



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

ÚSTAV LETECKÉ DOPRAVY

Ondřej Prokurát

**POROVNÁNÍ PROFESIONÁLNÍCH BEZPILOTNÍCH
PROSTŘEDKŮ S KOLMÝM VZLETEM A PŘISTÁNÍM**

Bakalářská práce

2019



K621 **Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Ondřej Prokurát

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Porovnání profesionálních bezpilotních prostředků s kolmým vzletem a přistáním**

Název tématu (anglicky): Comparison of Professional UAVs with Vertical Take-off and Landing

Zásady pro vypracování

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

- Současné využití bezpilotních prostředků
- Konstrukce draků bezpilotních prostředků s kolmým vzletem a přistáním
- Pohony bezpilotních prostředků
- Porovnání funkčních vlastností bezpilotních prostředků s kolmým vzletem a přistáním a zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých přístupů
- Budoucnost bezpilotních prostředků




- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Předpis L2, Doplněk X
Jakub Karas, Tomáš Tichý: Drony. 2018
Stephan zu Hohenlohe: Drony. 2016
Ella Atkins, Anibal Ollero, Antonios Tsourdos: Unmanned Aircraft Systems. 2017

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Novák, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **19. října 2018**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce 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.


.....
Ondřej Prokurát
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 19. října 2018

Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady, informace a cenné rady potřebné pro vypracování této bakalářské práce. Zvláště děkuji panu Ing. Martinu Novákovi, Ph.D. za věcný, odborný a vstřícný přístup při vedení této práce. V neposlední řadě děkuji své rodině a blízkým za vytváření stabilního zázemí a poskytování velké podpory po celou dobu studia.

Prohlášení

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

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

Nemám závažný důvod proti 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 26. srpna 2019



Ondřej Prokurát

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

POROVNÁNÍ PROFESIONÁLNÍCH BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ S KOLMÝM VZLETEM A PŘISTÁNÍM

Bakalářská práce

2019

Ondřej Prokurát

Abstrakt

Bakalářská práce „Porovnání profesionálních bezpilotních prostředků s kolmým vzletem a přistáním“ se zabývá analýzou aktuálního stavu v oblasti konstrukcí a pohonů bezpilotních prostředků. V praktické části jsou porovnány funkční vlastnosti jednotlivých bezpilotních prostředků a na základě srovnání vyhodnoceny vhodné oblasti použití. Práce je uzavřena predikcí pravděpodobného vývoje daného oboru v budoucnosti.

Klíčová slova

Bezpilotní prostředek, konstrukce, pohon, rotor, vrtule, maximální vzletová hmotnost, nosnost, výdrž

Abstract

Bachelor thesis „Comparison of professional UAVs with vertical take-off and landing“ is dealing with analysis of construction and propulsion of UAVs in current state. The applicative part is focused on comparison of functional properties of individual UAV, which is used for determining their suitable usage. Thesis is concluded with prediction of probable development of the given field.

Keywords

Unmanned Aircraft, construction, propulsion, rotor, propeller, maximum take-off mass, payload, endurance

Obsah

Seznam použitých zkratek	7
Úvod	8
1 Současné využití bezpilotních prostředků	9
1.1 Fotografie a video	9
1.2 Letecký monitoring.....	11
1.3 Mapování povrchu	12
1.4 Logistika a transport	13
1.5 Vojenské využití.....	14
1.6 Záchrané složky.....	15
1.7 Aplikace ve spojení se speciálními senzory	16
1.8 Ochrana přírody.....	17
1.9 Bezpečnostní služby	18
1.10 Průmysl.....	18
2 Konstrukce draků bezpilotních prostředků.....	20
2.1 Vrtulník	20
2.1.1 Typy konstrukcí vrtulníků	22
2.1.2 Další konstrukční specifikace vrtulníků	23
2.2 Multikoptéra	23
2.2.1 Typy konstrukcí multikoptér	25
2.2.2 Další konstrukční specifikace multikoptér	28
2.3 Hybridní konstrukce	28
2.3.1 Typy hybridních konstrukcí	29
2.4 Balón a Vzducholod'.....	32
2.4.1 Vzducholod'	32
2.4.2 Balón	34
3 Pohony bezpilotních prostředků	35
3.1 Elektrický pohon	35

