy zpracovat do provozní příručky, část B

Zavedením prvního zmírňujícího opatření bychom mohli ohrozit ekonomiku společnosti, je tedy nutné se zamyslet, zda je jeho zavedení opravdu nutné. Jinak řečeno, zda náklady nepřevyšují přínosy z opatření. Zavedením ostatních dvou zmírňujících opatření nijak ekonomiku společnosti neohrozíme. Nezpůsobíme existenci nežádoucích důsledků (nových nebezpečí).

Po zavedení těchto zmírňujících opatření riziko stále zůstává ve snesitelné oblasti, jelikož vážnost bezpečnostního rizika je stále na katastrofické úrovni. Pro to, aby bylo riziko akceptováno, je nutné mu porozumět a odsouhlasit ho odpovědným vedoucím.

Vyhodnocení číslo 3

Nebezpečí: Létání v oblastech s občasným výskytem hejn ptáků

Riziko (následek): Napadení hejnem ptáků

Analýza tohoto rizika by měla být u všech kvadrokoptér vcelku stejná.

Analýza bezpečnostního rizika

A) Stanovení pravděpodobnosti bezpečnostního rizika

Pokud létáme v oblasti s výskytem hejn ptáků, pravděpodobnost že bude kvadrokoptéra napadena hejnem ptáků existuje, ale není moc vysoká. Již byly takovéto případy zaznamenány, ale moc často k nim nedochází. Po uvážení stanovuji možnou pravděpodobnost bezpečnostního rizika na časově vzdálenou (Velmi slabou), která se označuje hodnotou (3).

Tabulka 16: Stanovení pravděpodobnosti bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 3)
Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]

Možná Pravděpodobnost (Likelihood)	Význam (Meaning)	Hodnota (Value)
Častá (Frequent)	Pravděpodobnost, že se může stát velmi často (stalo se často)	5
Občasná (Occasional)	Pravděpodobnost, že se může někdy stát (stalo se nepříliš často)	4
Časově vzdálená (Remote)	Nepravděpodobné, ale s možností, že se může stát (stalo se zřídka)	3
Nepravděpodobná (Improbable)	Velmi nepravděpodobné, že by se mohlo stát (není známo, že by se stalo)	2
Extrémně nepravděpodobné (Extremely Improbable)	Téměř nemyslitelné, že by se takový případ mohl stát	1

B) Stanovení vážnosti bezpečnostního rizika

Pokud by skutečně k napadení hejnem ptáků došlo, v nejhorším případě by mohlo dojít k poškození vrtulí či „vyhození“ ze stabilizované polohy a poté pádu, při kterém by mohlo dojít k poškození. Ve některých případech však nedochází k pádu kvadrokoptéry, ale spíše k postrčení kvadrokoptéry, jelikož se jí hejno snaží odehnat pryč. Při napadení může dojít ke zranění ptactva, ale většinou tomu tak nebývá. Po uvážení stanovuji vážnost bezpečnostního rizika na závažnou (C).

Tabulka 17: Stanovení vážnosti bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 3)
Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]

Vážnost (Severity)	Význam (Meaning)	Hodnota (Value)
Katastrofická (Catastrophic)	- Nehoda, úmrtí a/nebo zničení zařízení	A
Nebezpečná (Hazardous)	- Rozsáhlé snížení míry bezpečnosti, takové hmotné potíže nebo pracovní zatížení, že se provozovatel nemůže spolehnout, že bude schopen plnit své úkoly přesně nebo beze zbytku - Vážné zranění - Závažné poškození zařízení	B
Závažná (Major)	- Významné snížení míry bezpečnosti, omezení schopnosti provozovatele vyrovnat se s nepříznivými provozními podmínkami zapříčiněnými zvýšeným pracovním zatížením nebo podmínkami, které zhoršují jejich výkonnost - Vážný incident - Zranění osob	C
Mírně závažná (Minor)	- Obtíže - Provozní omezení - Použití nouzových postupů - Méně závažný incident	D
Zanedbatelná (Negligible)	- Malé následky	E

C) Index bezpečnostního rizika

Spojením hodnot možné pravděpodobnosti a vážnosti bezpečnostního rizika dostaneme index bezpečnostního rizika **3C**.


