



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Patrik Petrydes

**TYPY BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ A JEJICH
VYUŽITÍ V KOMERČNÍ SFÉŘE**

Bakalářská práce

2019

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621 Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Patrik Petrydes

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – TUL – Technologie údržby letadel

Název tématu (česky): **Typy bezpilotních prostředků a jejich využití v
komerční sféře**

Název tématu (anglicky): Types of Unmanned Aerial Vehicles and Their Use in the
Commercial Sphere

Zásady pro vypracování

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

- Typy bezpilotních prostředků
- Způsoby využití bezpilotních prostředků v komerční sféře
- Porovnání typů bezpilotních prostředků podle jejich využití
- Současný stav legislativy pro využití bezpilotních prostředků v komerčním provozu ČR



- 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: R. AUSTIN. Unmanned Air Systems: UAV Design, Development and Deployment. Wiley, 2010
A. R. JHA. Theory, Design, and Applications of Unmanned Aerial Vehicles. CRC Press, 2016
Letecký předpis L2: Pravidla létání. ČR, 2014

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. David Hůlek
Ing. Martin Novák, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce:

1. října 2018

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

Datum odevzdání bakalářské práce:

26. srpna 2019

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

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



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Patrik Petrydes
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 1. října 2018

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji svým vedoucím panu Ing. Davidovi Hůlkovi a panu Ing. Martinovi Novákovi Ph.D. za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady, které mi poskytovala po celou dobu mého studia. 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, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

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

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).

V Praze dne 25. srpna 2019

.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

TYPY BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ A JEJICH VYUŽITÍ V KOMERČNÍ SFÉŘE

Bakalářská práce

2019

Patrik Petrádes

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce „Typy bezpilotních prostředků a jejich využití v komerční sféře“ je analyzovat detailnější využití bezpilotních systémů v komerční sféře. Teoretická část se zabývá využíváním bezpilotních systémů obecně a jejich popisem. První část se zabývá samotnou definicí bezpilotních systémů, jejich historií, různým rozdělením, výhodami a nevýhodami oproti pilotovaným letadlům, a nakonec jejich trhem a možnostmi jejich využití. Dále, se práce zabývá veškerými komponenty bezpilotních systémů, jako jsou jejich konstrukce, pohon, software, ovládání a snímače bezpilotních systémů. Další část se zaměřuje na dnešní stav legislativy bezpilotních systémů v České republice a popisuje postup pro získání licencí potřebných k provozování leteckých prací. Praktická část práce se zabývá návrhy bezpilotních systémů pro různé konkrétní komerční činnosti. Jedná se o spedici, pomoc při živelných pohromách, zemědělství, technickou kontrolu staveb a kontrolu potrubních systémů. Cíl práce je najít vhodné návrhy bezpilotních systémů pro určité účely.

Klíčová slova: UAV, UAS, Bepilotní systém, Bepilotní prostředek, Bepilotní letadlo, Dron, Komerční sféra, Legislativa

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

TYPES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES AND THEIR USE IN THE COMMERCIAL SPHERE

Bachelor's Thesis

2019

Patrik Petrydes

ABSTRACT

The subject of the bachelor thesis "Types of Unmanned Aerial Vehicles and Their Use in the Commercial Sphere" is to analyze more detailed use of unmanned aerial systems in the commercial sphere. The theoretical part deals with the use of unmanned aerial systems in general and their description. The first part deals with the actual definition of unmanned aerial systems, their history, different divisions advantages and disadvantages, compared to manned aircraft, and finally their market and possibilities of their use. Furthermore, the thesis deals with all components of unmanned aerial systems, such as their structure, propulsion, software, control and sensors. The next part focuses on the current state of legislation of unmanned aerial systems in the Czech Republic and describing the procedure for obtaining licenses needed to operate aerial work. The practical part deals with the designs of unmanned aerial systems for various specific commercial activities. These include package deliveries, disaster relief, agriculture, technical inspection of buildings and inspection of piping systems. The aim of the thesis is to find suitable design of unmanned aerial systems for certain purposes.

Keywords: UAV, UAS, Unmanned aerial system, Unmanned aerial vehicle, Unmanned aircraft, Drone, Commercial sphere, Legislation

Obsah

Seznam použitých zkratk	7
Úvod	8
Cíle práce	9
1. Bezpilotní systémy	10
1.1 Definice bezpilotních systémů	10
1.2 Historie	11
1.3 Typy a rozdělení bezpilotních systémů	12
1.3.1 Rozdělení bezpilotních systémů	12
1.3.2 Typy bezpilotních systémů	15
1.4 Trh bezpilotních systémů	19
1.5 Výhody a nevýhody bezpilotních systémů	21
1.6 Možnosti využití	24
1.7 Použití bezpilotních systémů v reálném prostředí	26
2. Komponenty bezpilotních systémů	28
2.1 Konstrukce	28
2.1.1 Užitečné zatížení	29
2.1.2 Způsoby vypouštění	29
2.1.3 Materiály	30
2.2 Pohon	30
2.2.1 Bezmotorové systémy	31
2.2.2 Elektromotorové systémy	32
2.2.3 Motorové systémy (spalovací motor)	33
2.2.4 Raketové motory	33
2.3 Software systému	34
2.3.1 Failsafe systém	35
2.4 Ovládání	36
2.4.1 Datové a komunikační spoje	37
2.4.2 Satelitní navigace	39
2.4.3 Autonomie	39
2.5 Snímače	41
3. Legislativa	43
3.1 Legislativa v České republice	43
3.2 Postup k získání licencí	47
4. Komerční způsoby využití bezpilotních systémů	49

4.1	Spedice	49
4.1.1	Požadavky na bezpilotní systém.....	49
4.1.2	Návrh bezpilotního systému	50
4.2	Živelné pohromy	51
4.2.1	Požadavky na bezpilotní systém.....	52
4.2.2	Návrh bezpilotního systému	53
4.3	Zemědělství	54
4.3.1	Požadavky na bezpilotní systém.....	56
4.3.2	Návrh bezpilotního systému	57
4.4	Technická kontrola staveb	58
4.4.1	Požadavky na bezpilotní systém.....	59
4.4.2	Návrh bezpilotního systému	60
4.5	Potrubní systémy	61
4.5.1	Požadavky na bezpilotní systém.....	63
4.5.2	Návrh bezpilotního systému	63
5.	Závěr	65

Seznam použitých zkratek

UAV	Unmanned aerial vehicle; Bezpilotní letadlo
UAS	Unmanned aircraft systém; Bezpilotní systém
UA	Unmanned Aircraft; Bezpilotní letadlo
RPA	Remotely Piloted Aircraft; Dálkově řízené letadlo
IMU	Inertial measurement unit; Inerciální měřící jednotka
Li-Pol	Lithium Polimer
POI	Point of interest; Bod zájmu
SAR	Search and rescue; Pátrání a záchrana
RPAS	Remotely piloted aircraft system; Systém dálkově řízeného letadla
BZP/BP	Bezpilotní prostředek
JARUS	Joint authorities for rulemaking on unmanned systems
NPA	Notice of proposed amendment; Návrhy na změnu předpisů EASA
EASA	European Aviation Safety Agency; Evropská agentura pro bezpečnost letectví
GCS	Ground control station; Pozemní řídicí stanice
MUM-T	Manned-Unmanned Teaming
GPS	Global positioning system; Globální polohový systém
LIDAR	Light Detection And Ranging
DOF	Degree of freedom; Stupeň volnosti
3D	3 Dimensions; 3 dimenze
LOS	Line of Sight; Přímá viditelnost
LTE	Long-Term Evolution
ÚCL	Úřad pro civilní letectví
NATO	North Atlantic Treaty Organization; Severoatlantická aliance

Úvod

Bezpilotní systém (někdy nazýváno dron z anglického drone) je letadlo bez posádky, ovládané na dálku, nebo schopno létat samostatně díky přeprogramovaným letovým plánům a různým autonomním systémům. Potom, co poklesly ceny a zvýšila se dostupnost, se rozsah cenově dostupných bezpilotních systémů, které jsou nabízeny lidem, rychle zvýšil, což znamená, že si dnes může bezpilotní systém dovolit skoro každý. Proto není překvapení, že i přesto, že se bezpilotní systémy používají často v armádě k průzkumným i útočným letům, používají se také k mnoha civilním úkolům, například k hašení požárů, policejnímu sledování nebo průzkumu terénu.

V této práci se budu zabývat bezpilotními systémy, které se používají pro komerční účely. Rekreační využívání bezpilotních systémů je dnes poměrně dobře známé. Mnoho lidí si koupí bezpilotní systém a létá kolem svého dvora nebo v blízkosti otevřených prostorů pro jen čisté potěšení nebo pro pořizování fotografií a videí. Někteří lidé si neuvědomují, kolik různých způsobů komerčního používání bezpilotních systémů existuje. V důsledku toho může být komerční využití bezpilotní systémů matoucí oblastí, do které lze vstoupit.

První část práce se zabývá vymezením základních pojmů. V této části především vysvětlím, co jsou to bezpilotní systémy, jejich historii, typy a rozdělení, možnosti využití a jejich výhody a nevýhody. Hlavním cílem této části je čtenáře seznámit s bezpilotními systémy s jejich možnostmi a druhy, včetně jejich popisu.

Druhá část se zaměřuje na samotné komponenty bezpilotních systémů a jejich technologii. Všechny součásti a komponenty bezpilotních systémů jsou velmi důležité pro hladký a bezpečný let. Pokud člověk zná všechny části bezpilotních systémů, bude vědět, které komponenty se musí pravidelně kontrolovat a které části lze snadno vyměnit. Při problému s letem, znalost toho, co každý komponent bezpilotního systému dělá, velmi pomůže nalézt a někdy i vyřešit jakýkoliv problém s létáním.

V třetí části se zaměřím na stav legislativy v České republice a její problematiku. Létání s bezpilotními systémy se těší čím dál oblíbenosti v rekreační i profesionální sféře. Někteří piloti,

ačkoli ovládají bezpilotní systém bezchybně, neznají platná pravidla, a tudíž svým létáním porušují legislativu. S tím, jak se bezpilotní systémy čím dál rozšířenějšími a dostávají se do rukou amatérů, vzrůstají i rizika. Jediný bezpilotní systém dokáže paralyzovat provoz celého letiště. Proto bych chtěl, co nejlépe popsat aktuální stav legislativy a, protože je tato práce věnována hlavně bezpilotním systémům využívaným v komerční sféře, popíšu i postup pro získání všech licencí potřebných pro letecké práce.

Nakonec, ve čtvrté části, jsem popsal několik činností v komerční sféře, pro které se bezpilotní systémy dají používat a pro každou z těchto činností jsem se pokusil vytvořit návrh ideálního bezpilotního systému. Se vší pozorností, která se dnes bezpilotním systémům dostává, nacházejí bezpilotní systémy stále praktičtější a inovativnější uplatnění. Existují různá velmi základní využití bezpilotních systémů, ale také existují některá opravdu kreativní využití, pro které se dají bezpilotní systému použít.

Cíle práce

Tato bakalářská práce je zaměřena na využití bezpilotních systémů pro komerční účely. Práce má poskytnout náhled na nynější situaci v oblasti civilních bezpilotních systémů, avšak hlavním cílem bude provést analýzu komerčních využití pomocí bezpilotních systémů jak v obecné rovině, tak i na konkrétních příkladech. V práci budou představeny různé typy bezpilotních systémů a jejich částí. Část práce bude věnována legislativní problematice bezpilotních systémů a vliv legislativy na komerční využívání bezpilotních systémů. Práce si klade za cíl ukázat možnosti využití bezpilotních systémů v komerční sféře a typy bezpilotních systémů, které jsou pro tyto práce nevhodnější.

1. Bezpilotní systémy

Bezpilotními systémy rozumíme bezpilotní letadla pilotovaná na dálku. Tyto systémy mají mnoho způsobu využití, tato využití mohou být například SAR (search and rescue), což je využívání bezpilotních prostředků při záchranných akcích jako jsou lavinové závály, sesuvy půdy a jiné situace, při kterých je obtížné do oblasti poslat záchranný tým rychle a bezpečně. Dále jsou využívány pro monitorování prostředí, geo-mapovací činnost a mnoho dalších činností. V armádním prostředí se používají jako pohyblivé terče nebo mohou napadat nepřátelské cíle. Ve světě se jako oficiální termín pro bezpilotní systémy používají zkratky UAV (unmanned aerial vehicle), UA (unmanned aircraft), RPA (remotely piloted aircraft), RPAS (remotely piloted aircraft system), a také často nesprávně používaná zkratka UAS (unmanned aerial system). Přesná definice zkratk UAS a UA je popsána dále v kapitole. Do definice UAS připadá nejen bezpilotní letadlo, ale i řídicí pozemní stanice, systém pro vzlet a návrat bezpilotního letadla a případně další prvky, které jsou k provozu potřeba. V češtině se pak můžeme setkat se zkratkou BZP/BP (bezpilotní prostředek) nebo s globálně používaným názvem „drone“.

V této části mé práce vyjmenuji základní definice, které budou provázet všechny kapitoly mé práce. Je velmi důležité porozumět použitým pojmům. Poté stručně představím historii bezpilotních systémů, popíši základní typy a rozdělení bezpilotních systémů, trh bezpilotních systémů, výhody a nevýhody jejich použití a možnosti využití.

1.1 Definice bezpilotních systémů

Bezpilotní letadlo (UA) – Je letadlo určené k provozu bez pilota na palubě (může se jednat a většinou se jedná o součást bezpilotního systému). V mezinárodním kontextu se jedná o nadřazenou kategorii dálkově řízených letadel, autonomních letadel i modelů letadel. V kontextu legislativního rámce České republiky se za bezpilotní letadla považují všechna bezpilotní letadla s výjimkou modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 25 kg. [14]

Bezpilotní systém (UAS) – Bezpilotní systém 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. Bezpilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému více. [14]

Model letadla – Letadlo, které není schopné nést člověka na palubě, je používáno pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely, není vybaveno žádným zařízením umožňujícím automaticky 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. [14]

1.2 Historie

Už z roku 1898 se datuje první zmínka o sestrojení bezpilotního leteckého systému, v tomto roce už známý americký vynálezce Nikola Tesla zapsal do svých poznámek úvahy o jeho sestrojení. K realizaci, samozřejmě, však nikdy nedošlo. První bezpilotní systém sestrojil roku 1916 profesor Archibald Montgomery Low a pojmenoval ho „Aerial Target“, tedy „Vzdušný cíl“. Poté bylo sestrojeno velké množství dálkově řízených letadel. Například v roce 1918 vzniklo letadlo „Kettering Bug“, které sloužilo jako torpédo ovládané na dálku a trefilo cíl až na vzdálenost 64 kilometrů. Ve třicátých letech dvacátého století se používaly bezpilotní systémy jako cvičné terče u britského královského námořnictva. V šedesátých letech minulého století se začaly bezpilotní systémy používat k průzkumu, sloužily ve válce ve Vietnamu a byly nasazeny ve válečném konfliktu mezi Izraelem a jeho arabskými sousedními státy v roce 1973. Původně se tedy jednalo výhradně o vojenské systémy a postupně pronikly i do civilní a komerční sféry. [3]

Na začátku tohoto století došlo k obrovskému rozmachu bezpilotních systémů jako důsledek elektronizace, miniaturizace a digitalizace. Nejlepších výsledků dosáhly ve zbrojním průmyslu. V České republice vývoj bezpilotních systémů započal ve Vojenském technickém ústavu letectva a protivzdušné obrany v Praze, jejich nejznámějším bezpilotním systémem je Sojka III, která byla vyvinuta pro průzkum a monitoring. Byla nasazena u Pozemních sil Armády České republiky mezi lety 2000 - 2010. [3]

Do roku 2012 na trhu převažovaly velké bezpilotní systémy s velikostí zhruba od 0,5 m do několika metrů, tyto systémy byly určeny pro mapovací, technické a fotografické účely

a většinou byly vyrobeny z uhlíkových vláken. Drahý materiál znamenal jak vysokou cenu bezpilotních systémů, tak i náhradních dílů. Později se začali vyrábět, kvůli požadavkům na trhu, i bezpilotní systémy pro běžné uživatele o menší hmotnosti i velikosti s jednoduchým ovládním a nižší cenou. V současné době, s vývojem miniaturizace, jsou velmi populární miniaturní bezpilotní systémy, které se vejdu do dlaně a mohou například sloužit k monitoringu podezřelých objektů a přenosu obrazu. [3]

1.3 Typy a rozdělení bezpilotních systémů

V této kapitole vypíší různá rozdělení bezpilotních systémů a dále popíší některé z nejpoužívanějších typů bezpilotních systémů. Budou to typy multikoptéra, letoun, vrtulník, kluzák, balón a vzducholod'.

1.3.1 Rozdělení bezpilotních systémů

Komerčních bezpilotních systémů je mnoho, a proto existuje celá řada hledisek, jak je rozdělit. Zprvė můžeme u bezpilotních systémů rozlišit, zda jsou používané pouze pro zábavní účely nebo pro profesionální účely. Bepilotní systémy používané pro zábavní účely jsou především určeny pro běžné uživatele a nemají pokročilé funkce ovládním, které lze najít u komerčních bezpilotních systémů určených profesionálům.