3.1.1	Zdroj elektrické energie	36
3.1.2	Regulační člen.....	37
3.1.3	Elektrický motor	38
3.2	Spalovací pohon.....	39
3.2.1	Pístové motory.....	39
3.2.2	Proudové lopatkové motory	40
3.3	Hybridní pohon	41
4	Porovnání funkčních vlastností bezpilotních prostředků	43
4.1.1	Elektrický jednorotorový vrtulník	43
4.1.2	Spalovací jednorotorový vrtulník	44
4.1.3	Elektrický koaxiální vrtulník.....	45
4.1.4	Hybridní koaxiální vrtulník napájený palivovými články	46
4.1.5	Elektrická multikoptéra.....	47
4.1.6	Hybridní multikoptéra napájená pístovým generátorem	48
4.1.7	Hybridní multikoptéra napájená palivovými články.....	49
4.1.8	Hybridní konstrukce s elektrickým pohonem.....	49
4.1.9	Hybridní konstrukce s kombinovaným pohonem.....	50
4.1.10	Vzducholoď s elektrickým pohonem a Vzducholoď s hybridním pohonem	51
4.2	Srovnávací tabulka a grafy	52
4.3	Vhodné využití jednotlivých bezpilotních prostředků	55
4.3.1	Elektrický jednorotorový vrtulník	55
4.3.2	Spalovací jednorotorový vrtulník	55
4.3.3	Elektrický koaxiální vrtulník.....	56
4.3.4	Hybridní koaxiální vrtulník napájený palivovými články	56
4.3.5	Elektrická multikoptéra.....	57
4.3.6	Hybridní multikoptéra napájená pístovým generátorem	57
4.3.7	Hybridní multikoptéra napájená palivovými články.....	58
4.3.8	Hybridní konstrukce s elektrickým pohonem.....	58
4.3.9	Hybridní konstrukce s kombinovaným pohonem.....	59

4.3.10	Vzducholoď s elektrickým pohonem a Vzducholoď s hybridním pohonem	59
5	Budoucnost bezpilotních prostředků	60
5.1	Snímání okolí z letecké perspektivy	60
5.1.1	Konstrukce a pohon.....	60
5.2	Přeprava zboží a materiálu	61
5.2.1	Konstrukce a pohon.....	61
5.3	Přeprava osob	62
5.3.1	Konstrukce a pohon.....	62
5.4	Další aplikace	63
Závěr	64
Použité zdroje	66
Seznam obrázků	71
Seznam tabulek a grafů	72

Seznam použitých zkratek

UAV – Unmanned Aerial Vehicle (Bezpilotní vzdušný prostředek)

UAS – Unmanned Aircraft System (Bezpilotní systém)

FPV – First person view

Li-Pol – Lithium-ion polymer battery

LiFe – Lithium iron phosphate battery

ESC – Electronic speed controller (Elektronický regulátor)

ÚCL – Úřad pro civilní letectví

CW – Clockwise (ve směru hodinových ručiček)

CCW – Counter clockwise (proti směru hodinových ručiček)

Úvod

Konstrukce a výroba bezpilotních létajících prostředků je v dnešním technicky vyspělém světě velmi žádaná a perspektivní. Lze pozorovat její rozvoj a všeobecně lze předpokládat široké využití v blízké budoucnosti. Práce byla zpracována za účelem analyzování aktuálních možností při konstrukci draků a pohonů bezpilotních prostředků, které mají zásadní vliv na výsledné vlastnosti. Cílem bakalářské práce je návrh vhodného využití bezpilotních leteckých prostředků s kolmým vzletem a přistáním v závislosti na konstrukci a pohonu a dále určení možného vývojového trendu bezpilotních prostředků do budoucnosti.

V úvodní části práce jsou podrobně rozebrány nejčastější účely, pro které jsou bezpilotní prostředky v dnešní době využívány. Dále jsou zde popsány hlavní důvody využití bezpilotních prostředků v daném oboru. Jsou tu uvedeny jak kladné, tak i záporné faktory, spojené s nahrazením dříve používaných řešení pro vykonávání daných úkolů, které nyní nahradilo využívání bezpilotních prostředků.

Další část práce je zaměřena na problematiku, týkající se konstrukce draků. K jednotlivým typům draků, jsou doplněny základní vlastnosti s jejich výhodami a nevýhodami a ty jsou dále rozděleny dle dalších možných řešení. Následující část práce je zaměřena na pohony bezpilotních prostředků. Jsou zde popsány specifikace jednotlivých typů a základní vlastnosti s jejich možností.