Tabulka 18: Index bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 3) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]

Pravděpodobnost rizika		Vážnost rizika				
		Katastrofický <i>Catastrophic</i> A	Nebezpečný <i>Hazardous</i> B	Závažný <i>Major</i> C	Méně závažný <i>Minor</i> D	Zanedbatelný <i>Negligible</i> E
Častá (<i>Frequent</i>)	5	5A	5B	5C	5D	5E
Občasná (<i>Occasional</i>)	4	4A	4B	4C	4D	4E
Velmi slabá (<i>Remote</i>)	3	3A	3B	3C	3D	3E
Nepravděpodobná (<i>Improbable</i>)	2	2A	2B	2C	2D	2E
Extrémně nepravděpodobná (<i>Extremely Improbable</i>)	1	1A	1B	1C	1D	1E

D) Snesitelnost bezpečnostního rizika

Přenesením indexu bezpečnostního rizika zjistíme, že se toto riziko nachází ve snositelné oblasti. Je tedy nutné zavést zmírňující opatření, pokud tedy zodpovědný vedoucí neurčí jinak.

Tabulka 19: Snesitelnost bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 3) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]

Kritéria zhodnocení rizika	Vážnost rizika	Přijatelnost rizika
	5A, 5B, 5C 4A, 4B, 3A	Nepřijatelné za daných okolností
	5D, 5E, 4C, 4D 4E, 3B, 3C, 3D 2A, 2B, 2C, 1A	Přijatelné na základě zmírnění rizika (rozhodne vedení)
	3E, 2D, 2E, 1B, 1C, 1D, 1E	Přijatelné

Zmírnění bezpečnostního rizika

1. V případě že je to při dané činnosti možné, vyhnout se provozu kvadrokoptéry v oblastech, které jsou známé výskytem hejn ptáků.
2. V případě že se během letu objeví hejno ptáků v přímé blízkosti kvadrokoptéry, ihned přistát a počkat do doby, než odletí. Tím se výrazně sníží pravděpodobnost, že k napadení dojde.
3. Při činnostech v oblastech, které jsou známé výskytem hejn ptáků využívat ultrazvukový plašič ptáků. Plašič umístit tak, aby bylo vlnění vyzařováno tím směrem, kde bude provoz kvadrokoptéry probíhat. Tím se zajistí snížení výskytu ptactva.
4. Instalace padákového systému, který by byl aktivován v případě, že napadení způsobilo ztrátu ovladatelnosti kvadrokoptéry.
5. Postupy zpracovat do provozní příručky, část B.

Zavedení prvních tří zmírňujících opatření by nemělo nijak ohrozit ekonomiku společnosti, ale opatření čtvrté by mohlo. Je tedy nutné se rozhodnout, zda je jeho využití opravdu nutné. Podle mého názoru přímo pro zmírnění tohoto rizika padákový systém nutný není. Zavedení těchto opatření nezpůsobí existenci nežádoucích důsledků (nových nebezpečí).

Po prvních třech zmírňujících opatření se již dostaneme do příjemné oblasti, jelikož pravděpodobnost bezpečnostního rizika byla snížena. Index bezpečnostního rizika je po zmírnění **1C** a zbytkové riziko je akceptovatelné.

6.3 Shrnutí

Jak je vidět, dělat takovéto řízení bezpečnostního rizika je velmi důležité a pokud je náležitě vyhodnoceno, dovoluje nám nalézt správná zmírňující opatření pro vytvoření bezpečného provozu. Vždy je důležité se snažit dostat do příjemné oblasti, ale musí se samozřejmě brát v potaz finanční možnosti společnosti.

7. Doporučený postup pro analýzu rizik u multikoptér

V minulé kapitole jsem poukázal na to, jak prakticky postupovat při řízení bezpečnostního rizika u kvadrokoptéry DJI Phantom 4. V této kapitole bych rád shrnul, jak obecně přistupovat k analýze rizik a celkovému řízení bezpečnostního rizika u bezpilotních systému – multikoptér. Také bych rád uvedl, jaké jsou rozdíly řízení bezpečnostního rizika u provozu bezpilotních systémů a běžného pilotovaného leteckého provozu.