Bepilotní systémy určené jen pro běžné uživatele používané pro zábavu se mohou lišit svým designem, mohou mít odlišnou velikost, váhu nebo materiál. Odlišná je také cena, ta bývá daleko nižší než u bezpilotních systémů určených profesionálům. Už dříve byly k dostání bezpilotní systémy jako hračky, i když dnes už mají mnohem lepší vybavení, které se už blíží tomu, co mají profesionální bezpilotní systémy.

Dnes se výrobci snaží hlavně o to, co nevíce zmenšit rozdíl mezi bezpilotními systémy pro běžné uživatele a pro profesionály. Díky tomu se začaly vyrábět série bezpilotních systémů, které se dají označit jako bezpilotní systémy pro pokročilé. Tyto bezpilotní systémy jsou většinou větší než ty pro běžné uživatele a často je mohou ovládat dvě osoby – pilot a operátor. Tyto systémy jsou z větší části podobné bezpilotním systémům, které používají profesionálové.

Jejich výhodami jsou lepší letecké parametry a kvalitní výstupy. Největší výhodou je však cena, která se stále snižuje a je daleko přijatelnější než cena velkých bezpilotních systémů pro profesionály. [3].

Dále je důležité si uvědomit rozdíl mezi komerčním a vojenským využitím. Ale v této práci budu rozebírat jen bezpilotní systémy, které se využívají v komerčním prostředí. Další důležitý způsob, jak jde bezpilotní systémy rozdělit, je podle legislativy. V legislativě České republiky dle ÚCL, předpisu L2, Doplnku X se bezpilotní systémy rozdělují podle vzletové hmotnosti a podle způsobu využití.

Nejdůležitější rozdělení by tedy byly:

Rozdělení podle vzletové hmotnosti:

- maximální vzletová hmotnost do 0,91 kg
- maximální vzletová hmotnost od 0,91 kg do 7 kg
- maximální vzletová hmotnost od 7 do 25 kg
- maximální vzletová hmotnost nad 25 kg [3]

Rozdělení podle způsobu využití:

- rekreačně sportovní
- výdělečné
- experimentální a výzkumné
- vojenské [3]

Rozdělení podle druhu pohonu:

- Bezmotorový pohon
- Proudový pohon

- Spalovací pohon
- Elektrický pohon

Rozdělení podle typu:

- vrtulníky
- multikoptéry
- letouny
- kluzáky
- balóny
- vzducholodě
- ostatní [3]

Dále lze bezpilotní systémy rozdělit podle způsobu ovládání, které může být:

- manuální
- automatické
- autonomní [3]

Rozdíl mezi autonomním a automatickým ovládním bude popsán v kapitole 2.4.3 Autonomie.

Toto jsou hlavní hlediska, podle kterých se bezpilotní systémy rozdělují. Existuje více hledisek, podle kterých se dají bezpilotní systémy dělit. Například podle počtu motorů, celkové nosnosti nebo podle maximální výšky letu a doletu. [3]

1.3.2 Typy bezpilotních systémů

Multikoptéra

Multikoptéra je jedním z nejoblíbenějších typů konfigurací draku bezpilotních systémů. Tato konfigurace používá více vrtulí k zajištění síly vztlaku, místo použití jediného vztlakového rotoru, jako u vrtulníku. Multikoptéra je navíc schopna řídit svou orientaci tím, že nezávisle nastavuje rychlost každé z vrtulí, což způsobuje různé tahy a točivé momenty. Existuje více typů multikoptér, které jsou klasifikovány podle počtu vrtulí, které používají a jak jsou uspořádány.

Hlavní výhodou multikoptérové konfigurace je to, že mají možnost vertikálního vzletu a schopnost zůstat vznášet se na místě stejně jako vrtulník, ale s větší mechanickou jednoduchostí. Použití více vrtulí eliminuje potřebu komplexního rotorového mechanismu nalezeného u vrtulníku. Tato mechanická jednoduchost přichází za cenu elektronické složitosti a nákladů, kvůli složitosti stabilizace bezpilotního systému. Nedávný pokrok v elektronice však způsobil, že tyto součásti jsou menší a levnější. Tato konfigurace bezpilotních systémů je však méně aerodynamicky účinná než vrtulník a obecně poskytuje nižší letové časy a užitečné zatížení. [9]

Nezákladnější dělení multikoptér vychází z počtu vrtulí. Dělí se hlavně na:

- Trikopty - 3 motory
- kvadrokopty - 4 motory
- hexakopty - 6 motorů
- oktokopty - 8 motorů

Multikoptéry s větším počtem vrtulí jsou větší, ale také bezpečnější. Mezi hlavní výhody patří možnost naprogramování softwaru na výpadek motorů. Díky tomu, při selhání některých motorů, lze bezpilotní systém stále ovládat a bezpečně s ním přistát. [3]

Letoun

Letouny, známé také jako letadla s pevným křídlem, jsou tradičnější formou bezpilotních systémů. Jsou složeny z jednoho nebo více křídel, které generují vztlak a stabilizují letadlo při pohybu vpřed. Tah vpřed vytváří pohonná jednotka a ovládací plochy na křídlech zajišťují během letu kontrolu nad letem. Tato konfigurace je, oproti multikoptérám, více aerodynamicky efektivní a poskytuje delší letový čas, rychlost a dolet. Letouny jsou také mechanicky a elektronicky jednodušší a tím levnější a snadnější vyrábět a opravovat než ostatní možnosti. Hlavní nevýhodou této konfigurace je její neschopnost vzlétnout vertikálně a zůstat vznášet se na místě. Letoun se musí stále pohybovat po celou dobu letu, jinak křídla nemohou vytvářet vztlak. Neschopnost se vznášet na místě, znamená to, že letoun nemůže zůstat v jednom místě na obloze, když například chceme pozorovat jeden bod na zemi a také to znamená, že potřebuje přistávací dráhu nebo jiná přistávací zařízení, aby mohl bezpilotní systém vzlétnout a přistát. Vzlet je možné uskutečnit buď z odpalovací rampy, vzletem ze startovací dráhy nebo hodem z ruky. Výrobci je méně než u multikoptér a jejich cena bývá vyšší. [3] [10]

Vrtulník

Vrtulník je druh motorového letadla těžšího než vzduch s poháněnými horizontálně rotujícími nosnými plochami. Ty umožňují vrtulníku vzlétat a přistávat svisle, vznášet se a létat všemi směry. Tyto vlastnosti umožňují použití vrtulníků v oblastech, kde letadla s pevnými křídly a mnoho jiných forem letadel nemohou fungovat. Většina návrhů vrtulníků používá konfiguraci s jedním hlavním nosným rotorem a pomocným ocasním rotorem.

Vztlak vzniká na nosném rotoru vrtulníku. Tah potřebný k horizontálnímu letu vzniká vlivem aerodynamických sil vzniklých na nosném rotoru. Změnou úhlu náběhu listů rotoru se řídí naklápění kolem horizontálních os. Rotací nosného rotoru vzniká kroutící moment a musí být kompenzován pomocným rotorem. Ten je nejčastěji realizován jako vertikální vrtule umístěná na ocase stroje. Točivý moment nosného rotoru je také možné kompenzovat usměrňováním vzduchu pomocí vertikálních řídicích ploch nebo použitím druhého horizontálního rotoru otáčejícího se opačným směrem vůči nosnému rotoru. [31] [32]

Tato konfigurace je méně účinná než letoun a obvykle poskytuje menší dolet, dobu letu a rychlost. Na druhou stranu mívá větší dolet a dobu letu než multikoptéra. Ale hlavní nevýhodou tohoto typu je jeho mechanická složitost. To znamená, že bývá vrtulník dražší, je těžší ho nastavit a udržovat a je mnohem těžší a nákladnější ho opravit po havárii. Navíc je vrtulník těžší ovládat než jiné typy. [10]

Kluzák

Kluzák je bezmotorové letadlo těžší než vzduch, s pevnými nosnými plochami. Větší kluzáky startují za pomoci tažného letounu, katapultováním ze země (např. prostřednictvím gumového lana), z terénní vyvýšeniny nebo vytažením do výšky pomocí dlouhého lana a navijáku (na principu letu draku). Menší kluzáky většinou stačí vyhodit z ruky. Letovou výšku získávají ve vzestupných vzdušných proudech, které se tvoří buď nad svahem, proti kterému vane vítr nebo nad prohřátým zemským povrchem. Polohu v termických stoupavých proudech udržuje pilot kluzáku kroužením. To znamená, že kluzáky mají schopnost udržet nepřetržitý let jen využíváním vztlaku produkovaného větrem a termály. Na rozdíl od motorových bezpilotních systémů, kluzáky nepřicházejí s omezenou délkou letu. Za příznivých podmínek bude operátor schopen udržet bezpilotní kluzák ve vzduchu po celý den.

Konstrukce kluzáku se v mnoha směrech odlišuje od konstrukce motorových letounů. Kluzáky jsou relativně lehké a vyznačují se hlavně velkou štíhlostí křídel. Relativně nízké měrné zatížení nosné plochy a vysoká aerodynamická jemnost jim umožňuje efektivně využívat energie vzestupného proudění vzduchu pro získávání výšky, kterou pak klouzavým letem proměňují ve vzdálenost. [38] [39]

Balón

Horkovzdušný balón je bezmotorové letadlo lehčí než vzduch sestávající z textilní části naplněné horkým vzduchem, nazývané obal. Pod ní je zavěšena gondola nebo, v případě balónů s posádkou, proutěný koš nebo kapsule, který nese cestující a zdroj tepla. Ve většině případů je teplo vytvořené spalováním kapalného propanu. Zahřátý vzduch uvnitř obalu způsobuje vztlak, protože má nižší hustotu než chladnější vzduch mimo obal. Obal nemusí

být utěsněn na spodní části, protože vzduch uvnitř obalu je přibližně stejný jako tlak okolního vzduchu. Obal je vyroben ze speciální polyesterové či polyamidové (též nylonové) textilie, která je ve spodní části obalu v blízkosti hořáku nahrazena ohnivzdornou nomexovou textilií.

Ovládání bezpilotního horkovzdušného balónu je velmi jednoduché, protože stačí jen udržovat určitou teplotu plamene pod obalem. Čím nižší je okolní teplota, tím účinnější bude balón. Před startem stačí jen obal nafouknout ventilátorem. [33] [34] [35]

Existují i balóny naplněné plyny méně hustými nebo lehčími než vzduch (například héliem nebo vodíkem). Tyto balóny bývají vázány na lano, které zabraňuje tomu, aby balón vylétl moc vysoko do vzduchu a jsou ve spodní části uzavřené, aby se zabránilo úniku plynu. Balóny s těmito plyny mají větší vztlak na daný objem, takže nemusí být tak velké a mohou ve vzduchu zůstat mnohem déle než horkovzdušné balóny. Proto se tyto balóny používají hlavně ve vědeckých aplikacích. Na druhou stranu se nedají nijak ovládat. Ale existují systémy, díky kterým může balón vystoupat do velké výšky a po určité době se vrátit na zem. [40]

Vzducholod'

Vzducholod' je motorové letadlo lehčí než vzduch. Vzducholodě získávají vztlak z velkých vaků naplněných plynem, který má menší hustotu než okolní vzduch. U časných vzducholodí byl jako plyn používán hlavně vodík, protože byl snadno dostupný. kvůli jeho vysoké zvedací kapacitě a pohotovému dostupnosti. Hélium má téměř stejné vlastnosti a na rozdíl od vodíku není hořlavý, ale je vzácný a relativně drahý. Většina vzducholodí vyrobených od šedesátých let používá hélium, i když některé používali horký vzduch. Obal vzducholodí může tvořit jediný plynový vak nebo může obsahovat řadu vnitřních plynem naplněných buněk. Vzducholod' má také motory a případně také prostory pro užitečné zařízení, obvykle umístěné v jedné nebo více gondolách zavěšených pod obalem. Hlavní typy vzducholodí jsou neztužená, poloztužená a ztužená. Neztužená vzducholodí nemají pevnou kostru a spoléhají na vnitřní tlak v obalu, aby si udržely svůj tvar. Poloztužená vzducholodí udržují tvar obalu vnitřním tlakem, ale mají k němu připojenou nějakou formu podpůrné struktury, jako je pevný kýl. Ztužená vzducholodí mají vnější konstrukční strukturu, která udržuje tvar a nese veškerá strukturální zatížení, zatímco plyn je obsažen v jednom nebo více vnitřních plynových vacích nebo buňkách. Ztuženou vzducholodí poprvé létal hrabě

Zeppelin a převážná většina ztužených vzducholodí vyrobila firma, kterou založil. V důsledku toho se ztužené vzducholodi často nazývají zepelíny. [41] [42]

Bezpilotní vzducholodě bývají nejčastěji neztuženého typu. Vzducholodě plněné heliem se dají sehnat levně a jsou skvělým způsobem, jak si užít tichou, jednoduchou zábavu létáním s dálkově ovládaným bezpilotním systémem. Obecně lze říci, že bezpilotní vzducholodě jsou velmi snadno ovladatelné. Obvykle mají 2 nebo 3 malé elektrické motory připojené ke gondole pod obalem, které se točí kolem různých os pro řízení směru, výšky a rychlosti. Vyrábějí se v různých tvarech a velikostech a zřídka utrpí poškození nárazem. [42]

Výhody bezpilotních vzducholodí jsou jejich vysoká výdrž, nosnost a bezpečnost. Na druhou stranu jsou, oproti například bezpilotním multikoptérám nebo letounům, bezpilotní vzducholodě velmi pomalé. [45]

1.4 Trh bezpilotních systémů

V roce 2006 zaznamenal trh s bezpilotními systémy velký rozmach, kdy byl ve větším měřítku zahájen samostatný prodej. Od doby, kdy bylo možné, aby bezpilotní systémy mohly přijímat GPS signál, miniaturizovaly se řídicí desky, motory, zvýšila se kapacita baterií a začaly vznikat tzv. multirotorové systémy. Za posledních deset let bylo založeno několik desítek firem po celém světě, jejichž výroba se soustředila na bezpilotní systémy. Mnoho firem podnikajících v souvisejícím odvětví se rozhodlo přizpůsobit se své portfolio právě bezpilotním systémům a začaly vyrábět různé produkty jako třeba různé senzory, baterie, závěsné systémy, kamery, software, elektroniku, záchranné prvky atd. [3]

V dnešní době se zaostřuje hlavně na masový trh a výrobu bezpilotních systémů, které může používat každý, kdo se o to zajímá. Klade se důraz na natáčení videí a fotografování. Bezpilotní systémy určené pro tyto účely mají menší velikost a hmotnost, která je už od několika gramů. Dalším parametrem, na který je kladen důraz je jednoduchost ovládání – možnost ovládání přes chytrý telefon či tablet a odolnost materiálu. Poslední dobou se stává samozřejmostí, že každý rok největší výrobci představují na trhu více než jeden bezpilotní systém různých parametrů pro odlišné uživatele. Trendem poslední doby se staly malé bezpilotní systémy. Výrobci jsou tedy nuceni bezpilotní systémy neustále zmenšovat.