V praktické části je práce zaměřena na technické specifikace vybraných bezpilotních prostředků. Ve srovnávací tabulce, která se nachází v této části práce, jsou uvedeny nejdůležitější letové vlastnosti, jako je maximální vzletová hmotnost, únosnost při dané letové době a další potřebné údaje. Po získání veškerých údajů jsou srovnávací metodou vyhodnoceny kladné a záporné stránky jednotlivých bezpilotních prostředků. Na základě těchto znalostí jsou určeny vhodné oblasti pro využití bezpilotního prostředku s danou kombinací draku a pohonu.

V poslední části práce je uvedena prognóza vývoje a využitelnosti bezpilotních prostředků, možností draků a jejich pohonů na základě všech získaných informací v průběhu psaní této práce. Jsou v ní uvedeny hlavní oblasti, kam bude bezpilotní provoz směřovat. Pro každou oblast jsou určeny jednotlivé konstrukce draků v kombinaci s typy pohonů, které s největší pravděpodobností budou v budoucnu hojně využívány.

1 Současné využití bezpilotních prostředků

V současné době zažívají bezpilotní letecké prostředky velký rozvoj ve všech odvětvích. Objevuje se spousta návrhů na nová využití. Důvodem je především relativně malá finanční náročnost a vysoká variabilita bezpilotních prostředků za poměrně nízkého rizika. Podrobně bude rozebíráno pouze profesionální využití bezpilotních prostředků. Základní rozdělení současného využití bezpilotních prostředků vypadá takto: [1]

Amatérské

- Fotografie a video
- Rekreační a sportovní létání za přímé viditelnosti
- Rekreační a sportovní využití bez přímé viditelnosti (FPV)

Profesionální

- Fotografie a video
- Letecký monitoring
- Mapování povrchu
- Logistika a transport
- Vojenské využití
- Záchrané složky
- Aplikace ve spojení se speciálními senzory
- Ochrana přírody
- Bezpečnostní služby
- Průmysl

1.1 Fotografie a video

Momentálně jsou bezpilotní prostředky jednoznačně nejvíce využívány k pořizování leteckých fotografií a videa. Jedná se o činnosti, pro které je velice nákladné a často zbytečné vysílat skutečné letadlo s posádkou na palubě. U bezpilotních prostředků je k tomu potřeba výrazně méně financí a času při srovnatelné kvalitě záznamu. Bepilotní prostředky dokážou pořizovat fotografie a video dostatečně dlouho a dostatečně daleko od řídicí stanice. Konkrétní účely fotografií a videa lze následovně rozdělit:

- Marketingové účely
- Filmové účely
- Dokumentace stavu

- Streamování obrazu
- Technické aplikace
- Média

V oblasti marketingu jsou letecké záběry velice oblíbené a využívány. Letecké fotografie či video poskytují pohled na daný objekt z jiné perspektivy, než ze které je objekt vnímán ze země. Navíc umožňují daleko širší záběr okolí, a tudíž lze z takových snímků získat více informací, než kolik by bylo vidět ze snímků pořízených ze země. Nejčastějšími aplikacemi leteckých záběrů v oblasti marketingu jsou fotografie či videa přírody, památek, areálů, obcí měst a společenských akcí. Případně mohou být fotografie panoramatické. Tyto materiály se pak běžně používají pro nejrůznější propagaci a reklamu těchto míst, objektů nebo událostí. Specialitou jsou virtuální prohlídky, kdy si zákazníci mohou dané místo nebo objekt prohlédnout detailně z perspektivy, aniž by museli draze platit například vyhlídkový let.

Z hlediska profesionálního využití jsou jedni z největších uživatelů bezpilotních prostředků filmaři. Jejich použití bezpilotních prostředků můžeme rozdělit na dvě podkategorie. V první kategorii nahrazují pilotované prostředky bezpilotními. Jako příklad lze uvést pilotovaný vrtulník nahrazený menším, ale bezpilotním strojem. Tím došlo k výraznému zlevnění provozu za srovnatelné kvality záznamu a snížení rizik. Druhá kategorie je pořizování akčních záběrů z relativně malé vzdálenosti. Často se takové záběry natáčejí ve členitém terénu. Díky malé velikosti bezpilotního prostředku dochází při střetu s překážkou k poměrně nízkým škodám. Tato možnost byla pro pilotované prostředky značně nebezpečná až nemožná. Natáčení akčních záběrů bezpilotním prostředkem také může nahradit složité filmařské konstrukce, kdy je docíleno stejného efektu.

Dokumentace krajiny, nebo stavu objektů úzce souvisí s leteckým monitoringem. Letecké fotografie a video využívají památkáři a architekti jako podkladový materiál. Snímky je možné pořizovat s časovým odstupem a získat tak periodický vývoj sledovaných objektů.