V mém případě byla identifikace rizik prováděna prediktivní metodou, tedy odhalováním nebezpečí, které se mohou objevit. Ve společnosti se samozřejmě identifikace nebezpečí může provádět i ostatními metodami (pro-aktivní a re-aktivní). Jak jsem už několikrát zmiňoval, identifikace nebezpečí je stále pokračujícím procesem a ve vyspělé společnosti by se měla při identifikaci využívat kombinace reaktivních, proaktivních, prediktivních metod a interních a externích zdrojů informací. To tedy platí zejména ve společnostech, které zaměstnávají více zaměstnanců a mají osobu/osoby, které se starají pouze o bezpečnost provozu. U identifikace samotných nebezpečí nezáleží na určitém typu multikoptéry, u některých nebezpečí na určitém typu nezáleží během celého procesu (psychofyzilogická a organizační nebezpečí). Následuje identifikace rizik, při které zjišťujeme rizika (následky), která z daného nebezpečí plynou. Ani zde ještě nezáleží na určitém typu multikoptéry, jelikož rizika (následky) budou velmi podobná. [2]

Při analýze rizik již na typu multikoptéry záleží a měl by být brán v úvahu. Při zjišťování úrovně pravděpodobnosti a vážnosti rizika postupujeme velmi podobně jako u běžného pilotovaného leteckého provozu. Tedy pomocí již dříve popsaných pravidel, matic a tabulek. Během stanovení vážnosti bezpečnostního rizika je třeba myslet také na to, že možné následky provozu bezpilotních systémů jsou oproti možným následkům běžných pilotovaných letadel mnohem nižší. Již jen z toho důvodu, že bezpilotní systémy nepřevážejí žádné osoby a dosahují mnohem menších hmotností. Na druhou stranu se však jejich vážnost nemůže zanedbávat, jelikož i bezpilotní systémy mohou v nejhorších případech způsobit újmy na životech. K vyhodnocování pravděpodobnosti a vážnosti bezpečnostního rizika se přistupuje velmi podobně jako u běžného pilotovaného leteckého provozu. Po zjištění indexu bezpečnostního rizika, zjistíme jeho snesitelnost, tedy v které oblasti se riziko nachází. Pokud je požadované zavedení zmírňujících opatření, přistoupíme k nim.

Při zavádění zmírňujících opatření je třeba si dát pozor na finanční náklady, které s sebou mohou nést. Společnosti komerčně provozující bezpilotní systémy nemají tolik finančních prostředků jako společnosti provozující obchodní leteckou dopravu. Dále je třeba si dát pozor

na zavedení nežádoucích důsledků a vzniku nových nebezpečí a rizik, které vyplývají ze zavedeného zmírňujícího opatření. [2]

Zavedením zmírňujících opatření bychom měli snížit pravděpodobnost a/či vážnost bezpečnostního rizika. U provozu multikoptér se to týká zejména technických opatření, nových provozních postupů a změn ve výcviku. Po aplikaci opatření je třeba se přesvědčit že jsme bezpečnostní riziko skutečně snížili a kam se v matici snesitelnosti posunulo. Je samozřejmě nutné se snažit riziko zmírnit na úroveň tak nízkou, jak je přiměřeně možné (ALARP). [2]

Tabulku 8 jsem sestavil za účelem vytvořit ucelený a přehledný postup řízení a analýzy bezpečnostních rizik u multikoptér. Tato tabulka umožňuje postupné vyplnění všech potřebných informací ke zdárnému dokončení celého procesu.