Poptávka po malých bezpilotních systémech je hlavně od uživatelů, kteří jsou bez jakýchkoliv zkušeností a využívají je v modelářství nebo k volnočasovému využití, nebo například závodům bezpilotních systémů. [3]

Protože jsou bezpilotní systémy úspěšné na trhu, je nutné, aby byla vytvořena pravidla pro používání a podpora pro uživatele. Vznikají různé, mezinárodní a lokální, asociace sdružující výrobce, provozovatele, organizace provádějící výzkum, zákazníky, i spousta výzkumných a zaškolovacích organizací. Bepilotním systémům se věnuje spousta periodik a odborných titulů. Pořádají se i konference, které poskytují řadu informací a podporu každému, kdo o toto téma jeví zájem. [3]

Bepilotní systémy nabízejí velkou tržní příležitost pro výrobce zařízení, investory a poskytovatele služeb. Adresovatelná tržní hodnota bezpilotních systémů je více než 127 miliard dolarů. Předpokládá se, že civilní infrastruktura bude ovládat adresovatelný trh bezpilotních systémů, s tržní hodnotou 45 miliard dolarů. Podle zprávy vydané sdružením Association for Unmanned Vehicle Systems se očekává více než 100 000 nových pracovních míst v oboru bezpilotních systémů do roku 2025. Globální tržní hodnota užitečného zatížení bezpilotních systémů by měla do roku 2027 dosáhnout až 3 miliard dolarů. Tento trh je dominován Severní Amerikou, následovaný Pacifickou Asií a Evropou. Business Intelligence očekává, že prodej bezpilotních systémů dosáhne v roce 2021 12 biliónů dolarů, což znamená roční růst 7,6 % z 8,5 biliónů dolarů z roku 2016. [21]

Všechny tyto statistiky ukazují ekonomický význam bezpilotních systémů a jejich aplikací v blízké budoucnosti pro výrobce zařízení, investory a poskytovatele různých služeb. Bepilotní systémy poskytují jedinečnou příležitost pro jejich výrobce využívat nové technologické trendy k překonání současných problémů aplikací bezpilotních systémů. Pro rozšíření služeb bezpilotních systémů na celém světě, je třeba úplný právní rámec a instituce, které by regulovaly komerční využití bezpilotních systémů. [21]

1.5 Výhody a nevýhody bezpilotních systémů

Bezpilotní systémy nemají dlouhou historii, ale, na druhou stranu, v posledních letech zažily rychlý technický pokrok a neustále se ve všech směrech vyvíjejí. Nejedná se jenom o použité konstrukce a veškeré vybavení, ale také o software. Ten byl za poslední pár let velmi zdokonalen, díky čemuž jsou dnes bezpilotní systémy mnohem bezpečnější, než byly v minulosti. Dbá se především na to, aby jejich provoz byl bezpečný jak pro zúčastněné osoby, tak hlavně pro nezúčastněné osoby a majetek na zemi. Použití bezpilotních systémů s sebou nese spoustu výhod, ale samozřejmě také nevýhod. Abychom mohli tato pro a proti objektivně posoudit, nabízí se srovnání například s pilotovanými letadly nebo leteckými modely, s jejich provozem nebo s možnostmi využití bezpilotních systémů k určitým účelům a jejich porovnání z dosud dostupných příbuzných metod. [3]

Výhody:

Výhody bezpilotních systémů plynou z jejich hlavních vlastností a předností, jako jsou malá velikost, jednoduché ovládání, velká dostupnost jak z hlediska prodeje, tak i jejich ceny, možnost využití nejrůznějších senzorů a vysoká flexibilita využívání bezpilotních systémů k nejrůznějším potřebám a účelům. [3]

Mezi hlavní výhody bezpilotních systémů oproti pilotovaným letadlům patří:

- Jednoduché ovládání
- Malá velikost a hmotnost
- Snadná manipulace a mobilita
- Velký výběr bezpilotních systémů na trhu
- Levnější provoz oproti využití pilotovaných letadel
- Vysoká flexibilita využití
- Možné použití (start a přistání) na špatně přístupných místech

- Přenos obrazu z bezpilotního systému na velkou vzdálenost v reálném čase
- Potenciální výhody při pořizování specifických dat ve spojení s různými senzory (snímací senzory se zmenšují a zlehčují a lze je adaptovat na bezpilotní systémy)
- Možnost využití v interiérech [3]

Jelikož se bezpilotní systémy pohybují rozměry od několika centimetrů do jednotek metrů, je možné je vložit téměř do každého automobilu a převézt bezpečně na lokalitu, kde je chceme používat. Stejně tak jsou dostupné malé speciální bezpilotní systémy, které lze využívat například při extrémních sportech nebo turistice, umístit je do batohu a přenést až na místo, které není dostupné automobilem a jinými prostředky. Z toho je patrná hlavní výhoda ve srovnání s klasickými pilotovanými letadly, nižší cena provozu a současně možnost rychlého nasazení v případě potřeby.

Většina bezpilotních systémů je na elektrický pohon, a spotřeba energie na jeden let se tedy pohybuje jen v několika korunách.

Dále je možné vzlétnout z velice malé plochy a u některých druhů bezpilotních systémů i přistát kolmo. Nejsou tedy nutné vyhrazené prostory ke vzletu nebo přistání. Samotný vzlet bezpilotního systému trvá pouze několik sekund a příprava na vzlet je v řádech několika minut.

Postupem času všechny fotoaparáty, videokamery a další speciální senzory zmenšují a snižuje se jejich váha, což přidává možnost využívat takové senzory pro bezpilotní systémy. Nyní se vyrábí speciální řady senzorů určených přímo pro bezpilotní systémy, které nemusí být vůbec omezeny pouze na obrazový záznam, ale mohou zachycovat například znečištění vzduchu nebo měřit radiaci.

Jelikož senzory, které podporují záznam a přenos videa (což je každý fotoaparát a videokamera), mohou v reálném čase vysílat přes bezpilotní systém obraz do monitoru s přijímačem signálu, lze bezpilotní systémy velice efektivně využívat při leteckém monitorování lokalit nebezpečných jak pro pilotovaná letadla, tak pro pozemní pohyb. Mohou být takto využity při přírodních katastrofách a jiných incidentech, kde není zaručena

bezpečnost lidem, a přitom je potřeba získat co nejdříve přehled o situaci v těchto místech a přijmout příslušná opatření s ohledem na reálnou situaci. Sám pilot a všichni zúčastnění letu jsou nohama na zemi, tudíž i bezpečnost pilota je v případě ovládní bezpilotního systému zaručena.

Výhodou je samozřejmě rostoucí počet druhů různých bezpilotních systémů a dostupnost těchto komerčních bezpilotních systémů různých velikostí a specifikací, která se v průběhu posledních let výrazně změnila. [3]

Nevýhody:

Jelikož jsou komerční bezpilotní systémy na trhu poměrně krátkou dobu, jejich technologie se neustále vyvíjí a zlepšují se jejich parametry, tudíž je patrná snaha případné nevýhody neustále snižovat. [3]

Mezi hlavní nevýhody, oproti pilotovaným letadlům, patří:

- Kratší dolet
- Kratší letový čas
- Nižší nosnost
- Nejednotná mezinárodní legislativa (pravidla jsou každé zemi jiná, a to, prozatím, i v rámci EU) [3]

Bezpilotní systémy samozřejmě nemohou konkurovat pilotovaným letadlům v ulétnutých vzdálenostech a výdržích ve vzduchu. Existují sice výjimky, kdy bezpilotní systémy dokáží monitorovat území třeba i 24 hodin, ale zde se jedná hlavně o armádní bezpilotní systémy se spalovacími motory. I když, v dnešní době se vyvíjí bezpilotní systémy, které by mohly vydržet ve vzduchu třeba až čtvrt roku a pohybovat se ve výšce 18-24 km nad zemí a šířit například internetové připojení.

Další oblastí je různorodá legislativa pro využívání bezpilotních systémů (například k jejich komerčnímu využívání) a je tedy nutné se vždy seznámit dopředu s legislativou daného státu, kde plánujeme s bezpilotním systémem létat.

Největším omezením v současnosti je, že bezpilotní systémy nemusí mít tzv. odpovídače (systém, který mají všechna pilotovaná letadla), které by identifikovaly přesnou polohu bezpilotních systému v letovém prostoru pro řízení letového provozu, a nejsou tak dostatečně viditelné a mohou být potenciální rizikem pro pilotovaná letadla. [3]

Dále spousta komerčních bezpilotních systémů nemá důslednou certifikaci celého systému a atestaci v nejrůznějších podmínkách, která v letectví hraje velkou roli a je podmínkou provozu klasických pilotovaných letadel. Na některé bezpilotní systémy je tedy pohlíženo z oblasti letectví jako na technologie, které nesplňují všechny podmínky k bezpečnému sdílení vzdušného prostoru.

Dokud nebudou tyto bariéry odstraněny, budou vždy existovat striktní pravidla, v jakých letových hladinách se smějí tyto systémy pohybovat, že musí být jejich provoz ve vizuálním dohledu pilota a podobně, ačkoliv samotná technologie umožňuje létat mimo vizuální dosah, létat automaticky dle letového plánu nebo i autonomně.

Při zvýšené bezpečnosti provozu bezpilotních systémů a jejich jednoduché identifikaci v letovém provozu bude v budoucnu odstraněna spousta dnešních bariér jejich komerčního provozu. [3]

1.6 Možnosti využití

Možnosti využití bezpilotních systémů v oblastech, kde má jejich nasazení význam se neustále zvětšuje. Armáda začala používat bezpilotní systémy jako první, ale ve chvíli, kdy se tyto technologie dostali i na civilní trh nastal rychlý vývoj. To, co nedávno zvládly pouze helikoptéry s velkou kamerou, dnes zvládne téměř každý při investici do kvalitního bezpilotního systému. Mezi nejčastější využití v komerční sféře patří letecké snímkování,

ať už pro pořizování fotografií nebo tvorbu videí. Téměř každý bezpilotní systém, které se dnes dá koupit, může být vybaven kamerou. Fotografie pořízené ze vzduchu se nejčastěji používají pro marketingové účely, ale stále více se používají také v leteckém monitoringu, jako jsou výškové inspekce, geodetické nebo kartografické účely. Při pořizování fotografií a videí pro marketingové účely se zákazníkům líbí, že mohou přesně navést pilota do konkrétních míst, ze kterých bude vytvořen nejlepší snímek. Zatímco profesionálové mohou využívat skutečnosti, že mohou bezpilotní systém používat dva operátoři, pilot a kameraman, což je dobré jak z hlediska bezpečnosti, tak i z hlediska co nejlepší kvality záznamu. Bepilotní systémy se dále dají využívat pro transport, ale také krizové situace. Bepilotní systémy pomalu nahrazují pilotovaná letadla a helikoptéry, které se pro tyto práce používají. Mimo jiné, také mohou nahrazovat práci, kterou dříve vykonávali horolezci. Bepilotní systémy se poslední dobou začaly využívat pro různé živé přenosy, jako jsou různé sportovní akce. V televizi si každý den můžeme všimnout záběrů z bezpilotních systémů v reklamách, upoutávkách, reportážích i videoklipech. Oproti fotografiím z pilotovaných letadel jde o obrovskou úsporu financí. [3]

Při geodetickém a kartografickém využití bezpilotních prostředků hovoříme hlavně o 3D modelech, prostorových analýzách, vrstevnicových a výškových modelech. Při krizových situacích se využívají bezpilotní systémy k vyhledávání pohřešovaných osob za pomoci termokamery a mapování škod ihned po vzniku události. Na některých místech se už používají malé bezpilotní systémy osazené defibrilátorem, které se dostanou na místo nehody rychleji než samotní záchranáři a mohou i zachránit život. Různé přepravní společnosti ve světě už začaly používat bezpilotní systémy pro doručování zásilek, ale mají problémy s úřady, které nechtějí povolit provoz v hustě osídlených oblastech, kvůli bezpečnosti. Do budoucna se počítá s vytvořením leteckých koridorů a s vybavením, které se dokáže samo vyhnout překážkám, takové vybavení sice již existuje, ale zatím nedokáže zajistit stoprocentní bezpečnost. V České republice je takový provoz zakázán, proto v blízké budoucnosti můžeme očekávat rozvoj hlavně v interiérech a uzavřených prostorech, na které se tyto legislativní omezení nevztahují. [3]

1.7 Použití bezpilotních systémů v reálném prostředí

Největší vliv na výkon bezpilotních systémů mají tyto meteorologické podmínky: teplota vzduchu, atmosférické srážky, relativní vlhkost vzduchu a síla větru. V této kapitole vypíšu, proč a jak tyto podmínky bezpilotním systémům škodí. [3]

Prvním problémem je teplota, baterie jsou velmi citlivé na teploty pod bodem mrazu, kdy jejich kapacita velmi prudce klesá. Zároveň teplota působí na motory a regulátory, které se při chodu zahřívají. Při nižších teplotách pracují efektivněji a nehrozí přehřátí a tím jejich poškození. Proto je nutné mít na bezpilotním systému ochrany, které udrží systém v těchto teplotních mezích. Ochrana proti mrazu je možná pomocí kapotáže, která je ale náročná na výrobu a zvyšuje hmotnost bezpilotního systému a zároveň tak snižuje jeho výkon. Je nutné si tedy určit priority. Naopak ochrana proti přehřátí je zabudovaná přímo uvnitř bezpilotního systému a to tak, že proudění okolního vzduchu jej ochlazuje a regulátor při teplotě kolem 100°C začne omezovat svůj výkon, aby se nepoškodil. [11]

Dalším problémem jsou srážky, vodní kapky mohou zkratovat přítomnou elektroniku nebo způsobit korozi různých částí. Déšť provoz bezpilotního systému omezuje hned z několika důvodů, může být snížena viditelnost, což zhoršuje ovladatelnost, ale i znehodnocuje fotografie či zkresluje měřená data. Proti dešti se lze bránit opět kapotáží, ale snížené viditelnosti se nevyhneme. [12] [13]

Relativní vlhkost vzduchu funguje podobně jako srážky. Hrozí, že bude kondenzovat na částech bezpilotního systému, a tím může opět poškodit elektroniku nebo způsobit korozi. Navíc při vysoké relativní vlhkosti se často tvoří mlhy, ve kterých je podle leteckých předpisů létání zakázáno z důvodu bezpečnosti. Při tvorbě mlhy okolo bodu mrazu hrozí namrzání vrtulí a jiných nosných ploch, tím se výrazně zhoršují aerodynamické parametry zařízení, klesá vztlak a hrozí pád. [11] [12]

Čím více má bezpilotní systém motorů a rezerv výkonu, tím je stroj stabilnější a dokáže lépe odolávat poryvům větru. Zde je však zapotřebí umět předvídat a posoudit sílu větru, kterou bezpilotní systém ještě dokáže vyrovnat. [13]

Navíc, některé částice jako je prach ohrožují bezpilotní systémy. Vířený prach se snadno dostává do elektroniky. Ta se pak hůře ochlazuje a může ovlivňovat i měřicí systémy. Proto je důležité stroj pečlivě kontrolovat a čistit. [3]

2. Komponenty bezpilotních systémů

Pilotovaná letadla a bezpilotní systémy stejného typu mají všeobecně rozpoznatelné fyzické znaky. Mezi hlavní výjimky patří kokpit, klimatizační soustava a systémy podpory života. Některé bezpilotní systémy nosí užitečná zařízení (například kameru), která váží podstatně méně než dospělý člověk, a v důsledku toho mohou být podstatně menší. Vojenské bezpilotní systémy jsou lehčí než pilotovaná letadla s posádkou se srovnatelnou výzbrojí, i přesto, že nesou těžká zařízení.

Malé civilní bezpilotní systémy nemívají žádné životně důležité systémy, a proto mohou být vyrobeny z lehčích, ale méně pevných materiálů a mohou používat méně robustně testované elektronické řídicí systémy. Mezi konstrukční typy malých bezpilotních systémů se staly oblíbené multikoptéry, ačkoli se toto uspořádání zřídka používá pro pilotovaná letadla s posádkou. Díky miniaturizaci mohou být použity méně výkonné pohonné jednotky, jaké nejsou pro pilotovaná letadla s posádkou možné, jako jsou malé elektromotory.

Řídicí systémy pro bezpilotní systémy jsou odlišné od pilotovaných letadel. Bzpilotní systémy jsou vždy řízené dálkově. Rádiově vysílané příkazy nahrazují fyzické ovládací prvky kokpitu. Autopilotový software je používán jak na pilotovaných letadlech, tak i v bezpilotních systémech, ale s různými sadami funkcí. [6]

V této kapitole bych chtěl popsat různé komponenty, které se v bezpilotních systémech nacházejí a k čemu slouží.

2.1 Konstrukce

Hlavní rozdíl u bezpilotních systémů je absence kokpitu a jeho oken. Pro bezpilotní systémy, s rotujícími nosnými plochami, jsou běžné multikoptéry bez ocasního rotoru, zatímco koptéry s jedním nebo dvěma rotory jsou společné jak pro bezpilotní systémy, tak pro pilotovaná letadla.