Streamování obrazu je nejrozšířenější na sportovních událostech. Ještě v nedávné době bylo na těchto akcích, jako je například olympiáda, potřeba složitých konstrukcí a kamerových systémů pro natáčení sportovních výkonů jednotlivých závodníků. Rozsah natáčecích úhlů a pozic byl omezený. S příchodem bezpilotních prostředků bylo dosaženo výrazného snížení nákladů a také značné zvýšení variability. Video je možné natáčet ze širší škály pozic. Další výhodou je možnost natáčení dynamických záběrů nebo plynule sledovat trajektorii sportovců. Jediné omezení vznikají při kladení důrazu na bezpečnost. Z tohoto důvodu jsou, oproti kamerovým konstrukcím, omezeny průlety nad diváky.

U technických aplikací mohou obrazové materiály sloužit jako podklady pro analýzy zpracování obrazu.

Média nebo také novináři používají pro své účely bezpilotní prostředky s velkou oblibou. Mají zájem o co nejzajímavější a nejpřímější záběry událostí. Největší výhodou pro ně přináší jejich prostupnost, kdy například u dopravní nehody policisté novináře nepustí přímo k místu události, ale ti ji jsou pomocí bezpilotního prostředku schopni zachytit. Čím větší a globálnější pohroma je, tím větší využití pro ně najdou. Výsledné záběry jsou pak každodenně vidět například v televizních novinách, ale mohou se objevit i v tištěné podobě. Kameramanům je takto výrazně ulehčena práce ve snaze se dostat s kamerovou technikou na místo události. Jsou také vystaveni daleko nižšímu riziku úrazu, které se přenáší na bezpilotní prostředek.[1]

1.2 Letecký monitoring

Další odvětví, ve kterém lze využítí bezpilotních prostředků označit jako rychle rostoucí, je letecký monitoring. V minulosti byl monitoring zajišťován buď pilotovanými prostředky, nebo nebyl prováděn letecky, ale i například horolezecky či jinými způsoby. Využití pro letecký monitoring lze najít především v těchto případech:

- Výškové inspekce
- Krizové události
- Dokumentace stavu
- Online podklady pro rozhodovací proces
- Preventivní monitoring

Nejčastěji se pomocí bezpilotních prostředků monitorují výškové objekty, jako jsou například komíny, výškové budovy, přehradní nádrže, elektrické stožáry nebo větrné elektrárny. Tyto kontroly byly dříve zastávány pilotovanými prostředky či horolezci. Velice se hodí na pravidelný monitoring těchto staveb. Bepilotní prostředky mohou ale zastávat pouze funkci kontroly, nikoliv okamžité akce. Je tedy výhodné pomocí nich získat rychlé a přesné informace o místě a rozsahu poškození, na které se následně mohou poslat technici. [1]

Krizové situace řeší převážně integrované záchranné složky, o kterých bude psáno v další části textu.

K dokumentaci aktuálního stavu se bezpilotní prostředky používají například u plošných a liniových staveb. Je zde patrný vývoj stavby v čase od začátku po dokončení. Získané podklady mohou sloužit pro prezentační, marketingové, analytické a archivní účely. Využití

zde naleznou také ochránci přírody, kteří dokumentují stavy vegetace a populace živočichů. Na základě nasbíraných dat jsou vypracovány studie.

Aktuální snímky přenášené online mohou být nápomocné pro rozhodovací procesy. Může se jednat o ostrahu objektů nebo krizové situace všeho druhu. Například povodně, únik nebezpečných látek, zemětřesení nebo požárů. Na základě aktuálních informací z bezpilotního prostředku je následná reakce daleko přesnější a efektivnější.

Preventivní monitoring zastřešuje většinu výše zmíněných využití. Monitorují se místa, kde je velké riziko vzniku nějakého nebezpečí či významné události. A to vše při relativně nízkém hluku a nákladech na provoz. [2]

1.3 Mapování povrchu

Letecká mapa nám ukazuje kolmý pohled na zemský povrch. Jedná se tedy o reálné snímky zemského povrchu, které následně slouží k mnoha účelům. Využívány jsou profesionály, ale i širokou veřejností.