Tabulka 20: Doporučený postup pro celkové řízení a analýzu bezpečnostního rizika u multikoptér

Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]

Typ multikoptéry:		
Nebezpečí <i>(stav, případ, okolnost či předmět mající potenciál zapříčinit smrt, zranění osob, poškození zařízení atd.)</i>	Popis nebezpečí:	
Následek (riziko) <i>(možný výsledek nebezpečí, které by nebylo řízeno nebo odstraněno.)</i>	Popis následku (rizika):	
Pravděpodobnost bezpeč. rizika <i>(možná pravděpodobnost, s jakou by mohlo dojít k bezpečnostnímu následku)</i>	1-5	Vyhodnocení dle matice:
Vážnost bezpeč. rizika <i>(závažnost újmy nebo poškození, které by mohlo nastat jako následek nebezpečí)</i>	A-E	Vyhodnocení dle matice:
Index bezpeč. rizika <i>(alfanumerické označení složené z hodnot pravděpodobnosti a vážnosti bezpečnostního rizika)</i>	1A-5E	Vyhodnocení dle matice:
Snesitelnost bezpeč. rizika <i>(Vyhodnocení zda je nutné činnost zastavit, zavést zmírňující opatření či je možné v činnosti pokračovat)</i>	Riziko: <u>Nepřijatelné</u> <u>Snesitelné</u> <u>Přijatelné</u>	Vyhodnocení dle matice:
POKUD JE NUTNÉ (VHODNÉ) ZAVÉST ZMÍRŇUJÍCÍ OPATŘENÍ POKRÁČOVAT NIŽE		
Zmírňující opatření <i>(kroky, které je třeba podniknout pro zmírnění bezpečnostního rizika)</i>	Jejich popis po zvážení všech strategií:	
Přezkoumání opatření <i>(Přezkoumání opatření z hlediska nákladů a výnosů, existence nežádoucích důsledků atd.)</i>	Výsledky přezkoumání:	
Snesitelnost a index bezpeč. rizika po zavedení opatření	<u>Nepřijatelné</u> <u>Snesitelné</u> <u>Přijatelné</u> /1A-5E	Vyhodnocení dle matice:

8. Závěr

I přes svou užitečnost mohou být bezpilotní systémy nebezpečné a je proto třeba se řízením bezpečnostních rizik skutečně zabývat a případné problémy nepřehlížet. Není třeba si dávat pozor jen na jejich technické součásti, ale také na prostředí, ve kterém se provoz odehrává. Mám na mysli samozřejmě počasí a další přírodní vlivy. Ani to však není vše, je také nutné vzpomenout psychofyzilogii pilota (posádky), které jsou hlavním článkem v bezpečném letu.

Hlavním tématem této práce jsou bezpilotní systémy (UAS) a analýza rizik spojených s jejich provozem. Začal jsem popisem bezpilotních systémů, tedy definicemi odborných termínů, které jsem získal zejména z předpisu L2 (Doplňku X a Hlavy 1) a pokračoval jejich jejich rozdělením podle různých aspektů. Poté jsem se podrobněji zabýval multikoptéry, jejich konstrukcí a rozsáhlým komerčním využitím.

S tímto rozsáhlým využitím však souvisí i rozsáhlá škála nebezpečí a rizik, které je třeba řešit. Proto jsem si prostudoval ICAO 9859 a směrnici CAA-FOD-01/2013 a zabýval jsem se v následující kapitole teoretickými poznatky v oblasti řízení bezpečnostních rizik. Nejprve jsem popsal základní termíny, tedy nebezpečí a následek (riziko). V praxi se často tyto termíny zaměňují a je tedy třeba si na to dát pozor. Dále jsem popsal, jak funguje celý proces řízení bezpečnostního rizika. Tedy jakým způsobem by se měla identifikovat nebezpečí a že ideálně by se měla při identifikaci využívat kombinace reaktivních, proaktivních, prediktivních metod a interních a externích zdrojů informací. Těmito pravidly se řídí zejména velké společnosti, které mají pracovníky zabývající se jen bezpečností ve společnosti. Poté jsem popsal celý proces analýzy rizik, tedy vyhodnocení pravděpodobnosti a vážnosti bezpečnostního rizika. Proces pokračuje vyhodnocením, zda je riziko přijatelné, snesitelné či nepřijatelné. Celý proces je zakončen zavedením zmírňujících opatření. Před tím, než se zavedou je však třeba si dát velký pozor na jejich finanční náklady a je tedy vhodné provést jednoduché přezkoumání z hlediska nákladů a výnosů a dalších oblastí (existence nežádoucích důsledků a další).