Základní část konstrukce bezpilotního systému je rám, na němž je zbytek konstrukce postaven. Rám drží motory a různé další zařízení bezpilotního systému tak, aby udržovaly stabilitu během letu a udržovaly bezpilotní systém vyvážený. Existuje několik typů rámců, které definují bezpilotní systémy. [6]

2.1.1 Užitečné zatížení

Stručně řečeno, užitečné zatížení je hmotnost užitečných zařízení, které bezpilotní systém nosí. Bepilotní systémy obvykle vyžadují k plnění určitých úkolů různá užitečná zařízení. Tyto zařízení mohou sloužit například ke sledování, dodávce zbraní, průzkumu nebo k doručení nákladu. Bepilotní systémy jsou navrhovány tak, aby byly schopné vykonávat funkci, pro kterou byly navrženy a při navrhování se klade velký důraz na velikost a hmotnost zařízení, které bude bezpilotní systém nosit, a na jejich rychlou a snadnou výměnu při poruše. Nejčastěji bývají systémy navrhovány s maximální hmotností užitečného zatížení na méně než 2 kg. Nejvyužívanější zařízení bývají kamery, infракamery, laserová zařízení, která slouží k měření vzdálenosti k cíli a jiné senzory. [47]

2.1.2 Způsoby vypouštění

Způsob vypouštění bezpilotních systémů do vzduchu je jedním z nejnáročnějších aspektů v jejich provozu. Na druhou stranu existují bezpilotní systémy, které nepotřebují žádné komplikované postupy nebo podpůrné prostředky pro vzlet. Pro větší bezpilotní letouny je nutné zajistit potřebnou délku startovací dráhy nebo zařízení, která jim umožní odstartovat. Například katapulty pracují na principu dostat bezpilotní systém na cestovní rychlost na velmi krátké vzdálenosti. Mezi způsoby přistání patří například přistání na dráhu, zachycení do sítě nebo zachycení do speciálních háků. Malé bezpilotní systémy nebývají takto náročné, co se týká komplikovaných postupů a zařízení. Některé typy bezpilotních systémů, zejména malé letouny, mohou být vypuštěny z ruky a přistávají pomocí padáků. Pro většinu stačí pouze vhodná startovací a přistávací plocha. Některé bezpilotní systémy, hlavně bezpilotní systému typu multikoptéra a vrtulník, mohou vzlétat i přistávat přímo kolmo ze země. [3]

2.1.3 Materiály

U levnějších modelů bezpilotních systémů je hlavním požadavkem nízká cena, což se projeví na křehkosti materiálu a nízké odolnosti, vyrábějí se třeba lisováním z plastů, které jsou poměrně křehké. Na trup dražších modelů se používají odolnější materiály, hlavně lehké slitiny – dural, karbon, laminát, kvalitní překližka nebo sendvičové vrstvené materiály. Dnes je již možné vyrobit si díly i 3D tiskem. [4] [5]

Nejčastěji se používají tyto materiály:

- Dural – slitina hliníku, nenáročné technologické obrábění
- Překližka – deska vyrobená ze tří nebo více vrstev dřeva, pro pokusné konstrukce, opracovatelná
- Karbon – kombinace uhlíku a minerální pryskyřice, je lehký, pevný, křehký a stíní elektromagnetické vlnění, ale drahý
- Laminát – skládá se ze skleněných vláken a epoxidové nebo polyesterové pryskyřice, je odolný vůči klimatickým podmínkám, celkem levný a snadno dostupný
- Sendviče – vrstvené materiály, vnější vrstvy jsou pevné a tuhé, vnitřní jsou méně pevné, nejčastější kombinace při výrobě bezpilotních systémů je laminát – pěnový polystyrén – laminát
- Plast – horší vlastnosti než ostatní materiály, ale je levný, možnost „vytisknout“ na 3D tiskárně [4] [5]

2.2 Pohon

Propulsní systémy neboli pohonné jednotky letadel slouží k vyvození tahu, který je v letectví nejčastěji využívanou silou k překonání odporové síly, a tím umožnění rovnoměrného letu. Každý takový systém musí obsahovat část, která mu dodává potřebnou energii a část, jež tuto energii využije k urychlení, tedy k přeměně na tahovou sílu. V závislosti na této transformaci je pohon letadel rozdělen následovně:

- Vrtulový – tah vzniká urychlením proudu tekutiny (u letadel vzduchu), který protéká vrtulí. Jedná se o malé urychlení velké hmotnosti tekutiny.
- Proudový – tah je vytvářen urychlením proudu tekutiny, která prochází motorem. Jde o velké urychlení poměrně malých hmotností tekutiny.
- Raketový – tah vzniká urychlením pohonné látky, která se nachází uvnitř konstrukce. Pohonná látka je urychlena na vysoké rychlosti. [22]

Ústřední částí pohonných jednotek je motor. Ten dodává propulsní soustavě požadovanou mechanickou energii. Tato energie je nejčastěji získávána transformací tepelné energie, i když například elektrické pohony tvoří výjimku. [22]

Většina bezpilotních systémů používá právě elektrické pohony, neboť je zapotřebí méně práce pro let a elektromotory jsou tišší. Při správném navržení pohonu se může bezpilotní systém, díky poměru tahu k hmotnosti, vznášet nebo stoupat vertikálně.

Důležitým hlediskem, podle kterého se dají bezpilotní systémy rozdělit, z pohledu pohonu, je tedy druh pohonné jednotky. Pohonné systémy bezpilotních systémů, mohou být buď bezmotorové, elektromotorové, se spalovacím motorem nebo s proudovým motorem. [43]

2.2.1 Bezmotorové systémy

Bezmotorové bezpilotní systémy jsou nejjednodušší bezpilotní systémy, které lze využít k nesení snímací techniky. Balón se k pořizování snímků z výšky používal jako první. Drak přišel asi 30 let po něm a oproti balónu a vzducholodi je výhodnější v tom, že na jeho let je potřeba takřka nulová finanční částka. Balón i vzducholodě se musí plnit směsí lehčí než vzduch (horký vzduch, hélium, vodík). Drak potřebuje k pohybu jen vítr. Tím se také zásadně liší od balónu a vzducholodi, které lze použít pouze při minimálním větru, nejlépe bezvětří. Posledním typem bezmotorových bezpilotních systémů je kluzák. To je bezmotorový bezpilotní systém s velkým rozpětím křídel. Oproti některým z výše uvedených modelů není pevně spojen se zemí pomocí lana, ale ovládá se kormidly prostřednictvím dálkového ovládání. Kluzák tak díky absenci lana dokáže zmapovat větší území. [15]

Všechny bezmotorové systémy mají své výhody a nevýhody. Mezi výhody bezmotorových systémů patří především nízká cena. Jedná se o nejlevnější bezpilotní systémy, jaké existují. Je to v první řadě kvůli absenci motoru a s tím související absenci další pomocné elektroniky a řídicí jednotky. Zároveň je tak zajištěna nízká hlučnost a poměrně velká výdrž. Hlavní nevýhodou bezmotorových bezpilotních systémů je jejich značná neovladatelnost (s výjimkou kluzáku) a kvůli spojení se zemí, u některých druhů, malý rozsah pohybu. S tím souvisí také absolutní závislost na větru. Všechny bezpilotní systémy jsou závislé na povětrnostních podmínkách, avšak bezmotorové rozhodně nejvíce. [15]

2.2.2 Elektromotorové systémy

Tento typ bezpilotních systémů rozhodně patří k nejčastěji používaným. Zároveň jde i o nejrychleji se rozvíjející odvětví. Především v civilní oblasti se prudce rozšiřují multirotorové systémy. Najdeme je jak na vědeckém poli působnosti, tak i v oblasti médií nebo mezi jednotlivci jako prostředek zábavy. Vzniká spousta propagačních videí, obsahujících záběry natočené z výšky prostřednictvím bezpilotních systémů, což posouvá jejich hodnotu na pomyslném žebříčku kvality či prestiže. [48] [50]

Elektromotorové bezpilotní systémy využívají k pohonu stejnosměrný elektromotor. Kromě multirotorových konfigurací sem řadíme i vzducholodě, letouny a vrtulníky. Letadel s pevným (fixním) křídlem existuje celá řada a jednotlivé typy se liší například v konstrukci, počtu motorů a křidel a typu materiálů. Malé bezpilotní systémy s elektromotorem, minikamerou a manuálním ovládním jsou nejdostupnější motorové bezpilotní systémy na trhu. Dalším typem bezpilotních systémů spadajících do této kategorie jsou vrtulníky a koaxiální vrtulníky. Klasický vrtulník má jeden rotor, koaxiální má dva rotory, otáčející se proti sobě, což umožňuje daleko přesnější ovládní, ale zase znemožňuje provádění akrobatických prvků. [48] [50]

Malé bezpilotní systémy s elektromotorem většinou používají lithium-polymerové baterie (Li-Pol). Lithium-polymerové akumulátory jsou nástupní podoba Li-Ion akumulátorů, které jsou známé například z mobilních telefonů, fotoaparátů, notebooků a podobně. Li-Pol baterie se liší od ostatních akumulátorů druhem elektrolytu v podobě gelu, který umožňuje výměnu iontů. Baterie jsou složeny z jednoho a více článků v sériovém, popř. sérioparalelním zapojení. V porovnání Li-Pol baterií s bateriemi NiCd (nikl-kadmiové) mají Li-Pol baterie výrazně nižší hmotnost. Nevýhodou je ale jejich nižší životnost. Každým nabíjecím a vybíjecím cyklem

dochází ke ztrátě kapacity. Průměrný počet cyklů je závislý na proudové zátěži a teplotě, kterým je baterie vystavována. [44] [50]

2.2.3 Motorové systémy (spalovací motor)

Tyto systémy byly jako první využity pro fotogrammetrii v roce 1979 a let provedli Przybilla a Wester-Ebbinghaus. Do této kategorie spadá hlavně vzducholod', vrtulník a letoun s fixním křídlem. Systémy se spalovacím motorem fungují podobně jako elektromotorové systémy. Hlavní výhoda spalovacího motoru je jeho výrazně vyšší nosnost. Díky tomu unese mnohem více zařízení, jako jsou třeba senzory. To platí především u snímacích zařízení, která, když jsou větší, mívají větší objektiv a pořizují kvalitnější snímky. Podobně jako elektromotorové systémy se i tyto ovládají dobře a není problém vybavit je tak, aby disponovaly funkcí automatického letu. Další výhodou je obvykle i větší výdrž, která je závislá na objemu a hmotnosti nádrže. Pokud je nádrž vyčerpaná, stačí na krátkou chvíli přistát, doplnit palivo a bezpilotní systém může okamžitě znovu odletět. To je podstatně rychlejší než u elektromotorových bezpilotních systémů.

Co se týče nevýhod spalovacích motorů u bezpilotních systémů, je to především vyšší hluk, náročnější údržba a pokud přihlídneme na ekologické hledisko, je jasné, že bezpilotní systémy se spalovacím motorem znečišťují ovzduší. Obecně je pořízení těchto bezpilotních systémů i finančně náročnější. [15] [22] [43]

2.2.4 Raketové motory

Raketový motor je typ tepelného motoru, který pracuje na principu akce a reakce. Na rozdíl od ostatních zmiňovaných motorů není závislý na kyslíku, a tak je schopen se pohybovat mimo atmosféru. Raketový pohon vytváří tah chemickou reakcí, která generuje extrémní gradienty tlaku a vysokorychlostní částice, které opouštějí trysku. Výsledná výměna hybnosti poskytuje po určitou dobu impuls, který zrychluje prostředek. Bepilotní systémy s raketovým motorem jsou velmi neefektivní při nízkých rychlostech, kvůli jejich vysoké a obvykle neměnné rychlosti spalin, které opouštějí trysku. To znamená, že raketové motory se používají hlavně v případech, kdy je potřeba velmi vysoká rychlost a zřídka se používají ve všeobecném letectví. [48] [49]

Raketové pohony se ve většině případů používají v aplikacích, ve kterých se neočekává návrat prostředku po vypuštění. Ale pro bezpilotní systémy se raketový pohon používá hlavně jako asistence při vzletu. Raketové motory také spalují, oproti jiným typům pohonů, mnohem větší množství paliva. Navíc mají velmi komplexní a drahý systém řízení. Raketové motory se tedy v bezpilotních systémech vidí velmi zřídka. [48]

2.3 Software systému

Software je mozkiem bezpilotního systému. Bezpečně vede bezpilotní systém na jeho cestě a poskytuje informace operátorovi. Je navržen tak, aby říkal systému, kam letět a co dělat při letu z místa A do B. Kvůli všem informacím, které musí software zaznamenávat a propojovat, se softwarová část stává velmi složitým systémem. Software nainstalovaný v systému pracuje v systémových vrstvách. Tyto vrstvy pracují v různých časových úsecích a musí být správně kombinovány tak, aby software dokázal zpracovávat model letu, nadmořskou výšku a další důležité informace pro systém takovým způsobem, aby byl bezpilotní systém schopen správně pracovat a jednat přesně tak, aby přijaté informace mohly být během letu analyzovány. Tato kombinace vrstev se nazývá autopilot. Pro dosažení jednotné komunikace komponentů musí být navržena a podporována správná architektura systému. [6] [7]

Když samotný palubní systém nestačí, je nutný externí middleware a operační systém. Požadavky na firmware a middleware jsou časově kritické a požadavky operačního systému jsou náročné na počítač.

Softwarové vrstvy jsou:

- Firmware
- Middleware
- Operační systém

Firmware pracuje od strojního kódu až po procesor a poté až do paměti.

Middleware provádí řízení letu, navigaci a telekomunikace.

Operační systém monitoruje optický tok, sleduje překážky a vyhledává řešení a rozhoduje o nejlepší akci podle přijatých informací. [6] [7]

2.3.1 Failsafe systém

Několik proměnných může ovlivnit zkušenosti s létáním bezpilotního systému. I kdyby byl bezpilotní systém sebevíc dokonalý, není vyloučena možnost poruchy. Poruchy mohou být buď mechanické, nebo elektronické, i když mechanické části se většinou dají zkontrolovat vizuálně. Navíc je možné ztratit kontrolu nad bezpilotním systémem po výletu z dosahu řízení, nebo je možné se setkat s různým rádiovým rušením, které narušuje komunikaci mezi vysílačem a bezpilotním systémem. Neočekávané srážky nebo nepříznivé počasí může způsobit let nebezpečný. A při poruše baterie nebo při nesprávném kontrole stavu nabití baterie může dojít k havárii.

Existují různé systémy pro případy ztráty signálu, které zabrání tomu, aby bezpilotní systém okamžitě spadl. Jsou systémy, které, když dojde k poruše na bezpilotním systému, nastaví vše tak, aby se vrtule nezastavila a stroj nezačal padat. Díky GPS mohou bezpilotní systémy stanovit údaje o poloze a odkazovat se na tato data během letu. Díky tomu může mít bezpilotní systém i systémy, které si pamatují, kde bezpilotní systém vzlétl a kde je teď a snaží se bezpilotní systém odnavigovat zpět v okamžiku, kdy zaznamená ztrátu signálu. Pro využití této funkce je nutné se ujistit, že má bezpilotní systém nastavené místo, ze kterého vzlétl.

I přesto, že bezpilotní systémy obsahují korekční a samotestující se programy, nic není bohužel dokonalé a v případě chyby u dražších a těžších modelů je doporučeno vybavit bezpilotní systém padákem. Padáky váží několik málo gramů, přičemž nosnost bezpilotních systémů může být až desítky kilogramů, a navíc se dají použít opakovaně. Vypuštění padáku lze nastavit automaticky, nebo může být vystřelen operátorem. [3]

2.4 Ovládání

Většina bezpilotních systémů používá přijímač na rádiové vysílání a letový počítač, který ovládá avioniku pro ovládání systému. Letový počítač může být schopen autonomního nebo automatického provozu.

Rádiové vysílání umožňuje dálkové ovládání a výměnu videa a dalších dat. Včasné bezpilotní systémy měly pouze odchozí spojení. Příchozí spojení (například video v reálném čase) přišlo později.

V civilních aplikacích jsou většiny přenosů příkazy od operátora k bezpilotnímu systému. Příchozí spojení je hlavně video. Telemetrie, která je dalším druhem příchozího spojení, přenáší stav o letadlových systémech ke vzdálenému operátorovi. Bepilotní systémy mohou také používat satelitní přijímače jako součást satelitních navigačních systémů. [6]

Rádiový signál ze strany operátora může být vysílán těmito způsoby:

- Pozemní řízení - člověk, který provozuje rádiový vysílač / přijímač, smartphone, tablet, počítač nebo i vojenskou pozemní řídicí stanici (GCS). V poslední době byla také prokázána možnost ovládání z nositelných zařízení, rozpoznávajících lidský pohyb nebo lidské mozkové vlny.
- Vzdálený síťový systém, například satelitní datový přenos pro některé vojenské síly. Dálkové přijímání digitálního videa, z bezpilotního systému, prostřednictvím mobilních sítí také vstoupilo na spotřebitelské trhy a bylo prokázáno, že přímé ovládání bezpilotních systémů přes celulární sítě a LTE je možné a zatím se testuje.
- Jiné letadlo, sloužící jako přenosová stanice, nebo mobilní řídicí stanice – využívané například při vojenském manévrovém boji, ve kterém jsou ovládané společně lidské a robotické bojové jednotky neboli Manned-Unmanned Teaming (MUM-T). Ovšem tento způsob je používán jen vojenskými silami a pro civilisty je zakázán. [6]

2.4.1 Datové a komunikační spoje

Komunikace je nezbytnou součástí systému, protože jsou jediným spojem mezi zemí a bezpilotním systémem. Umožňuje bezpilotnímu systému komunikovat s řídicí stanicí a také řídit celý systém. U většiny civilních bezpilotních systémů je komunikace, pokud vyloučíme komunikaci přes GPS, zprostředkovávána hlavně pomocí KV (krátké vlny) nebo VKV (velmi krátké vlny) signálu. Komunikace je obousměrná. Příchozí spojení je nezbytné pro přenos dat zaznamenaných užitečnými zařízeními, protože palubní úložiště je velmi omezené prostorovým a hmotnostním omezením. Odchozí spojení umožňuje ovládat bezpilotní systém. Řídicí systém je používán pro vedení bezpilotního systému na indikované dráze na základě instrukcí od pozemního operátora. Aby bezpilotní systém určil svou polohu, potřebuje řadu komponentů jako jsou senzory. Například magnetometr měří směr, výškoměr měří výšku, inerciální jednotka měří pohyby bezpilotního systému apod. Servopohony dostávají příkazy z hlavní desky a pohybují ovládacími plochami. Řídicí systém také řídí hardware / software užitečného zařízení. [19]

Údržba komunikačního systému má v operacích bezpilotních systémů zásadní význam. Bez schopnosti komunikovat bezpilotní systém ztrácí širokou škálu schopností. Ztráta komunikace během provozu může být důsledkem:

- selhání celého systému nebo jeho části z důvodu nedostatečné spolehlivosti
- ztráta přímé viditelnosti (LOS) v důsledku blokování signálu překážkami
- oslabení přijatého signálu v důsledku velké vzdálenosti od bezpilotního systému k řídicí stanici
- úmyslné nebo neúmyslné rušení signálu

Komunikace mezi řídicí stanicí a bezpilotním systémem může být dosažena třemi různými médii: rádiem, laserovým paprskem nebo případně i optickými vlákny. Všechny jsou schopny odesílat data adekvátně, spolehlivě a bezpečně. Všechny média byla pokoušena, ale nejvíce se používá komunikace přes rádiové vlny.