Letecké mapování lze zajistit několika způsoby. Největší pokrytí území, ale také nejnižší kvalitu mají družice. Jejich rozlišení je kolem půl metru povrchu na jeden pixel, což je vhodné především pro rozeznání členitosti terénu. Detaily již moc patrné nejsou. Velkoformátové letecké kamery nemusí nést pouze družice, ale k tomuto účelu jsou zařazena i speciální pilotovaná letadla. Ty jsou na tom s rozlišením lépe, pohybuje se okolo 20 centimetrů. Oproti družicím se to ovšem projeví i na menší ploše snímaného povrchu. V dnešní se technika i fotografické systémy rychle vyvíjí, a proto i hodnoty rozlišení nejsou fixní. U letadel je možné dosáhnout přesnosti až 3 centimetry, projeví se to ale na ceně a náročnosti mapování. Bepilotní prostředky otevírají nové možnosti leteckého mapování, a to především z hlediska náročnosti a kvality. Hlavní výhodou bezpilotního prostředku při mapování je možnost nést klasický fotoaparát, a přitom získat snímek s rozlišením pod jeden centimetr na pixel. Ve skutečnosti lze z takovéto mapy po přiblížení rozeznat detaily, jako jsou například květiny na louce. Možnost rychlého nasazení na zmapování určité oblasti pomocí bezpilotního prostředku je další nespornou výhodou. Nevýhodou je rozsah snímaného území, který je u bezpilotních prostředků pouze v řádech jednotek kilometrů. Z toho vyplývá, že UAS zatím nebudou plně nahrazovat mapování velkého území, ale hodí se spíše na rychlé zmapování aktuální situace. Využití pro mapování z bezpilotního prostředku lze rozdělit takto:

- Aktuální letecké mapy
- Krizové události
- Geografické informační systémy

- 3D digitální modely

Letecké ortofotomapy lze využít například pro zmapování areálů a následné vytvoření geoinformačních systémů. Jako příklad lze uvést hřbitov. Ale princip zůstává stejný i v mnoha jiných případech podobného typu. Celý hřbitov je zmapován bezpilotním prostředkem a vznikne tak ortofotomapa. Do ní je následně vnesen souřadnicový systém, ve kterém jsou zavedeny souřadnice každého hrobu či volného místa. Na tomto základě je vytvořena databáze s přesnou polohou a dalšími údaji o jednotlivých hrobech nebo volných místech. Veškeré údaje jsou zaneseny například do aplikace, která může výrazně usnadnit práci správcům těchto areálů. Vytvořit takovou databázi lze samozřejmě i jinými způsoby než pomocí bezpilotního prostředku. Další, v minulosti obvyklejší, možností je geodetické zaměření. Použití bezpilotního prostředku je ale méně nákladné a časově úspornější.

S geodetickým zaměřením souvisí další možnost, jak využít bezpilotní prostředek. Lze pomocí nich vytvářet digitální modely povrchu a terénu. Je zaneseno velké množství bodů, které slouží pro vytváření 3D modelů povrchu a v jistých případech nahrazují geodetické zaměření. K snímání povrchu pro tento účel se používají metody fotogrammetrie. Z výstupů tohoto typu lze následně získávat nejrůznější data od výpočtů ploch a objemů pozemních útvarů až po kompletní vrstevnicové mapy.

Ve stavebnictví se mapování bezpilotními prostředky používá hojně před vytvořením projektu stavby, kdy slouží jako podklady projektantům. Ti si mají možnost z leteckých záběrů podrobně prohlédnout prostorovou situaci v místech, kde má vzniknout daná stavba. V další fázi lze pomocí moderních softwarových aplikací virtuálně vsadit takovýto projekt do reálného prostředí a zjistit tak vhodnost dané stavby v daném prostředí. [1]

1.4 Logistika a transport

Mezi další možnosti využití bezpilotních prostředků patří transport a logistika, jedná se o aktuální téma, ale díky bezpečnosti a legislativě, kterou v ČR obstarává UCL, nejde zatím plně realizovat. Tato možnost by byla využívána převážně přepravními společnostmi. Zboží by se přepravovalo mnohem přímo k příjemci a za co nejmenší náklady, což by se společností vyplatilo a mají tak zájem tuto možnost přepravy rozvíjet.

Z hlediska bezpečnosti je důležité vymyslet pravidla, která budou odpovídat požadavkům. Další dílčí problém, který by měl být vyřešen, jsou integrované senzory. V tomto případě se musí rozmístit senzory, které rozpoznají co nejrychleji překážky a umožní bezpilotním prostředkům bez problémů samostatně létat a vyhýbat se srážce s nějakým předmětem.