Není však možné zůstat jen u teorie, proto jsem v praktické části této práce vytvořil ucelený výpis základních nebezpečí a rizik souvisejících s provozem multikoptér. Nebezpečí jsem systematicky rozdělil na 6 skupin podle toho z čeho daná nebezpečí plynou. Po dokončení nebezpečí a rizik pro multikoptéry obecně, jsem vytvořil analýzu rizik pro určitý typ multikoptéry, přesněji kvadrokoptéry DJI Phantom 4. Vybral jsem tři příkladová nebezpečí a rizika a provedl jsem úplný proces řízení bezpečnostních rizik. Tím jsem poukázal na to, že při analýze rizik u bezpilotních systémů je třeba brát v potaz konkrétní typ bezpilotního systému, jelikož různé typy se liší konstrukcí, systémy a vybavením. S tím souvisejí různé

následky (rizika) a jejich různé hodnoty pravděpodobnosti a vážnosti bezpečnostního rizika. Konečné vyhodnocení analýzy tedy může být pro dva typy multikoptér rozdílné.

V poslední praktické kapitole jsem vytvořil doporučení, tedy jak obecně přistupovat k řízení bezpečnostního rizika u multikoptér a jaké jsou rozdíly v porovnání s obchodní leteckou dopravou. Také jsem v této kapitole vytvořil tabulku, která uživatele provede celým procesem řízení bezpečnostního rizika a umožňuje postupné vyplnění a vyhodnocení informací, které jsou nutné ke zdárnému dokončení procesu.

Pevně věřím, že se mi touto prací podařilo nastínit důležitost provádění analýzy rizik u bezpilotních systému a doufám, že se tato práce shledá s úspěchem. Vzhledem k tomu, že se tímto tématem dosud žádná práce nezabývala, mohla by posloužit jako inspirace při provádění analýzy rizik a celkovém procesu řízení bezpečnostních rizik u bezpilotních systému, zejména pak multikoptér. Věřím, že poznatky získané při tvorbě této bakalářské práce využiji i ve své další práci.

Použité zdroje

- [1] KELLER, Ing. Ladislav. *Učební texty pro piloty UAS*. Dronim, 2019.
- [2] Doc 9859 AN/474, Safety Management Manual (SMM). *International Civil Aviation Organization (ICAO)*. 3rd. 2013. ISBN 978-92-9249-214-4. [cit.2019-04-20]. Dostupné z: https://www.icao.int/safety/SafetyManagement/Documents/Doc.9859.3rd%20Edition_alltext.en.pdf
- [3] ČESKO. Směrnice CAA-FOD-01/2013: Poradní materiál k požadavku ORO.GEN.200 Systém řízení. *Úřad pro civilní letectví*. In: Informační věstník 02/2013. Praha, 2013, s. 24-41. [cit.2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/file/6472>
- [4] Předpis L2, Doplněk X – BEZPILOTNÍ SYSTÉMY. *Letecká informační služba*. [online]. 2018 [cit.2019-06-25]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- [5] Předpis L2, Hlava 1 – DEFINICE. *Letecká informační služba*. [online]. 2018 [cit.2019-06-25]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/hl1.pdf>
- [6] Drone, UAV, UAS, RPA or RPAS. *AltGator* [online]. [cit. 2019-06-25]. Dostupné z: <https://altigator.com/drone-uav-uas-rpa-or-rpas/>
- [7] KELLER, Ing. Ladislav. *Multikoptéra – všeobecné znalosti*. Prezentace k předmětu 21Y1BS. [cit.2019-06-25]. Dostupné z: Poskytnuto Ing. Ladislavem Kellerem
- [8] Nalezli jste radiosondu? *ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV* [online]. [cit. 2019-06-25]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/aktualni-stav-pocasi/informace-a-zajimovosti/nalezli-jste-radiosondu>
- [9] MALCHÁREK, Jakub. Bude měřit znečištění ovzduší bezpilotní vzducholod? *MORAVSKOSLEZSKÝ deník.cz* [online]. 23.8.2013 [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://moravskoslezsky.denik.cz/z-regionu/bude-merit-znecisteni-ovzdusi-bezpilotni-vzducholod-20130823.html>
- [10] AirshipClub.com - služby. *AirshipClub.com* [online]. [cit. 2019-06-25]. Dostupné z: <http://www.airshipclub.com/sluzby.php>
- [11] BROWN, Jack. TYPES OF MILITARY DRONES: THE BEST TECHNOLOGY AVAILABLE TODAY. *Dronelab* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <http://mydronelab.com/blog/types-of-military-drones.html>
- [12] Bell Eagle Eye Tiltrotor UAV. *NAVAL TECHNOLOGY* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://www.naval-technology.com/projects/belleagleeyeuav/>
- [13] CTOL. *Wikipedia* [online]. 2018 [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/CTOL>
- [14] Fulmar X Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *AIR FORCE TECHNOLOGY* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://www.airforce-technology.com/projects/fulmar-x-unmanned-aerial-vehicle-uav/>
- [15] U.S. Southern Command orders Raven UAS to loft small reconnaissance and intelligence sensor payloads. *Intelligent Aerospace* [online]. 15.10.2018 [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://www.intelligent-aerospace.com/military/article/16545153/us->