Metoda komunikace laserem byla prakticky opuštěna, hlavně kvůli absorpci atmosféry, která omezuje dosah signálu a snižuje spolehlivost.

Přenos dat pomocí optických vláken je i nadále možností pro speciální role, které vyžadují nízkou výšku letu, vysokou přenosovou rychlost a vysokou bezpečnost vůči detekci a zachycení dat. Taková role může být například detekce a měření jaderné, biologické nebo chemické kontaminace.

V současné době je nejpoužívanější způsob komunikace mezi bezpilotním systémem a operátorem přenos přes rádiové vlny jediným, ať už přímo, přes satelity nebo jiné prostředky rádiového relé.

Z bezpilotního systému do řídicí stanice je nutné přenášet velké množství dat, zejména z některých obrazových snímačů, jako je kamera. Pouze vyšší rádiové frekvence jsou schopny přenášet velké množství dat, ale bohužel signály o těchto frekvencích potřebují přímou nepřerušovanou viditelnost mezi vysílací a přijímací anténou. Existuje tedy kompromis při výběru provozní frekvence. Nižší frekvence nabízí lepší a spolehlivější šíření signálu, ale dokáží přenášet menší množství dat. Zatímco vyšší frekvence nabízejí schopnost přenášet větší množství dat, ale vyžadují stálou přímou viditelnost mezi řídicí stanicí a bezpilotním systémem a obecně vyšší výkon pro šíření signálu.

UKV (ultra krátké vlny) signály frekvence v rozmezí 1-3 GHz jsou ve většině případů žádoucí kompromis, ale díky zvýšené požadavkům domácích služeb, jako je televizní vysílání, se někdy používají větší frekvence až po 5 GHz a výše. [19]

Bezpilotní systémy a jejich telekomunikační zařízení obsahují rádiová zařízení, která musí splňovat určité požadavky. Předpisy o bezdrátových zařízeních a jejich používání se v jednotlivých zemích liší a je možné, že zařízení prodávaná v zahraničí mohou v České republice například způsobovat rušení. Pokud jsou frekvence a výkon zařízení správné, zařízení by neměla interferovat s jinými rádiovými zařízeními. Nejčastěji používané frekvence pro ovládání bezpilotních systémů jsou okolo 2,4 GHz a 5,8 GHz. [23]

2.4.2 Satelitní navigace

V dnešní době se bezpilotní systémy neobejdou bez globálního polohovacího systému, který určí s chybou několika metrů přesnou polohu bezpilotního systému. Bepilotní systémy používají satelitní navigaci GPS nebo GLONASS, případně mohou kombinovat data z obou a zvyšovat přesnost navigace. Bepilotní systémy používají satelitní navigaci spolu s IMU, což je inerciální jednotka a díky tomu dokážou udržet svou pozici s odchylkou v řádu centimetrů. Některé bezpilotní systémy nepoužívají přijímač pouze pro určení polohy, ale může být také využit pro plánování automatického letu pomocí souřadnic. Tuto možnost nemá každý bezpilotní systém, záleží na konkrétním výrobcu, případně je možnost dokoupit ho samostatně. V softwaru si lze nastavit konkrétní trasu, podle které bezpilotní systém poletí. Trasa se dá naplánovat v počítači a do bezpilotního systému nahrát bezdrátově, případně přes paměťovou kartu. Po nahrání letového plánu může být na ovladači aktivován automatický let. Většinou pro ukončení automatického letu stačí přepnout do manuálního módu jedním tlačítkem. Tato funkce je velice užitečná při použití například v letových koridorech. [3]

2.4.3 Autonomie

Bepilotní systémy byly původně považovány za řešení pro provádění nebezpečných, nudných a špinavých činností. První generace těchto systémů byla navržena s poměrně omezenými schopnostmi, které ovlivnily jejich flexibilitu a v určité provozní situaci i jejich účinnost. Fyzická vzdálenost mezi lidským operátorem, který má odpovědnost za provedení určité činnosti, a bezpilotní systémem, který tuto činnost provádí, představuje některé potenciální nedostatky v systému. Komunikační linka, která zajišťuje kontrolu bezpilotního systému, má určitou latenci, která může operátorovi znemožnit efektivní poskytování zpětné vazby, navíc může šířka pásma datového přenosu omezit rozsah, v jakém mohou být údaje a shromážděné informace dostupné operátorovi pro analýzu. Komunikační linka je také náchylná k úmyslnému nebo neúmyslnému rušení, které může omezit její dostupnost v kritických fázích mise. Navíc významný počet událostí týkajících se nehod provozování bezpilotních systémů je způsoben chybami operátora. Za účelem překonání těchto potenciálních nedostatků byl mezi možnými řešeními identifikován vývoj autonomie bezpilotních systémů jako možný způsob. [20]

Autonomie kompenzuje případné přerušení řídicího spojení a umožňuje bezpilotnímu systému určité autonomní chování, které může operátor předvídat a zůstat přitom konečným orgánem v systému.

Autonomie umožňuje snížit četnost, s jakou musí operátoři komunikovat s bezpilotním systémem, což podporuje implementaci robustnějších systémových řešení, ve kterých je úkolem operátora dohlížet na bezpilotní systém a řídit funkce systému bez přímé interakce. Tento přístup má vliv na snížení lidských chyb, což umožní operátorům soustředit se na klíčové úkoly a události charakterizující misi. Schopnost bezpilotního systému provádět některé úkoly mise s omezenou interakcí s operátorem snižuje také citlivost bezpilotního systému na dočasnou ztrátu komunikačního spojení, zajišťující předvídatelné chování a celkovou bezpečnost bezpilotního systému. [20]

Autonomie bezpilotního systému je definována jako vlastní schopnost bezpilotního systému dosáhnout cílů své mise. Proto složitější úkoly znamenají potřebu vyšší úrovně autonomie. Pro bezpilotní systémy ve vojenském silách se používá dělení podle NATO. NATO definovala čtyři úrovně pro klasifikaci autonomie bezpilotního systému:

- Úroveň 1: Vzdáleně řízený systém - Reakce a chování systému závisí na ovládní operátora
- Úroveň 2: Automatický systém - Reakce a chování závisí na předem naprogramované pevně vestavěné funkcionalitě
- Úroveň 3: Autonomní non-learningový systém - Chování závisí na pevně vestavěné funkčnosti nebo na pevné sadě pravidel, které diktují chování systému.
- Úroveň 4: Autonomní learningový systém se schopností modifikovat pravidla definující chování - Chování závisí na souboru pravidel, které mohou být upraveny pro neustálé zlepšování cílených reakcí a chování v rámci zastřešujícího souboru nedotknutelných pravidel / chování. [20]

V civilním letectví se, pro klasifikaci autonomie, běžně používá prosté rozdělení na manuální, automatické a autonomní ovládní:

- Manuální – Bepilotní systém je řízen pilotem bez jakékoliv podpory autopilota. [46]

- Automatické – Autopilot bezpilotního systému letí podle předem stanoveného programu a aktivně reaguje na změny podmínek letu (například na změnu směru větru). Trať může pilot za letu měnit. [46]
- Autonomní – Bepilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení letu. [14]

2.5 Snímače

Snímače jsou klíčovým prvkem každého bezpilotního systému. Pouze vhodné systémy snímačů dávají komerčním bezpilotním systémům požadované letové vlastnosti. Možnosti použití komerčních bezpilotních systémů jsou také ovlivněny snímači, které má bezpilotní systém k dispozici. Různé úkoly vyžadují různé snímače, nebo spíše různé kombinace snímačů.

V bezpilotních systémech se používají následující typy snímačů:

- Detekce a rozsahy světla (LIDAR) pro zabránění kolizím, navigaci a jako 3D snímač. LIDAR je metoda dálkového měření vzdálenosti na základě výpočtu doby šíření pulsu laserového paprsku odraženého od snímaného objektu.
- Dálkoměry pro vyhýbání se kolizím a navigaci.
- PIN diody pro detekci pohybu.
- Kamery pro sledování, získávání dat, vyhýbání se kolizím a navigaci.
- Radar pro předcházení kolizím a navigaci.
- Inerciální měřicí jednotky (IMU) pro navigaci. Jednotka inerciálního měření (IMU) je elektronické zařízení, které měří specifickou sílu těla, úhlovou rychlost a někdy i magnetické pole obklopující tělo pomocí kombinace akcelerometrů a gyroskopů a někdy i magnetometrů.
- Tlakoměry pro navigaci a sběr dat.
- GPS pro určení polohy. [17]

Snímače polohy a pohybu poskytují informace o stavu bezpilotního systému. Exterceptivní senzory se zabývají externími informacemi, jako jsou měření vzdálenosti, zatímco exproprioceptivní korelují interní a externí stavy. Některé snímače, které pracují samostatně, dokáží samostatně rozpoznat cíle, a tak se používají k zajištění oddělení a předcházení kolizím.

Stupně volnosti (DOF) odkazují na množství a na kvalitu snímačů na palubě: 6 DOF zahrnuje 3 osé gyroskopy a akcelerometry (typická inerciální měřicí jednotka je IMU), 9 DOF označuje IMU plus kompas, 10 DOF přidává barometr a 11 DOF obvykle přidává GPS přijímač. [6]

3. Legislativa

Prudký rozvoj způsobil, že legislativa pro provoz bezpilotních systémů značně zaostává za technickým pokrokem. Jedná se o problém v celosvětovém měřítku. Technický vývoj postupuje velkou rychlostí neustále dopředu, a proto v současné době nelze dost dobře předpovědět, jakým směrem se bude ubírat. Legislativa je sice stále o malý krok pozadu vůči technickému pokroku, ale poslední dobou se přibližuje stále blíže a brzy by mohl přijít čas, kdy budou na stejné úrovni.

Bezpilotní systémy byly v minulosti doménou převážně armád, které se je snažily vyvíjet a využívat k vojenským účelům, při kterých by eliminovali lidské ztráty, díky možnosti pilotování z obrovských vzdáleností. V posledních několika letech se však využívání bezpilotních systémů velmi rozmohlo, a to jak mezi odbornou, tak laickou veřejností a čím dál tím významněji zasahuje do oblasti civilního letectví. Čím více se tyto bezpilotní systémy vyskytují v oblacích, tím více je nutné tyto stroje regulovat. Avšak vyvstává otázka, jakým způsobem a také jak přimět veřejnost k dodržování těchto předpisů. Každý stát má vlastní legislativu, přičemž některé státy otázku bezpilotních systémů vzali opravdu zodpovědně, jiné tomuto tématu určitě nevěnují tolik pozornosti, kterou tento segment zajisté potřebuje. Navíc běžní uživatelé bezpilotních systémů často nevědí, kde mohou danou legislativu dohledat a v případě, že si některý z uživatelů tyto předpisy vyhledá, nalézáme zde problém ve formě odlišnosti legislativ jednotlivých států, což může být pro uživatele bezpilotních systémů velmi nebezpečné, jelikož například za vlet do bezletových zón některých států hrozí velké postihy.

3.1 Legislativa v České republice

ÚCL dělí uživatele bezpilotních systémů do dvou základních skupin. Létáte-li s bezpilotním systémem rekreačně, spadáte do kategorie tzv. hobby pilotů. Pro ty jsou pravidla nejmírnější, avšak pozor – vlastní-li stroj těžší než 0,91 kg, musí být od výrobce vybaven Failsafe systémem, který v případě poruchy, vybití baterie, ztráty spojení atp. zajistí bezpečné dokončení letu. Stroje do 0,91 kg užívané k rekreačním či sportovním účelům bezpečnostním systémem disponovat nemusí. Dále platí, že každý bezpilotní systém v hmotnostní kategorii nad 0,91 kg a všechny bezpilotní systémy využívané pro výdělečné, experimentální a výzkumné účely je třeba opatřit ID štítkem.

Pro využívání Bezpilotního systému ke komerčním účelům, je v každém případě třeba provést evidenci stroje i pilota na ÚCL a dále absolvovat praktickou a teoretickou pilotní zkoušku. Po úspěšném složení těchto zkoušek získáte povolení k létání, poté můžete konečně zažádat o povolení k provádění leteckých prací. Všichni profesionální piloti už jsou povinni vést si pilotní deníky. V závislosti na místě realizace musí piloti hlásit ÚCL, majitelům pozemků a dalším institucím události spojené s provozem bezpilotního systému a následně provádět reporty. Pilotní licence a povolení k létání jsou nutností i pro hobby piloty řídící systémy těžší než 25 kg.

Bezpilotní letadla se dělí do čtyř hmotnostních kategorií – dle těchto kategorií jsou rozdělena také pravidla pro jejich provoz. První kategorie zahrnuje stroje s hmotností do 0,91 kg. Pro jejich řízení za rekreačním či sportovním účelem není zapotřebí evidence pilota na ÚCL. Stejná pravidla platí pro další dvě kategorie, bezpilotní systémy s hmotností 0,91 - 7 kg a 7 - 25 kg. Pro provoz strojů spadajících do poslední kategorie, nad 25 kg, už je třeba evidence na ÚCL a absolvování pilotních zkoušek. Takto těžké bezpilotní systémy jsou však v případě hobby-pilotů využívány pouze minimálně.

Žádný stroj není 100% bezporuchový. A i proto je třeba dbát na bezpečnou vzdálenost jak od lidí, tak od budov, popřípadě dalších překážek. Povolené vzdálenosti se nepatrně liší dle hmotnostních kategorií bezpilotních systémů. Dodržování pravidla bezpečné vzdálenosti je povinností pilotů všech strojů.

Pro kategorii 7 – 25 kg se aplikuje přísnější pravidlo bezpečných vzdáleností. Pilot musí, při vzletu i přistání, dodržovat horizontální vzdálenost od osob 50 metrů. V průběhu letu se nesmí přiblížit k osobě či budově na horizontální vzdálenost menší než 100 metrů a k hustě osídlenému prostoru na vzdálenost do 150 metrů. Táž pravidla platí i pro vlastníky bezpilotních systémů s hmotností nad 25 kg, provoz těchto strojů navíc vyžaduje dozor. Dozorem se rozumí poučená osoba.

U bezpilotních systémů o hmotnosti do 7 kg však platí, že pilot musí udržovat jak během vzletu a přistání, tak i od osob, budov a osídlených prostorů, bezpečnou vzdálenost. Vzdálenost

označovaná jako „bezpečná“ není v doplňku X dále specifikovaná a je tedy na každém, aby si ji určili.

Vzdálenostní limity se samozřejmě netýkají samotného pilota a osob, které jsou přímými účastníky provozu bezpilotního systému.

Z pochopitelných důvodů není v žádném případě povoleno létat v krajní blízkosti mraků. Vzdušný prostor, který nás zajímá nejvíce, a v němž je až do výšky 300 metrů při dodržování místních předpisů dovoleno létat, nese oficiální přízvisko třída G. Zde se postačí držet vně oblak. V řízeném okrsku letiště (CTR) a na letišti s neřízeným provozem (ATZ) je minimální vzdálenost stanovena striktně a to na 1500 metrů horizontálně a 300 metrů vertikálně.

Dále je zakázáno létat v noci – jedinou výjimku tvoří dostatečně osvětlené prostory letiště.

Pro každého uživatele bezpilotních systémů platí 100% zákaz natáčení dalších osob bez jejich výslovného souhlasu. Porušení zákona se tedy můžete dopustit i během přeletu nad soukromým pozemkem.

Z doplňku X jasně vyplývá, že osoba řídící bezpilotní systém s ním musí neustále udržovat oční kontakt. V případě využívání virtuálních brýlí a podobných zařízení (což je v důsledku například i mobilní telefon) je zapotřebí účast druhé osoby, která obstarává samotné pilotování, popřípadě přímý dohled nad strojem.

S bezpilotními systémy nelze létat v zakázaných zónách, oficiálně značených jako Prohibited a Restricted. Tyto zóny zahrnují okolí jaderných elektráren, muničních skladů, skladišť trhavin atp. Další oblastí, kterou je třeba vést v patrnosti, je tzv. Dangerous zóna, v níž sice létání povoleno je, ale může s sebou nést určitá bezpečnostní rizika. Létat je zakázáno rovněž v ochranných pásmech, která jsou např. podél silnic, dálnic, tras telekomunikačních a nadzemních inženýrských sítí, v okolí objektů důležitých pro obranu státu, v okolí vodních zdrojů a ve zvláště chráněných oblastech typu CHKO nebo v národních parcích.

Omezené prostory TSA (Temporary Segregated Area) a TRA (Temporary Reserved Area) jsou místa vyhrazená k vojenskému cvičení a jiným domobranným účelům. Provoz bezpilotních systémů je zde zakázán pouze ve dnech nebo popřípadě jen v hodinách, kdy jsou prostory aktivně využívány.