V dnešní době je ale tato technologie mnohem dále a jde poměrně rychle dopředu, a proto je největší překážkou právě legislativa.

Výhodou bezpilotních prostředků je možnost využívání transportu malých zásilek na těžce dostupná místa, jedná se třeba o dodávky léků. Jejich schopnosti lze využívat i v logistice, skladech nebo ve výrobních halách. Do jisté míry tato technologie umí nahradit lidskou obsluhu a dokáže sama přemísťovat zboží.

Bezpilotní prostředek může sloužit k záchraně života. I ve zdravotnictví nalezne svého využití. Díky jeho rychlosti se dostane na místo dopravní nehody mnohem dříve než záchranáři, lze na něj připevnit například defibrilátor, který poslouží jako první pomoc. Dále ho může využít horská služba nebo pobřežní hlídky například při lavině či tonutí, kde služba může poslat pomůcky pro navázání komunikace se zraněným.

Zajímavá kategorie je doprava/roznáška jídla a pití zákazníkům až do domu. I v tomto případě se nachází stejná rizika jako při přepravě zboží, a proto se zůstává ve fázi testování. Uvedení do provozu bude možné po snížení rizik úrazu a škodě na majetku. Používání bezpilotních prostředků v restauracích, které by to nahradily lidskou obsluhu, by ne asi každý člověk ocenil, přeci jen osobní kontakt je lidem bližší. V tomto ohledu by UAS nespádaly pod leteckou legislativu, a je-li zabezpečena bezpečnost obsluhovaným osobám, tak nic nebrání využívat drony i takto. Je ovšem pravděpodobné, že k tomuto účelu budou vhodnější pozemní drony či roboti.

Využití bezpilotních prostředků pro přepravu osob je samostatná kapitola a dost pravděpodobně daleká budoucnost. Dříve se budou objevovat létající prostředky pro přepravu osob podobné těm bezpilotním, je však více než zřejmé, že minimálně ze začátku budou pilotované lidmi přímo z paluby, nebude se tedy jednat o bezpilotní prostředek. V budoucnosti, po vyřešení mnoha problémů a rizik, lze očekávat, že bezpilotní prostředky budou sloužit jako autonomní dopravní prostředky. „*Autonomní letadlo je bezpilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení letu*“.[3]

1.5 Vojenské využití

Bezpilotní prostředky mají obrovský potenciál pro využití v armádě. Toho si jsou státy jednotlivých zemí dobře vědomy a investují do rozvoje tohoto odvětví velké finanční prostředky. Výsledkem jsou ty nejpokročilejší bezpilotní prostředky, kterými disponují právě ozbrojené síly. Armáda najde spoustu možností, jak je využít. Nejčastěji slouží k průzkumným účelům. Mohou být však použity i pro monitorování, mapování a mít na sobě speciální senzory. V neposlední řadě jsou modely určené k útočnému nasazení. [4]

Válečné konflikty byly odjakživa spjaty s velkými ztrátami na životech ať už vojáků nebo civilistů. Strana, která disponuje bezpilotními prostředky tak nevystavuje riziku své piloty, ale pouze techniku. Prostředek je pilotován ze základny, která může být i na druhé straně planety. Další výhodou bezpilotních prostředků pro armádní využití může být jejich velikost a s tou související i nízká hluchnost a špatná radarová zachytitelnost. Mohou být výrazně menší, protože nemusí nést lidskou posádku na palubě.

Armádní bezpilotní prostředky zcela určitě najdou spoustu možností využití a disponují tou nejpokročilejší technikou. Pravděpodobně budou daleko před těmi civilními. Spousta informací je ale utajovaných a není možné se k nim dostat. Proto se jimi v této práci nebude příliš zaobíráno.

1.6 Záchrané složky

Doslova pro záchranu životů slouží a budou sloužit bezpilotní prostředky policistům, záchranářům a hasičům. Krizových událostí je po celém světě denně miliony a jsou potřeba řešit akutně. Prioritou při řešení takovýchto situací je rychlost a přesnost, případně efektivita zásahu. Integrované záchrané složky používaly ke svým zásahům odjakživa nějakou techniku a bezpilotní prostředky začínají patřit do základního vybavení speciálních jednotek zásahu.

Tou nejjednodušší možností, jak využít bezpilotní prostředky napříč všemi integrovanými složkami je podpora při cvičeních těchto jednotek. Mohou sloužit pro dokumentaci cvičení, online přenosu obrazu a z toho plynoucí okamžité úpravy zásahu, nebo i jako předmět zásahu.