southern-command-orders-raven-uas-to-loft-small-reconnaissance-and-intelligence-sensor-payloads

- [16] PLUMMER, Libby. What is VTOL? A beginner's guide to vertical take-off and landing technology. *WIRED* [online]. 28.4.2017 [cit. 2019-08-22]. Dostupné z: <https://www.wired.co.uk/article/vtol-vertical-take-off-landing-explained>
- [17] Mavic 2. *DJI* [online]. [cit. 2019-08-22]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/mavic-2>
- [18] SUICMEZ, Emre Can. TRAJECTORY TRACKING OF A QUADROTOR UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) VIA ATTITUDE AND POSITION CONTROL. ResearchGate [online]. 2014 [cit. 2019-06-26] Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/1-General-comparison-between-UAVs-with-VTOL-and-CTOL-abilites_tbl1_267737119
- [19] LACINOVÁ, Bc. Markéta. *Bezpilotní létající prostředky při činnosti IZS a legislativní rámec pro jejich použití*. Kladno, 2016. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství. Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva. Vedoucí práce Ing. Václav Navrátil
- [20] MINAŘÍK, Petr. Hybridní pohon pro drony. *DRONCENTRUM* [online]. 23. 02. 2016 [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <http://www.droncentrum.cz/hybridni-pohon-pro-drony/>
- [21] HITTI, Natashah. Amazon to deliver purchases by drone "within months". *Dezeen* [online]. 6.6.2019 [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <https://www.dezeen.com/2019/06/06/amazon-prime-air-drone-news/>
- [22] THE FIRST PETROL ELECTRIC MULTICOPTER. *Quaternium* [online]. [cit. 2019-06-26]. Dostupné z: <http://www.quaternium.com/uav/hybrix-20/>
- [23] CO JE DRON? *RCPROFI.cz* [online]. [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: <https://www.rcprofi.cz/poradna/co-je-dron.html>
- [24] Proč jsou tzv. „multikoptéry“ (kvadrokoptéry, hexakoptéry, oktokoptéry atd.) považovány z pohledu klasifikace letadel za vrtulníky? *Úřad pro civilní letectví* [online]. [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/proc-jsou-tzv-multikoptery-kvadrokoptery-hexakoptery>
- [25] ABSOLON, Bc. Stanislav. *Malé dálkově ovládané bezpilotní letadlo pro výzkumné a komerční využití*. Praha, 2015. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy. Vedoucí práce doc. Ing. Peter Vittek, Ph.D
- [26] MIŠÁK, Petr. Kvadrokoptéra nebo octokoptéra? Proč je počet vrtulí důležitý a kdy je na škodu? *DRONI* [online]. 20.7.2015 [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: <https://www.droni.cz/kvadrokoptera-octokoptera-dron/>
- [27] VELKÝ PRŮVODCE: Základy pro stavbu dronu! *SvětDronů.net* [online]. [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: <https://svetdronu.net/velky-pruvodce-zaklady-pro-stavbu-dronu/>
- [28] GORTOLEV, Mike. Quadcopter vs Hexacopter vs Octocopter: The Pros and Cons. *DRONEBLY* [online]. 24.11.2014 [cit. 2019-06-27]. Dostupné z: <http://dronebly.com/quadcopter-vs-hexacopter-vs-octocopter-the-pros-and-cons>
- [29] DJI Matrice 600 (M600) Flying Platform: My In-Depth Review. *Best Drone for the Job* [online]. [cit. 2019-08-23]. Dostupné z: <https://bestdroneforthejob.com/drone-reviews/dji-matrice-600/>
- [30] Quadcopter Propeller Basics for Drone Pilots. *DRONEOMEGA* [online]. [cit. 2019-08-22]. Dostupné z: <https://www.droneomega.com/quadcopter-propeller/>