Letištní zóna ATZ (Aerodrome Traffic Zone) označuje vzdušné prostory kolem letišť s neřízeným provozem. Hranice této zóny utváří kružnice s poloměrem 5,5 km od vztažného bodu letiště. Zákon říká, že s modely do hmotnosti 0,91 kg zde můžete létat zcela svobodně, a to až do výšky 100 metrů nad zemí, avšak mimo ochranná pásma daného letiště. Ochranná pásma v okolí letišť bohužel nejsou veřejně dostupná. Abyste věděli, od jaké výšky a v jaké vzdálenosti od letiště ochranná pásma začínají, musíte si tuto informaci nejprve ověřit u ÚCL. S těžšími stroji už je zapotřebí koordinace s AFIS (letištní informační služba) a schválení provozovatele letiště. Nad vzdušným prostorem třídy G, tj. výše než 300 metrů, lze v ATZ zóně létat pouze a jedině ve spolupráci s AFIS, a to do maximální výšky 1200 metrů AMSL (tj. nad mořem).

Vzdušné prostory s označením CTR jsou řízené okrsky velkých letišť. V ČR je takovýchto letišť celkem 9. Ochranné zóny CTR sahají od povrchu země do výšky 1500 metrů AMSL. V tomto případě je třeba dodržovat minimální horizontální vzdálenost 5,5 km a maximální povolenou letovou výšku do 100 metrů nad zemí. S modely lehčími než 0,91 kg lze v řízeném okrsku létat i v menší vzdálenosti, ale opět vždy mimo ochranná pásma daného letiště.

Certifikovaní piloti využívající bezpilotní systémy ke komerčním účelům mohou v případě potřeby žádat o individuální výjimky potřebné k realizaci své zakázky. To znamená, že potřebujete-li například natočit TV spot či provést videodokumentaci v určité zakázané oblasti, může vám být úřadem civilního letectví uděleno jednorázové povolení.

Za bezpečnost letu bezpilotního systému jednoznačně pilot. Do jeho povinností spadá rovněž komplexní předletová příprava. V žádném případě nelze z bezpilotního systému cokoliv shazovat na zem a instalovat na něj zařízení těžší, než je jeho maximální doporučená nosnost. ÚCL může profesionálním pilotům bezpilotních systémů i v tomto případě udělit výjimku.

Za zachování provozuschopnosti neboli technického stavu letadla, je zodpovědný jeho vlastník. [14]

3.2 Postup k zisku licencí

Pokud někdo chce létat s bezpilotním systémem za úplatu, tzn. například kdy fotografie nebo video z letu bude prodávat nebo používat pro vlastní komerční činnost, musí splnit určité podmínky k získání povolení provozovat letecké práce. Nejprve je nutné získat povolení k létání letadla bez pilota na palubě. Obecný postup se skládá z následujících kroků:

- Podání žádosti včetně příloh
- Vyhodnocení dodaných dokumentů
- Vydání rozhodnutí o povolení k létání s omezením (tzv. žákovské)
- Podání žádosti o odstranění omezení
- Přezkoušení teoretických znalostí a praktických dovedností pilota, fyzická kontrola systému
- Rozhodnutí o vydání/nevydání povolení k létání letadla bez pilota

Po získání povolení k létání letadla bez pilota na palubě sice můžeme s bezpilotním systémem létat, nicméně stále nejsme oprávněni k létání za úplatu. V případě, že zamýšleným účelem provozu bezpilotního systému je provozování leteckých prací (§ 73 leteckého zákona) se obecný postup k získání tohoto povolení skládá z následujících kroků:

- Podání žádosti včetně příloh
- Vyhodnocení dodaných dokumentů
- Vydání rozhodnutí o vydání/ nevydání Povolení k provozování leteckých prací

Pro vykonávání leteckých prací je navíc třeba mít ujednané pojištění bezpilotního systému. Protože se riziko poškození cizího majetku či úrazu nevyplácí bagatelizovat, narůstá počet

uzavřených pojištění. Nehody bezpilotních systémů jsou, stejně jako klasické letecké nehody, vyšetřovány velice detailně.

Provoz bezpilotních systémů za účelem leteckých prací bez patřičných povolení ÚCL není povolen. Myšlenka vyhnout se poplatkům za vyřízení všech povolení a pojištění se může zdát lákavá. Hlavně z důvodů nedostatku personálu, který provoz hlídá. Pokud ale ÚCL zjistí, že provoz probíhá bez platných potřebných povolení, může zahájit sankční řízení. ÚCL už zahájil velké množství správních řízení s lidmi a firmami, kteří podnikají bez povolení k leteckým pracím nebo létají v rozporu s platnou legislativou. Po provozování leteckých prací bez povolení hrozí:

- ÚCL může udělit pokutu až do výše 5 000 000 Kč
- Za porušení předpisů nehrozí jen pokuty, ale i trestně právní zodpovědnost
- Správní řízení může být zahájeno až tři roky zpětně, od doby, kdy byl přestupek spáchán
- Obvinění pro neoprávněné podnikání (trest odnětí svobody až na osm let)

Jak už bylo zmíněno výše, bezpilotní systémy je obecně možné provozovat pouze s povolením ÚCL na základě splnění všech požadavků. Jedná se zejména o povolení k létání (§ 52 zákona č. 49/1997 Sb. o civilním letectví) a dále o povolení k provozování leteckých prací, leteckých činností pro vlastní potřebu nebo k provozování obchodní letecké dopravy. [14] [28]

4. Komerční způsoby využití bezpilotních systémů

V této kapitole budou vypsány některé způsoby využití bezpilotních systémů v komerční sféře a popsání, jaké typy bezpilotních systémů jsou pro tuto činnost nejvhodnější a proč. Mou snahou bude návrh specifikací pro ideální bezpilotní systém, který by tuto činnost mohl vykonávat. Problémem je legislativní omezení v České republice, díky kterému jsou některé tyto návrhy v dnešní době nadčasové. Doufám, že se v blízké době tyto legislativní překážky uvolní a bude možné využití bezpilotních systémů i v širší komerční sféře.

4.1 Spedice

Současná technologie je už na takové úrovni, že umožňuje zcela autonomní doručování zásilek, za pomoci autonomních bezpilotních systémů. Tento koncept nicméně ve většině států zatím naráží na legislativní omezení. Pro zajištění této služby by zřejmě bylo nutné zřídit zvláštní vzdušný prostor, aby nedocházelo k ohrožení letového provozu.

Existují společnosti, které se dlouhodobě zabývají vývojem konceptů a specializovaných bezpilotních systémů pro autonomní doručování. Některé z nich jsou zatím ve stádiu vývoje a prvních letových zkoušek, zatímco jiné už v některých odlehlých oblastech poskytují tyto služby prakticky pravidelně. [51] [52]

4.1.1 Požadavky na bezpilotní systém

V první řadě je nutné, aby byl systém schopen létat autonomně a mít přijímač pro GPS signál, kvůli naplánování trasy. Nezáleží na tom, z jakého materiálu bude bezpilotní systém vyroben, ale musí být dostatečně lehký, aby byl motor schopen unést jak celkovou váhu systému, tak i nákladu. Bepilotní systém by neměl létat ve velkých výškách a nejspíše by nemohl létat, při špatných povětrnostních podmínkách, proto není potřeba silná konstrukce a voděodolnost, stačí jen ochrana elektroniky při letu v dešti. Pokud bude bezpilotní systém létat v blízkosti obydlí, nesmí být pohon hlasitý. Na bezpilotním systému nemusí být nainstalovaná kamera, ale mohla by být nainstalována z preventivních důvodů, například v případě, kdyby se objevil

problém s autonomním řízením a systém by bylo třeba ovládat manuálně. Bylo by výhodou, pokud by bylo možné bezpilotní systém ovládat po celé dráze letu, ale, kvůli autonomnímu letu, to není nutností. Baterie bezpilotního systému musí mít dostatečnou kapacitu, aby byl systém schopný odletět celou trasu a zpět. Baterie se po doručení, před dalším letem, dá znovu dobít. Bepilotní systém by mohl létat nad obydlenými oblastmi, proto by měl být vybavený padákem, aby i v případě ztráty motoru byl bezpilotní systém schopný s padákem přistát bezpečně na místě, bez ohrožení životů a nákladu. Bepilotní systém musí být schopný unést balík, a proto musí mít dostatečnou nosnost.

Navržený bezpilotní systém musí splňovat tyto minimální specifikace, aby mohl účinně vykonávat tuto činnost:

Tabulka 1: Požadavky na bezpilotní systém 1

Maximální doba letu	60 minut
Dolet	20 km
Ovládání	Autonomní
Hluk	Nízký
Přijímač signálu	GPS, rádiový
Nosnost	5 kg
Failsafe systém	Základní + padák

4.1.2 Návrh bezpilotního systému

Řešením by mohla být multikoptéra s alespoň 4. motory (kvadroptéra), protože má poměrně vysokou nosnost a při doručení zásilky je by bylo velkou výhodou možnost se vznášet na místě. Pro tuto činnost bych navrhoval elektrický pohon. Bepilotní systém s elektrickým pohonem sice nemá, oproti spalovacímu motoru, velký dolet, ale pro tuto práci by měl být dostatečný. Bepilotní systém navíc bude vhodnější pro let nad osídlenými oblastmi, protože elektrický motor má nižší emise než spalovací. Baterie se mohou nabít po doručení každé zásilky a provoz bude levný, protože pro let není potřeba jiný zdroj energie než elektřina. Konstrukce 4 ramen je pro tuto práci dostatečná a pokud bude motor dostatečně výkonný, udrží ve vzduchu i náklad s váhou několika kilogramů. i Bepilotní systém by neměl být vystaven velkým zhoršeným podmínkám, proto stačí konstrukce z lehčích, ale méně pevných materiálů, jako je například plast nebo laminát. Bepilotní systém nebude létat ve velkých

výškách, ale pokud by někdy létal ve městech musí být alespoň v takové výšce, aby se mohl snadno vyhýbat budovám a jiným překážkám. Dolet bych navrhoval 20 kilometrů, protože si myslím, že je to dostatečná vzdálenost pro doručování zásilek a výdrž baterie 60 minut by měla stačit k tomu, aby bezpilotní systém zvládl, i s plným naložením, dolétnout do cíle a zpět. K tomu, aby bezpilotní systém mohl unést větší náklad, a přitom měl dostatečnou výdrž baterie, musí být poměrně těžký. Ale na druhou stranu by byl bezpilotní systém vyrobený z lehkého, i když křehkého, materiálu, tudíž by byla celá konstrukce lehčí.

Můj návrh ideálního bezpilotního systému pro tuto činnost by měl splňovat tyto parametry:

Tabulka 2: Návrh bezpilotního systému 1

Typ konstrukce	multikoptéra
Počet motorů	4 (Kvadroptéra)
Druh motoru	Elektromotor
Hmotnost prostředku	10 kg
Maximální nosnost	5 kg
Materiál	Laminát
Failsafe systém	Základní + padák
Kamera	Volitelná
Přijímač signálu	GPS, rádiový
Dolet	20 km
Výdrž baterie	60 minut
Maximální výška letu	150 m
Ovládání	Autonomní

4.2 Živelné pohromy

Jedno z pozitivních využití bezpilotních systémů je poskytování pomoci při živelných pohromách. Bepilotní systémy jsou schopné plnit řadu užitečných úkolů, jako je logistická podpora, dodávka zásob, průzkum a mapování. Mohou poskytovat pomoc například při chemické, biologické, radiologické nebo jaderné události a mohou pomoci při pátracích a záchranných operacích, posuzování rizik nebo reakci na pojistné události. Tuto technologii lze dokonce použít k detekci a hašení požárů.

Zatímco některé živelné pohromy lze předvídat předem, jiné předvídat nelze. Laviny, povodně, hurikány, požáry a další živelné pohromy sice často lze předpovídat, ale někdy přicházejí bez varování. Tyto nepříznivé události jsou bohužel plně schopny způsobit škody, zranění a smrtelné následky.

Technologie bezpilotních systémů je schopna snížit vystavení zbytečnému nebezpečí pro mnoho profesionálů, kteří se podílejí na pomoci při živelných pohromách. Bepilotní systémy jsou také cenově výhodné a můžou poskytovat jedinečné úhly pohledu, které nemusí být možné při použití pilotovaných letadel.

Použití bezpilotních systémů k mapování oblastí katastrof poskytuje ve srovnání s tradičními metodami větší výhody z hlediska nákladů a rychlých reakčních časů. Používání pilotovaných letadel je často drahé, satelitní mapování nesplňuje všechny potřeby a v nouzových situacích obojí trvá příliš dlouho. Bepilotní systémy mohou být nasazeny rychle, generovat záznamy ve vysokém rozlišení, identifikovat oblasti, které utrpěly nejvíce poškození a nahrávat data v reálném čase, aby koordinovaly úsilí o pomoc. [24] [25]

4.2.1 Požadavky na bezpilotní systém

Je nutné, aby zasahující bezpilotní systém byl vybaven monitorovacím zařízením, které bude umožňovat dálkové řízení a monitoring oblasti v reálném čase. Kladen je důraz na možnost operovat ve větších výškách z důvodů vysokých teplot, které mohou nastávat například při lesních požárech. Není tedy vhodné, aby byl bezpilotní systém sestaven z materiálů, které nemají odolnost proti teplotám, tedy konstrukce z plastu nepřipadá v úvahu. Výhodou je termální kamera, která umožní lokalizovat osoby, které by se v zasažených oblastech mohly vyskytovat. Tato kamera citlivá na teploty může také sloužit pro vyhledání nejvyšších teplot, které panují při požárech, usnadnit tedy zásah a soustředit síly zasahujících jednotek do oblastí, ve kterých jsou nejvíce potřeba. To znamená, že bezpilotní systém musí nést jak termální, tak normální kameru. Ovládání stačí manuální, protože pilot bude muset v průběhu letu často měnit trasu. Nedá se nastavit trasu předem, protože pilot nikdy neví, co přesně v zasažené oblasti najde. Bepilotní systém by neměl nosit žádný těžší náklad a stačí tedy, aby unesl jenom dvě kamery, normální a termální. Bepilotní systém by měl být

schopný létat alespoň hodinu na to, aby získal operátor přehled nad situací. Za tuto dobu by měl být bezpilotní systém schopný snadno ulétnout alespoň 30 kilometrů.

Navržený bezpilotní systém musí splňovat tyto minimální specifikace, aby mohl účinně vykonávat tuto činnost:

Tabulka 3: Požadavky na bezpilotní systém 2

Vybavení	Kamera
Materiál	Dural
Dolet	30 km
Maximální doba letu	60 minut
Ovládání	Manuální
Maximální výška letu	250 m
Nosnost	Hmotnost kamer

4.2.2 Návrh bezpilotního systému

Neexistuje mnoho bezpilotních systémů, které mohou nabídnout téměř stejné služby jako současně používané, a to s menším rozpočtem. Výše uvedené požadavky, tedy dlouhá vydrž, poskytování obrazu v reálném čase, ale především termální kamera, která v komerční sféře nebývá obvyklá z důvodu vysoké ceny, může být obtížné splnit.

Řešením by byl bezpilotní letoun se spalovacím motorem. Letoun má vysokou výdrž a díky spalovacímu motoru může letoun vydržet ve vzduchu dlouhou dobu. Spalovací motor je navíc odolnější vůči teple, ve srovnání s elektromotorem. Konstrukce by měla mít dostatečnou ochranu elektroniky i při nasazení při dešti. Ke konstrukci je nutné připevnit různé vybavení. K monitorování živelné pohromy je nutné osadit bezpilotní systém kamerou, která bude v reálném čase odesílat obraz operátorovi, v tomto případě by bylo nejlepší osadit bezpilotní systém jak normální, tak i termální kamerou. Kamera může také sloužit pro preventivní účely, například pro sledování, kdy při největším riziku požáru, tedy při dlouhodobém suchém počasí, je možné využít bezpilotní systémy k monitorování lesů a zneškodnění požáru ihned v jeho počátcích. Bepilotní systém by měl být schopný létat ve velkých výškách, protože možnost vystoupaní bezpilotním systémem do velké výšky, ze které by bezpilotní systém mohl vytvořit

přehled nad situací by bylo velkou výhodou. Velká nádrž na palivo by určitě byla výhodou, protože bezpilotní systém by mohl zůstat ve vzduchu, a monitorovat situaci, déle. Bepilotní systém by měl být vybavený padákem, protože, při živelné pohromě v blízkosti měst, může létat nad osídlenými oblastmi. Padák pomáhá k tomu, aby, při poruše, bezpilotní systém neohrožoval životy ani majetek. Protože bezpilotní systém pro pohon používá spalovací motor a je vyrobený z těžšího materiálu bude hmotnost bezpilotního systému větší. Ale bude mít nízkou nosnost, takže hmotnost nebude příliš velká.

Můj návrh ideálního bezpilotního systému pro tuto činnost by měl splňovat tyto parametry:

Tabulka 4: Návrh bezpilotního systému 2

Typ konstrukce	Letoun
Počet motorů	1
Druh motoru	Spalovací
Hmotnost prostředku	6 kg
Maximální nosnost	Hmotnost kamery
Materiál	Dural
Failsafe systém	Základní + padák
Kamera	Ano (normální a termální)
Přijímač signálu	Rádiový, GPS
Dolet	30 km
Maximální doba letu	60 minut
Maximální výška letu	250 m
Ovládání	Manuální

4.3 Zemědělství

Zemědělství je vázáno na půdu, která je nástrojem, ale i výsledkem práce. Půda svůj objem nenavýší, ba naopak, lze předpokládat, že bude nadále docházet k jejímu úbytku. Tento úbytek má na svědomí její alternativní využívání. Velké úbytky plynou ze zastavění, eroze a dalších negativních faktorů. Některé půdy nejsou pro zemědělství vhodné v důsledku špatné, či zhoršující se kvality. Na tomto jevu se mnohdy podepisuje i způsob hospodaření na půdě. Nízké množství dodávaných látek a zároveň jejich velký odběr může vést až k vyčerpání půdy.