V reálné situaci využívají hasiči bezpilotní prostředky nejčastěji pro zjištění přesné polohy ohniska a pro monitorování rozsahu požáru. Mohou být použita i pro monitorování všech jiných událostí, jako je například znečištění. Pomáhají hasičům zmapovat prostředí události, a tak lépe zkoordinovat zásahové jednotky. Dále se používají ke kontrole statiky nestabilních budov, kdy by bylo velice nebezpečné kontrolovat tyto objekty fyzicky, protože kdykoliv hrozí zřícení. Do budoucna se s bezpilotními prostředky počítá i při samotném hašení požárů. Většina zatím testovaných řešení míří na nahrazení žebříků a výškových stříkaček právě bezpilotním prostředkem, který má daleko větší rozsah i s hadicí, která do něj přivádí vodu. [5]

Policisté využívají bezpilotní prostředky také pro monitorování, dokumentaci a koordinaci při cvičení svých zásahů. V reálných případech se jedná o monitorování dopravní situace, monitorování pomocí streamování obrazu například na sportovních zápasech nebo demonstracích. Speciální případ využití bezpilotních prostředků policií je vyhledávání osob. Jednotliví lidé mohou být hledáni pomocí standardní kamery s vysokým rozlišením, například

v davu, nebo může bezpilotní prostředek nahradit klasický pilotovaný vrtulník. Ten nese termovizi pro vyhledávání osob, kterou může nést i bezpilotní prostředek a obraz je přenášen v aktuálním čase na zem, kde se nachází experti na takováto vyhledávání. [6]

Záchranáři využívají bezpilotní prostředky při cvičeních ke koordinaci, monitoringu a dokumentaci. Zvláštní kategorií může být doručení potřebného vybavení ke zraněnému v nedostupném terénu, či ve zkrácené době, než se k postiženému dostane lidská posádka. Jsou také vhodné pro komunikaci s postiženými na místech a v případech, kde není dostupné žádné jiné komunikační zařízení. V neposlední řadě slouží záchranářům, stejně jako policii, k vyhledávání lidí na těžko dostupných místech a rychlému zhodnocení aktuálního stavu z perspektivy. [7]

Mezi záchranné akce lze označit i humanitární pomoc. Především jde tedy o dodávku potřebného zdravotnického vybavení, potravin a léků do těžko dostupných oblastí. Výhodné pro použití jsou u nedostatkových nebo málo trvanlivých lékařských potřeb, kdy je možné na požádání dopravit daný materiál na těžko dostupné místo z centrály za krátký čas a výrazně nižší náklady, než by tomu tak bylo v případě pilotovaného prostředku. Navíc je těchto prostředků díky nižší ceně možno provozovat daleko více. [8]

1.7 Aplikace ve spojení se speciálními senzory

Napříč všemi odvětvími a uživateli mohou být bezpilotní prostředky osazeny speciálními senzory, které jsou zrovna potřeba pro danou operaci. V době, kdy je technika natolik pokročilá, že dokážeme většinu senzorů vměstnat i do velice malých rozměrů je přímo výhodné tyto senzory osadit na bezpilotní prostředek. Hlavní překážky, které tomu bránily a můžou bránit, jsou rozměry a váha jednotlivých senzorů. Když je daný senzor příliš rozměrný, je nutné ho nainstalovat do klasického pilotovaného prostředku. Ve všech ostatních případech je ale většinou vhodnější a především méně finančně nákladné použít bezpilotní prostředek. Existuje mnoho speciálních senzorů, které slouží k měření mnoha věcí.

Mezi ty nejběžnější lze zařadit termovizní kameru, multispektrální a hyperspektrální kamery, skenery na laserovém principu, senzory pro měření atmosférických hodnot a mnoho dalších. Termovizní kamery mohou využívat policisté k hledání osob, hasiči k vyhledávání ohnisek požárů, nebo také stavitelé pro kontrolu úniků tepla, případně zemědělci pro vyhledávání zvěře.

Multispektrální a hyperspektrální kamery slouží například zemědělcům pro kontrolu plodin. Díky proměnnému snímanému spektru lze ze senzoru získat data například pro zjištění stavu plodin, nebo látky potřebné pro jejich výživu. Stavebnictví využívá bezpilotní prostředky

osazením speciálních a velmi drahých laserových skenerů, které dokáží velice rychle a přesně změřit veškeré vzdálenosti, ze kterých je pak možné vytvořit 3D modely daných objektů. Vše je hotové za velice krátkou dobu a podrobně s možností odfiltrování objektů, které mají jiné vlastnosti a pro zaměření se nehodí.