- [31] JURAČKA, Petr Jan. *Drony – fotografování z ptačí perspektivy: co všechno potřebujete vědět o dronech a jejich využití pro leteckou fotografii a video*. Praha: Grada, 2017. ISBN 978-802-4757-872.
- [32] Phantom 4: User Manual V1.6. *DJI* [online]. 2017 [cit. 2019-06-28]. Dostupné z: https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4/20170706/Phantom_4_User_Manual_v1.6.pdf
- [33] KOCOUREK, Jaroslav a Jaroslav ŘEŠÁTKO. *Drony: praktická příručka pro majitele dronů DJI*. Praha: TELINK, spol. s r.o., 2017. ISBN 978-807-3462-284.
- [34] KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-7346-228-4.
- [35] PAŠKOVÁ, Miroslava. Fotoreportáž ze cvičení Horské služby: Tihle horalové, to jsou teprve borci! *STÁTNÍ OZBROJENÉ A BEZPEČNOSTNÍ SLOŽKY* [online]. 17.3.2016 [cit. 2019-07-02]. Dostupné z: <http://www.ozbrojeneslozky.cz/clanek/fotoreportaz-ze-cviceni-horske-sluzby-tihle-horalove-to-jsou-teprve-borci>
- [36] AGRASMG-1. *DJI* [online]. [cit. 2019-07-02]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/mg-1?site=brandsite&from=nav>
- [37] Parachute kit Safetech – ST60. *Opale Parachutes* [online]. [cit. 2019-07-20]. Dostupné z: <https://www.opale-parachutes.com/gb/kits/202-safetech-kit-st60-3760245321960.html>
- [38] KELLER, Ing. Ladislav. *Provozní příručka – DJI Mavic 2*. [cit.2019-08-10]. Dostupné z: Poskytnuto Ing. Ladislavem Kellerem
- [39] Porada k rozboru bezpečnosti za 2. čtvrtletí 2017. *Ústav pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod* [online]. 20.7.2017 [cit. 2019-08-06]. Dostupné z: <http://www.uzpln.cz/pdf/20170720130852.pdf>
- [40] Porada k rozboru bezpečnosti za 1. čtvrtletí 2018. *Ústav pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod* [online]. 26.4.2018 [cit. 2019-08-09]. Dostupné z: <http://www.uzpln.cz/pdf/20180515114028.pdf>
- [41] TREŠLOVÁ, Bc. Hana. *Bezpečnostní rizika soutěží v bezmotorovém létání*. Praha, 2015. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy. Vedoucí práce doc. Ing Peter Vittek.
- [42] VÍTŮ, Jan. ÚPAL A ÚŽEH: JAKÝ JE V NICH ROZDÍL A JAKÁ JE PRVNÍ POMOC? *Zdraví národa* [online]. 26.7.2019 [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: <https://zdravinaroda.cz/slezina/upal-a-uzeh-jaky-je-v-nich-rozdil-a-jaka-je-prvni-pomoc/>
- [43] MARKERT, Francis. My Review of the DJI Phantom 4: Standard, Advanced and Pro. *Drone Traveller* [online]. 9.7.2018 [cit. 2019-08-13]. Dostupné z: <https://drone-traveller.com/dji-phantom-4-review/>
- [44] ATKINSON, David. DJI PHANTOM 4 PRO V2.0 VS PHANTOM 4 PRO AND PHANTOM 4 ADVANCED. *Heliguy* [online]. 11.5.2018 [cit. 2019-07-23]. Dostupné z: <https://www.heliguy.com/blog/2018/05/11/dji-phantom-4-pro-v2-0-vs-phantom-4-pro-and-phantom-4-advanced/>
- [45] FLY SAFEGEO: ZONE MAP. *DJI* [online]. [cit. 2019-08-15]. Dostupné z: <https://www.dji.com/cz/flysafe/geo-map>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Legislativní rozdělení bezpilotních letadel [4].....	10
Obrázek 2: Dělení podle konstrukce (principu letu) [7].....	11
Obrázek 3: Bepilotní vzducholod' AirshipClub X15 hybrid [9].....	12
Obrázek 4: Odhoz UAS RQ-11B [15].....	13
Obrázek 5: Fulmar X na rampě [14].....	13
Obrázek 6: Kvadrokoptéra DJI Mavic 2 PRO [17]	14
Obrázek 7: Bepilotní letadlo s hybridním pohonem HYBRIX.20 [22]	15
Obrázek 8: Hexakoptéra DJI Matrice 600 [29].....	19
Obrázek 9: Zjednodušené dělení multikoptér podle počtu pohonných jednotek (zleva trikoptéra, kvadrokoptéra,„X“, kvadrokoptéra,„+“, hexakoptéra,„X“, hexakoptéra,„+“, oktokoptéra „X“) a směry otáčení jednotlivých motorů. Ostatní konstrukce jsou popsány výše. [30].....	19
Obrázek 10: Hexakoptéra Robodrone Kingfisher patřící Horské službě [35]	25
Obrázek 11: Zemědělská oktokoptéra DJI AGRAS MG-1 [36]	26
Obrázek 12: Základní stavební prvky multikoptéry [1].....	27
Obrázek 13: Jednoduché schéma zapojení řídicí jednotky [1]	29
Obrázek 14: Otevření padáku Safetech ST60 [37].....	30
Obrázek 15: Kvadrokoptéra DJI Phantom 4 [43].....	63