Dosavadní vývoj populace však vede k nárůstu potřeby. Nárůst poptávky znamená ještě větší zatížení půd. Možnou cestou, jak v budoucnu uspokojit potřebu je kombinace změny skladby pěstovaných plodin a zefektivněním produkce. Větší produkce lze dosáhnout využitím moderní technologie a její neustálý vývoj.

V minulosti zemědělec znal své pole a věděl, v jakých částech může dosáhnout vysokých výnosů a kde je naopak úrodnost nižší a vynaložená práce se zde tolik nevyplatí. Později ovšem s globálním růstem ploch pozemků i velikosti hospodářských podniků nebylo možné tyto znalosti efektivně získávat a s územím bylo nakládáno spíše jako s homogenní plochou, jejíž potenciál nemohl být plně využit. Tuto situaci změnila až dostupnost technologií a potřebného technického vybavení, které nyní dovolují získávat široké spektrum potřebných údajů z mnoha zdrojů a jejich komplexní analýzu. A právě bezpilotní systémy se svými možnostmi posouvají možnosti precizního zemědělství zase o kousek dál.

S mapováním se v zemědělství setkáváme nejčastěji. Podstatou je vytvoření map, například mozaikování tak, aby s nimi následně mohlo být pracováno. Tyto mapy mohou pomoci s naplánováním hnojení, aplikací účinných látek a podobně. Zemědělci mohou odhalit problémy se závlahou, suchá, nebo naopak příliš vlhká místa. Teplotní rozdíly na poli jsou také důvodem pro různou rychlost dozrávání plodin.

Ke snímání se používají multispektrální kamery. Ty se používají nejen ke zjišťování kvality půdy dané její úrodností, ale i k monitorování zdravotního stavu a poškození vegetace na půdě, pokryvu a odhadu výnosů. Dále můžeme pozorovat míru napadení plísněmi, houbami, škůdci a jiným. Ve finále lze vyčíst, jaký vliv mělo určité agrotechnické opatření. Dále je díky pořízeným mapám možné variabilně dávkovat hnojiva a postřiky a využít tak plný potenciál pole.

Zemědělci s velkým množstvím půdy mohou také využívat bezpilotní systémy ke sledování svých zvířat a přehledu, jestli nejsou na pozemku ploty, které je potřeba opravit. Pokud jsou bezpilotní systémy vybaveny termokamerami nebo kamerami s nočním viděním, mohou také pomoci dávat pozor na predátory.

Výhodou využívání bezpilotních systémů je levný provoz. Často se udává i snadné ovládání, manipulace, flexibilita a rychlost, se kterou je možné bezpilotní systém zprovoznit. Před vstupem bezpilotních systémů bylo možné pořizovat mapy z družicových snímků. Ale jejich nevýhodou je, že snímky prochází přes atmosféru a zájmový pozemek může být částečně nebo zcela zakryt mraky. Družice obíhají kolem země v intervalech několika dní, pokud k tomu přidáme problémy s mračky, nemusíme získat očekávaný snímek ve stanovené době. Druhou možností jsou letecké snímky. Jejich velkou nevýhodou je cena. Pronájem letadla, pilota a nákup pohonných hmot je příliš drahý a pro mnohé zemědělce tak představují zbytečné náklady. [26] [27]

Existuje mnoho aplikací bezpilotních systémů v zemědělství. V tomto návrhu se pokusím navrhnout bezpilotní systém, který by mohl vykonávat, co nejvíce z nich.

4.3.1 Požadavky na bezpilotní systém

Bezpilotní systém musí být vybaven kamerou, kvůli mapování. Pro mapování je důležitá nejen kvalita snímků, ale i komplexnost. Bezespory je výhodou, když jsou data za celé zájmové území pořízena z jednoho letu. Proto by měl bezpilotní systém být schopný vylétnout až do výšky alespoň 200 m, odkud dokáže kamera zabrat, až několik stovek hektarů. Pokud chceme kombinovat různá spektra, je nutné počítat s vyšším váhovým zatížením, kvůli použití těžší multispektrální kamery. Dále by měl bezpilotní systém umožňovat autonomní let a cena by neměla být příliš vysoká. Protože by bezpilotní systém mohl být používán k dávkování hnojiv a postřiků musí mít dostatečnou nosnost.

Navržený bezpilotní systém musí splňovat tyto minimální specifikace, aby mohl účinně vykonávat tuto činnost:

Tabulka 5: Požadavky na bezpilotní systém 3

Vybavení	Kamera
Ovládání	Manuální + Autonomní
Maximální výška letu	200 m
Nosnost	Hmotnost kamery + 10 kg

4.3.2 Návrh bezpilotního systému

Pro tuto práci bych volil bezpilotní systém typu multikoptéra se 4. motory. Tato konfigurace umožňuje létat dostatečně rychle a do dostatečné výšky, aby byla schopná mapování a zároveň je schopná se vznášet ve vzduchu na místě, což bezpilotní systém potřebuje k tomu, aby mohl přesně aplikovat hnojiva a postřiky. 4 motory by měly stačit k tomu, aby bezpilotní systém unesl náklad a kameru a při tom létal dostatečně rychle. Pro pohon bezpilotního systému bych navrhoval elektromotor, kvůli tomu, že je lehký, levný a bezpilotní systém nemusí vydržet ve vzduchu dlouhou dobu. Bepilotní systém by měl zvládnout zůstat ve vzduchu alespoň 45 minut. Za tuto dobu by měl být bezpilotní systém schopný ulétnout okolo 15 kilometrů a zmapovat dostatečně velkou plochu. Bepilotní systém bude vzlétat kolmo, takže nevadí, když bude těžší. Bepilotní systém musí být schopný unést kameru a náklad hnojiva nebo pesticidů, které by mohli vážit až 10 kilogramů. Bepilotní systém by měl mít manuální řízení, ale výhodou by bylo řízení, alespoň částečně autonomní, aby byl operátor schopný zároveň ovládat kameru. Bepilotní systém nemusí mít robustnější záchranný systém, protože bude pravděpodobně létat nad místy, kde by neměli být lidé. Materiál bezpilotního systému nemusí být moc odolný, protože bezpilotní systém by neměl být vystaven žádným větším zhoršeným podmínkám a odolnější materiál by akorát přidával na cenně. Failsafe systém stačí základní, protože, při poruše, by bezpilotní systém neměl létat nad osídlenými oblastmi, jen nad zemědělskou půdou. Protože bude mít bezpilotní systém velkou nosnost, bude mít větší hmotnost, kvůli většímu motoru a silnější konstrukci. Na druhou stranu se bezpilotní systém nemusí pohybovat rychle, létat daleko a bude používat elektromotor, který bývá lehčí.

Můj návrh ideálního bezpilotního systému pro tuto činnost by měl splňovat tyto parametry:

Tabulka 6: Návrh bezpilotního systému 3

Typ konstrukce		Multikoptéra
Počet motorů		4 (kvadrokoptéra)
Druh motoru		Elektromotor
Hmotnost prostředku		15 kg
Maximální nosnost		Hmotnost kamery + 10 kg
Materiál		Laminát
Failsafe systém		Základní
Kamera		Ano (multispektrální)
Přijímač signálu		Rádiový, GPS
Dolet		15 km
Výdrž baterie		45 minut
Maximální výška letu		200 m
Ovládání		Manuální + autonomní

4.4 Technická kontrola staveb

Pro mnoho společností, které spravují větší či menší technickou infrastrukturu, je zásadní technická kontrola této infrastruktury. Příkladem jsou energetické společnosti, které spravují tisíce kilometrů elektrického vedení nebo radiokomunikační společnosti, které potřebují kontrolovat vysoké vysílače za chodu. Kontrolují se i větrné elektrárny, které jsou umístěné na moři.

Bezpilotní systémy mohou létat blízko u země, blízko kontrolovaného zařízení a díky možnosti předem definovat cestu, kterou poletí, je možné provést záznam kontroly jedním stiskem tlačítka. Pokud se navíc bezpilotní systém osadí kamerou s vysokým rozlišením, tak technik na zemi rozpozná i ty nejmenší detaily.

V České republice využívá společnost České radiokomunikace bezpilotní systémy ke kontrole a servisování svých zařízení. Vysílače, jenž pomocí bezpilotních systémů kontrolují, jsou napájeny vysokým elektrickým napětím a vytváří ve své blízkosti ionizující záření, které na

lidské tělo negativně působí. Při kontrole takového vysílače člověkem, je nutné vysílač odstavit z provozu a poté provést kontrolu. Kontrola se provádí i na těžko přístupných místech a zabere hodně času. Bezpilotní systémy, kterým ionizující záření nevadí, mohou provést kontrolu vysílače za plného provozu a tím přispějí jak k zefektivnění kontroly, tak ke snížení nákladů a rizik.

Bezpilotní systémy mohou pořídit velké množství fotografií konkrétních konstrukčních prvků vysílače v extrémně vysokém rozlišení. Tyto mohou být, posléze díky přesné identifikaci polohy, spárovány se sériovými čísly konstrukčních prvků.

Celá kontrola s využitím bezpilotního systému je jednodušší, rychlejší a v neposlední řadě levnější. Konkrétní znalost problému ještě před výstupem technika umožňuje efektivnější zásobení náhradními díly, případně potřebnou technikou nutnou k opravě. Doba odstávky provozu nutná k opravě se tak minimalizuje. [36] [37]

4.4.1 Požadavky na bezpilotní systém

Pro technickou kontrolu staveb je důležitá nejen kvalita snímků, ale i schopnost manévrovat a současně udržovat stabilitu při vznášení se na místě. Dále je nutná dostatečná nosnost pro upevnění stabilizované kamery s vysokým rozlišením. Důležitá je schopnost živého přenosu z objektivu kamery do monitoru operátora na zemi, aby mohla být každá část zcela přesně z žádoucích úhlů zaostřena a vyfocena. Bezpilotní systém může kontrolovat vysoké stavby, proto je nutné, aby byl bezpilotní systém schopný vylétnout do velkých výšek. Autonomní řízení bezpilotního systému je určitě výhodou, kvůli možnosti nastavení trasy předem tak, aby mohl operátor ovládat kameru v reálném čase

Navržený bezpilotní systém musí splňovat tyto minimální specifikace, aby mohl účinně vykonávat tuto činnost:

Tabulka 7: Požadavky na bezpilotní systém 4

Vybavení	Kamera
Maximální výška letu	300 m
Ovládání	Manuální + autonomní
Přijímač signálu	Rádiový

4.4.2 Návrh bezpilotního systému

Pro tuto práci bych, jako typ konstrukce, určitě vybral bezpilotní systém typu multikoptéra. Protože musí být bezpilotní systém stabilní a mít schopnost vznášet se na místě, tak bych vybral bezpilotní systém alespoň se 6. motory (hexakoptéra). Pro pohon bezpilotního systému bych volil elektromotor, protože bezpilotní systém nemusí mít dlouhou výdrž. Navíc je elektromotor tišší a má nižší emise, což je dobré, protože bezpilotní systém bude pravděpodobně kontrolovat stavby v hustě osídlených oblastech. Bzpilotní systém musí být schopný unést jen kameru. Na materiálu bezpilotního systému nezáleží, takže stačí použít jen levnější typ. Stavby, které může bezpilotní systém kontrolovat mohou být vysoké, proto je důležité, aby byl dosah ovládání dostatečně velký. Výdrž baterie nemusí být veliká, ale je třeba alespoň pár desítek minut, aby stihl operátor zjistit všechny informace, které potřebuje. Bzpilotní systém by tedy mohl mít dolet až 10 kilometrů, ale ve většině případů celý svůj dolet nevyužije, protože bude létat jen okolo jedné stavby. Kvůli 6. motorům není potřeba dodatečný záchranný systém, jako je padák, protože s bezpilotní systémem by mělo být možné se vrátit a přistát i při poruše. Kvůli tomu, že bezpilotní systém používá k pohonu elektromotor a je vyrobený z lehkého materiálu je bezpilotní systém poměrně lehký. Navíc potřebuje jen nízkou nosnost, protože musí unést jen kameru. Ale používá 6 motorů, což mu přidává na hmotnosti.

Můj návrh ideálního bezpilotního systému pro tuto činnost by měl splňovat tyto parametry:

Tabulka 8: Návrh bezpilotního systému 4

Typ konstrukce	Multikoptéra
Počet motorů	6 (hexakoptéra)
Druh motoru	Elektromotor
Hmotnost prostředku	4 kg
Maximální nosnost	Hmotnost kamery
Materiál	Laminát
Failsafe systém	Základní
Kamera	Ano
Přijímač signálu	Rádiový, GPS
Dolet	10 km
Výdrž baterie	30 minut
Maximální výška letu	300 m
Řízení	Manuální + autonomní

4.5 Potrubní systémy

Potrubní systémy vyžadují pravidelnou kontrolu a péči, a to bez ohledu na to, jestli jsou vedeny nad zemí, anebo pod zemí. V Evropě, například, musí být potrubí vedoucí zemní plyn a ropu minimálně 1 m pod zemí. Dosud se pravidelné kontroly potrubí prováděly ze vzduchu pomocí helikoptér, které nad daným územím přelétaly každé dva až čtyři týdny. Tyto vizuální inspekce byly ovšem velmi drahé a vrtulníky většinou nebyly vybaveny zařízením, které by dokázalo zjistit, jestli je vrstva zeminy, která potrubí překrývá, stále dostatečně silná.

Spolehlivost potrubí může být snížena již špatným návrhem, nevhodně zvoleným materiálem, vadnou konstrukcí celého dopravního systému nebo nestandardními podmínkami během provozu. Poškození se může projevit jak oslabením pláště vnější izolace a únikem tepelné energie, tak proražením potrubí a ztrátou přepravovaného média. Zároveň je zde riziko ztenčení stěny potrubí vnitřní korozí (při dopravě agresivních tekutin) nebo mechanickým namáháním (v případě dopravy nehomogenních materiálů s pevnými částicemi).

Vzhledem k rizikům ztrát způsobených závadami na potrubním systému je nutné jej pravidelně a pečlivě kontrolovat. V praxi bohužel platí, že čím vyšší je pravděpodobnost poškození potrubí, tím obtížnější je jeho kontrola. Potrubní systémy jsou velmi často umístěny pod zemí nebo vedou mnoho desítek kilometrů krajinou, kde jsou omezené přístupové cesty, okolní příroda je neudržovaná a přístup k trubkám je ne-li nemožný, pak výrazně ztížený. Není v lidských silách vše vizuálně zkontrolovat a nasazení zabudovaných měřicích systémů – tlakoměrů a průtokoměrů je finančně náročné, a ne příliš spolehlivé, neboť neobsáhne všechna riziková místa.

Bezpilotní systémy v tomto směru nabízejí zcela nové možnosti. Díky speciálnímu senzorovému vybavení mohou bezpilotní systémy vidět lépe než lidé. Nejenže mohou v práci nahradit drahé vrtulníky, ale díky své snadné manévrovatelnosti, malým rozměrům a nízké ceně otevírají nové možnosti, jak pečovat o stav a bezpečnost infrastruktury. Inspekční bezpilotní systémy mohou být vybaveny normálními kamerami nebo termokamerami jak pro barevné vidění, tak i pro vidění v blízké infračervené oblasti. Tradiční kamera pro viditelné spektrum ovšem odhalí pouze zlomek závad, zaznamená pouze místa s viditelným poškozením nebo únikem. Co zcela jistě nedetekuje, jsou vnitřní vady na potrubí a úniky médií pod povrchem. Takovéto závady dokáže zaznamenat termokamera, která snímá tepelné záření objektů. Na základě rozdílů teplot na povrchu potrubí a zkušenosti pozorovatele je možné rozpoznat skryté defekty.

V praxi to vypadá tak, že se bezpilotní systémy rozmístí podél ventilových stanic, které bývají od sebe vzdáleny 30 až 50 km. Jestliže čidlo některého z kontrolních systémů zaznamená anomálii, nejbližší bezpilotní systém ihned dostane pokyn, aby vzlétl a zmapoval příslušnou část potrubního systému. Data, která bezpilotní systém shromáždí, se odesílají do řídicího systému, který situaci vyhodnotí a navrhne řešení. Pro zkontrolování řešení výše zmíněného problému kontroly dálkových potrubních systémů se nabízí velmi elegantní a na první pohled jednoduché řešení. Je možné nasazení bezpilotního systému s kamerou, které bude schopen proletět nad celou délkou potrubí a nahrávat či v reálném čase zobrazovat sledovanou scénu. Operátor, který bezpilotní systém z bezpečné vzdálenosti a snadno dostupného místa řídí, má okamžitě přehled o stavu potrubí a pokud zaznamená nějaký nedostatek, může se na něj posléze podrobněji zaměřit a místo osobně zkontrolovat. V tomto návrhu se budu zabývat výše zmíněnou druhou situací, ve které bezpilotní systém ovládaný operátorem proletí celou délkou potrubí. [29] [30]

4.5.1 Požadavky na bezpilotní systém

Inspekční bezpilotní systémy, které tuto práci mohou dělat musí být, v první řadě, vybaveny kamerami pro barevné vidění a vidění v blízké infračervené oblasti. Musí být schopny létat podél dlouhých podzemních potrubních tras a snímat zemský povrch. Snímky z bezpilotních systémů by se pak měly posílat přes webové rozhraní přímo do systému, který bude automaticky generovat, aktualizovat a analyzovat třírozměrný povrchový model celého potrubního systému. Bepilotní systém by měl dokázat změřit tloušťku vrstvy zeminy v toleranci přibližně 10 cm. Bepilotní systém by měl být schopný létat autonomně, aby mohl operátor, při letu, obsluhovat kameru. Bepilotní systém musí být schopný létat na dlouhé vzdálenosti a zůstat ve vzduchu dlouhou dobu. Bylo by výhodou, kdyby mohl bezpilotní systém létat podél dané trasy autonomně, aby se mohl operátor soustředit na data z kamery.

Navržený bezpilotní systém musí splňovat tyto minimální specifikace, aby mohl účinně vykonávat tuto činnost:

Tabulka 9: Požadavky na bezpilotní systém 5

Vybavení	Kamera (normální a infračervená)
Dolet	100 km
Maximální doba letu	80 minut
Řízení	Manuální + autonomní
Přijímač signálu	GPS, přijímač pro bezdrátový internet

4.5.2 Návrh bezpilotního systému

Řešením by mohl být bezpilotní systém konfigurace letoun. Bepilotní systém bude muset uletět poměrně dlouhé vzdálenosti a musí být schopný unést kameru, proto bych navrhoval letoun se spalovacím pohonem, který dokáže létat po dlouhou dobu. Bepilotní systém by neměl létat nad lidmi, ale přesto by měl mít padák, protože, oproti například multikoptéře, pravděpodobně nebude mít možnost kontrolovaně přistát. Bepilotní systém musí být schopný posílat informace, které zaznamená, do centrálního systému přes internet, proto potřebuje, při letu, přístup k internetu. A kvůli autonomnímu letu potřebuje bezpilotní systém

přijímač pro GPS pro naplánování trasy. Bezpilotní systém by měl létat po delší dobu a na velké vzdálenosti, proto je možné, že se bezpilotní systém dostane do deště a měl by být tedy dostatečně odolný vůči vodě. Na druhou stranu, by se bezpilotní systém neměl dostat do příliš nepříznivých podmínek, proto není potřeba příliš pevný, ale drahý a těžký materiál. Navíc by měl bezpilotní systém létat jen blízko potrubí, takže stačí, aby byl bezpilotní systém schopný létat jen pár desítek metrů nad zemí. Bepilotní systém bude muset mít větší nádrž na palivo, protože bude létat na větší vzdálenosti. Hmotnost bezpilotního systému bude navyšovat jen spalovací motor a nádrž na palivo. Samotná konstrukce by byla z lehčích materiálů a bezpilotní systém musí unést jen kameru, takže nosnost bude nízká. Díky tomu bude hmotnost bezpilotního systému poměrně nízká.

Můj návrh ideálního bezpilotního systému pro tuto činnost by měl splňovat tyto parametry:

Tabulka 10: Návrh bezpilotního systému 5

Typ konstrukce	Letoun
Počet motorů	1
Druh motoru	Spalovací
Hmotnost prostředku	5 kg
Maximální nosnost	Hmotnost kamery
Materiál	Laminát
Failsafe systém	Základní + padák
Kamera	Ano (normální a infračervená)
Přijímač signálu	Rádiový, GPS, připojení k internetu
Dolet	100 km
Maximální doba letu	80 minut
Maximální výška letu	50 m
Řízení	Manuální + Autonomní

5. Závěr

Zpracování bakalářské práce mi přineslo možnost se podrobněji seznámit s bezpilotními systémy a komerčním prostředím, které je v dnešní době obklopuje. To společně s nastudováním legislativních pravidel přispělo k lepšímu pochopení dále rozvinuté problematiky využití bezpilotních systémů v komerčním prostředí jak z obecného hlediska současného vývoje, tak z finančního a investičního hlediska.

Ukázalo se, že využití bezpilotních systémů, co do fantazie, nezná mezí, ale jen některá využití mají skutečný komerční potenciál. Avšak tomuto potenciálu v mnoha případech brání legislativa, která umožňuje ve většině států jen omezené aplikace bezpilotních systémů. Každopádně i legislativa prochází vývojem a v brzké době můžeme čekat legislativní změny v této oblasti, které mohou otevřít brány širšímu využití bezpilotních systémů.

Konkrétně u většiny komerčních využití pomocí bezpilotních systémů je omezení způsobeno tím, že dle legislativy ve většině zemích musí mít pilot s bezpilotním systémem přímý vizuální kontakt. Nicméně vývoj většiny těchto využití probíhá alespoň na experimentální a výzkumné úrovni. Mnoho společností již představilo svůj koncept a je tedy možné nahlédnout, jakým směrem se tyto činnosti budou pravděpodobně ubírat. Vypracování této práce bylo pro mě velkým přínosem v mnoha aspektech.

V této práci jsem se nejen více seznámil s tématem, které mě zajímá, ale také jsem si rozšířil obzory, co do technické stránky psaní akademických prací. Věřím, že nashromážděné informace, vzhledem k rychlému vývoji sektoru bezpilotních systémů a jejich využití, zúročím i při dalším studiu nebo v pracovním životě.

V práci jsem se snažil dostatečně vysvětlit všechny základní stránky bezpilotních systémů. V teoretické části jsem se pokusil vysvětlit nejen všechny komponenty bezpilotních systémů, ale i současnou legislativu. Analýzou všech těchto informací jsem vytvořil různé návrhy bezpilotních systémů pro určité účely. A proto bych za hlavní cíl své bakalářské práce považoval nejen proces samotných návrhů bezpilotních systémů, ale také analýzu různých informací o bezpilotních systémech, jejího vyhodnocení a výběru vhodných prvků do návrhu.

Výsledná podoba práce by tedy měla sloužit k pochopení základních prvků bezpilotních systémů a ke snadnému výběru bezpilotních systémů pro různé činnosti. Navíc jsem se v práci snažil, co nejlépe popsat postup pro získání povolení k leteckým pracím, které potřebuje každý, kdo chce používat bezpilotní systémy ke komerčním účelům.

Literatura

- [1] The Drones Book. *Future*. 2016. 4. edice. [cit. 2018-07-30]
- [2] Letadla bez pilota na palubě. *Úřad pro civilní letectví*. [online]. 2018. [cit. 2018-11-10]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube>
- [3] KARAS, Jakub, TICHÝ, Tomáš. Drony. *Computer Press*. 2016. 1. vydání. [cit. 2019-08-22]. ISBN: 978-80-251-4680-4
- [4] NOVÁK, Jan. Trup dronu: uspořádání a materiály. *DroneWeb*. [online]. 2016. [cit. 2018-08-15]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/konstrukce/item/91-trup-konstrukce-material>
- [5] SEDLÁČEK, Karel. Budoucnost začíná dnes, Dron jako nový fenomén. *Digitovárna*. [online]. 2016. [cit. 2018-08-15]. Dostupné z: <http://www.digitovarna.cz/clanek-84/budoucnost-zacina-dnes-dron-jako-novyfenomen.html>
- [6] Unmanned Aerial Vehicle. *Wikipedia*. [online]. 2018 [cit. 2018-08-11]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle
- [7] An Overview Of UAV Hardware Components and Software. *Medium*. [online]. 2016 [cit. 2018-08-16]. Dostupné z: <https://medium.com/@UAVLance/an-overview-of-uav-hardware-components-and-software-2df983222e31>
- [8] AUSTIN, Reg. Unmanned aircraft systems: UAV Design, Development, and Deployment. *Wiley*. 2010. [cit. 2018-08-23]. ISBN: 978-0470058190
- [9] Multicopter. *The UAV guide*. [online]. 2014 [cit. 2018-08-18]. Dostupné z: <http://wiki.theuavguide.com/wiki/Multicopter>
- [10] UAV Airframe. *The UAV guide*. [online]. 2014 [cit. 2018-08-18]. Dostupné z: http://wiki.theuavguide.com/wiki/UAV_Airframe
- [11] Cold Weather Drone Flying Tips. *flitelab*. [online]. 2016. [cit. 2017-08-18]. Dostupné z: <https://blog.flitelab.com/2016/12/23/cold-weather-drone-flying-tips>
- [12] DALLAS, Dirk. The Best Tips for Flying Your Drone in Cold Weather. *From where I drone*. [online]. 2017. [cit. 2017-08-18]. Dostupné z: <http://fromwhereidrone.com/drone-tips-flying-cold-winter-weather>
- [13] HABIS, Cyrille. Weather Considerations for Drones. *Linked in*. [online] 2015. [cit. 2017-08-18]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/weather-considerations-drones-cyrille-habis>

- [14] Česká republika. Letecký předpis: L2 - Pravidla létání, doplněk X. *ICAO Annex (L). Ministerstvo obrany*. [online]. 2017. [cit. 2019-08-18]. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [15] EISENBEISS, Henri. *UAV Photogrammetry*. [online] 2009. [cit. 2017-08-20]. Dostupné z: http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/Blaue_Berichte_PDF/105.pdf
- [16] SAMIRA, Hayat, EVSEN, Yanmaz, RAHEEB, Muzaffar. *Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications: A Communications Viewpoint*. 2016. [cit. 2018-08-25]
- [17] Sensor Technology for Industrial Drones. *AZoSensors*. [online] 2017. [cit. 2018-08-26]. Dostupné z: <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=973>
- [18] A. R. Jha. Theory, Design, and Applications of Unmanned Aerial Vehicles. *CRC Press*. 2016. [cit. 2018-08-25]. ISBN: 978-1498715423
- [19] STERN, Geoffroy. What are the key components of a UAV? *Quora*. [online] 2017. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.quora.com/What-are-the-key-components-of-a-UAV-1>
- [20] MARCO, Protti, RICCARDO Barzan. *UAV Autonomy – Which level is desirable? – Which level is acceptable? Alenia Aeronautica Viewpoint*. [online] 2007. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.sto.nato.int/publications/Pages/default.aspx>
- [21] SHAKHATREH, Hazim, SAWALMEH, Ahmad, AL-FUQAHA, Ala , DOU, Zuochoao,, ALMAITA, Eyad, KHALIL, Issa, OTHMAN, Noor Shamsiah, KHREISHAH, Abdallah, GUIZANI, Mohsen. *Unmanned Aerial Vehicles: A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges*. [online] 2018. [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: <https://arxiv.org/abs/1805.00881>
- [22] ADAMEC, Josef, KOCÁB, Jindřich. *Letadlové motory*. Corona. 2008. 2. vydání. [cit. 2019-08-16]. ISBN: 978-80-86116-54-9
- [23] Drones and remotely piloted aircraft (UAS/RPAS) – frequencies and radio licenses. *Traficom*. [online]. 2019. [cit. 2019-08-17]. Dostupné z: <https://www.traficom.fi/en/transport/aviation/drones-and-remotely-piloted-aircraft-uasrpa-frequencies-and-radio-licences>
- [24] Robots and drones saving lives in disaster areas. *EKU Online*. [online]. 2018. [cit. 2019-08-17]. Dostupné z: <https://safetymanagement.eku.edu/blog/robots-and-drones-saving-lives-in-disaster-areas/>
- [25] 5 ways drones are being used for disaster relief. *EKU Online*. [online]. [cit. 2019-08-17]. Dostupné z: <https://safetymanagement.eku.edu/blog/5-ways-drones-are-being-used-for-disaster-relief/>

- [26] Precizní zemědělství. *JamCopters*. [online]. [cit. 2019-08-17]. Dostupné z: <https://jamcopters.cz/industry/precizni-zemedelstvi>
- [27] Eyes in the sky: 5 ways drones will change agriculture. *Knowable Magazine*. 2018. [cit. 2019-08-17]. Dostupné z: <https://www.knowablemagazine.org/article/technology/2018/eyes-sky-5-ways-drones-will-change-agriculture>
- [28] Procesní schéma vydávání povolení k leteckým činnostem prováděným bezpilotními letadly. *Úřad pro civilní letectví*. [online]. [cit. 2019-08-18]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/letadla-bez-pilota-na-palube/procesni-schema-vydavani-povoleni-k-leteckym-cinnostem-provadenym-bezpilotnimi-letadly/>
- [29] Termografie. *Griffin Copter*. [online]. [cit. 2019-08-18]. Dostupné z: <https://www.gccz.cz/termovizni-inspekce>
- [30] Pipeline inspection with thermal diagnostics. *Workswell*. [online]. [cit. 2019-08-18]. Dostupné z: <https://www.drone-thermal-camera.com/drone-uav-thermography-inspection-pipeline/>
- [31] Vrtulník. *Wikipedia*. [online]. 2019. [cit. 2019-08-18]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vrtuln%C3%ADk>
- [32] Helicopter. *Wikipedia*. [online]. 2019. [cit. 2019-08-18]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Helicopter>
- [33] BARR, Matt. RC Hot air balloon. *Hackaday*. [online]. 2017. [cit. 2019-08-18]. Dostupné z: <https://hackaday.io/project/18086-rc-hot-air-balloon>
- [34] Hot air balloon. *Wikipedia*. [online]. 2019. [cit. 2019-08-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Hot_air_balloon
- [35] Horkovzdušný balón. *Wikipedia*. [online]. 2019. [cit. 2019-08-18]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Horkovzdu%C5%A1n%C3%BD_balon
- [36] KOVAR Karel. České radiokomunikace testují možnost využití dronů při kontrolách vysílačů. *Chip*. [online]. 2014. [cit. 2019-08-18]. Dostupné z: <https://www.chip.cz/novinky/ceske-radiokomunikace-testuji-moznost-vyuziti-dronu-pri-kontrolach-vysilacu/>
- [37] Inspekce ve stavebnictví. *W-Technika group*. [online]. [cit. 2019-08-18]. Dostupné z: <http://www.pro-drony.cz/aplikace/inspekce-ve-stavebnictvi/>
- [38] Kluzák. *Wikipedia*. [online]. 2019. [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kluz%C3%A1k>

- [39] MARTINEZ, Kennedy. Best RC gliders & RC sailplanes – Reviews & analysis. *Dronethusiast*. [online]. 2019. [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: <https://www.dronethusiast.com/best-rc-gliders/>
- [40] Balloon (aeronautics). *Wikipedia*. [online]. 2019. [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Balloon_\(aeronautics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Balloon_(aeronautics))
- [41] Airship. *Wikipedia*. [online]. 2019. [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Airship>
- [42] RC blimps. *RC Airplane World*. [online]. [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: <https://www.rc-airplane-world.com/rc-blimps.html>
- [43] HANUS, Daniel. Pohon letadel. *České vysoké učení technické v Praze*. 2008. 3. edice. [cit. 2019-08-19]. ISBN: 978-80-01-04104-8
- [44] Elektromotor. *Wikipedia*. [online]. 2019. [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>
- [45] VAN HOY, Gerald. Drone dirigibles... No really: Dirigibles! *The Analyst Syndicate*. 2018. [cit. 2019-08-21]. Dostupné z: <https://www.thansyn.com/drone-dirigibles-no-really-dirigibles/>
- [46] PX4 Autopilot user guide. *Dronecode*. [online]. 2019. [cit. 2019-08-21]. Dostupné z: <https://docs.px4.io/master/en/index.html>
- [47] Understanding drone payloads. *COPTRZ*. [online]. 2016. [cit. 2019-08-23]. Dostupné z: <https://www.coptrz.com/understanding-drone-payloads/>
- [48] GRIFFIS, Christopher, WILSON, Timothy, SCHENIDER, Jeffrey, PIERPONT, Peter. *Unmanned aircraft system propulsion systems technology survey*. [online]. 2009. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1042&context=publication>
- [49] Raketový motor. *Wikipedia*. [online]. 2018. [cit. 2019-08-24]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Raketov%C3%BD_motor
- [50] Propulsion system. *The UAV guide*. [online]. 2014. [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: http://wiki.theuavguide.com/wiki/Propulsion_System
- [51] Top drone package delivery projects around the world. *DronesOnVideo*. [online]. [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: <https://dronesonvideo.com/drone-delivery-around-world/>
- [52] Delivery drone. *Wikipedia*. [online]. 2019. [cit. 2019-08-25]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Delivery_drone

Seznam tabulek

Tabulka 1:	Požadavky na bezpilotní systém 1	50
Tabulka 2:	Návrh bezpilotního prostředku 1	51
Tabulka 3:	Požadavky na bezpilotní systém 2	53
Tabulka 4:	Návrh bezpilotního prostředku 2	54
Tabulka 5:	Požadavky na bezpilotní systém 3	57
Tabulka 6:	Návrh bezpilotního prostředku 3	58
Tabulka 7:	Požadavky na bezpilotní systém 4	60
Tabulka 8:	Návrh bezpilotního prostředku 4	61
Tabulka 9:	Požadavky na bezpilotní systém 5	63
Tabulka 10:	Návrh bezpilotního prostředku 5	64