Seznam tabulek

Tabulka 1: Tabulka klasifikace možné pravděpodobnosti bezpečnostního rizika [3]	38
Tabulka 2: Tabulka klasifikace vážnosti bezpečnostního rizika [2] [3]	40
Tabulka 3: Matice vyhodnocení bezpečnostního rizika [3]	41
Tabulka 4: Matice snesitelnosti bezpečnostního rizika [3]	42
Tabulka 5: Dokumentace nebezpečí a řízení bezpečnostních rizik [2]	46
Tabulka 6: Zjednodušený model řízení bezpečnostního rizika [2]	47
Tabulka 7: Proces řízení bezpečnostních rizik [2]	48
Tabulka 8: Stanovení pravděpodobnosti bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 1) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]	64
Tabulka 9: Stanovení vážnosti bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 1) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3].....	65
Tabulka 10: Index bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 1) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3].....	66
Tabulka 11: Snesitelnost bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 1) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3].....	66
Tabulka 12: Stanovení pravděpodobnosti bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 2) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]	68
Tabulka 13: Stanovení vážnosti bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 2) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3].....	68
Tabulka 14: Index bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 2) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3].....	69
Tabulka 15: Snesitelnost bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 2) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3].....	69
Tabulka 16: Stanovení pravděpodobnosti bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 3) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]	71
Tabulka 17: Stanovení vážnosti bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 3) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3].....	71

Tabulka 18: Index bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 3) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3] 72

Tabulka 19: Snesitelnost bezpečnostního rizika (vyhodnocení číslo 3) Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]..... 72

Tabulka 20: Doporučený postup pro celkové řízení a analýzu bezpečnostního rizika u multikoptér Zdroj: Vlastní tvorba dle [3]..... 76