Senzory zavěšené na bezpilotním prostředku mohou sloužit pro měření ovzduší, respektive obsahu nějaké látky či plynu v atmosféře. Lze měřit závislost množství látky na výšce měření nebo směr pohybu například znečištění či úniku škodlivin při průmyslových haváriích. Bepilotních prostředků se speciálními senzory bylo využito při měření radioaktivity po havárii jaderné elektrárny. Byla to jediná možnost, jak radiaci v okolí elektrárny změřit bez ohrožení lidských životů. [1]

1.8 Ochrana přírody

Ochrana přírody je v posledních desetiletích velice závažným a řešeným tématem po celém světě. I v tomto odvětví se najdou perspektivní možnosti, jak využít bezpilotní prostředek. Zejména se tedy jedná o monitorování výskytu nějakého druhu rostlin, či živočichů. Konkrétně se hlídají invazivní druhy a jejich rozšiřování do krajiny, migrační trasy zvířat, změny biotopů a mnoho dalšího.

Například u populace druhů rostlin se využívá klasické fotomapy. Určité vytipované lokality jsou pravidelně sledovány a díky vysokému rozlišení kamery na palubě je možné sledovat rozšíření konkrétní rostliny v čase. Dnešní kamery jsou natolik pokročilé, že je možné rozlišit i malé kvítky rostlin na povrchu země. Je ovšem pravděpodobné, že při požadavku velké přesnosti je potřeba letět s bezpilotním prostředkem níže. To vyžaduje důkladnější přípravu trajektorie letu kvůli zvýšenému nebezpečí středu s překážkami. Jako ve všech dalších oborech jsou bezpilotní prostředky výborné pro dokumentaci stavu vegetace nebo živočichů na těžko dostupných místech. Dokážou obsáhnout daleko větší zdokumentovanou plochu za daleko menší náklady, než by tomu bylo dosaženo pomocí jiných metod.

Výsledná data jsou pak zpracována a zanesena do georeferencovaného modelu a ortofotomapy lokality a k tomu jsou přidány souřadnice z místa sběru snímků. Z těchto výstupů se následně dělají analýzy a na základě analýz vyhodnocována vhodná opatření, jak chránit přírodu. Ve většině případů se jedná o ochranu před člověkem samotným, který ovlivňuje a škodí krajině nejvíce. [9]

1.9 Bezpečnostní služby

Zejména v soukromém sektoru se bezpilotní prostředky začínají hojně používat k ochraně majetku či osob. Ať už se jedná o ochranu pozemků, areálů, skladů či jiných objektů, které mohou být ohroženy a je důležité je střežit. Samozřejmě že lze tyto prostory zabezpečit i jinými způsoby, než jsou bezpilotní prostředky. V ochraně velkých areálů nám však umožňují, jako ve většině ostatních odvětvích, výrazné snížení nákladů na takovou ochranu. Pro pokrytí velkého zemědělského areálu by byla potřeba mnoho kamer. Takovýto areál dokáže z výšky pokrýt i jeden jediný bezpilotní prostředek se šikovnou obsluhou. V druhém případě, kdy by byla místo kamer nasazena fyzická ochranka, lze bezpilotní prostředek označit za výrazně bezpečnější pro samotné členy ochranky a na základě dat získaných z bezpilotního prostředku může být kontaktována rovnou policie. Možnost instalovat na bezpilotní prostředek termokameru pro odhalení osob i ve špatné viditelnosti je samozřejmostí. V případě, že nejsou pachatelé zadrženi přímo u páčání nezákonné akce, může bezpilotní prostředek sloužit alespoň pro pořízení důkazního materiálu. Další výhodou je možnost poslání zásahových složek přímo na místo činu. Zejména ve velkých areálech je takováto identifikace polohy nezbytná. [10]

V neposlední řadě může bezpilotní prostředek využít vězeňská služba. Princip je podobný, jako při ostraze objektů, jen se hlídají především nedovolené úniky z objektu ven. Ve výsledku se ale monitorují pohyby v obou směrech, protože doručování předmětů vězňům také není žádoucí. V případě, že se vězni i přes všechny obrany podaří uprchnout ze střeženého objektu, většinou vězení, může vězeňská služba dotyčného sledovat do přivolání policie nebo dopadení pachatele.

1.10 Průmysl

V průmyslu se s bezpilotními prostředky počítá především do budoucna. Již dnes je ale pozorováno postupné nahrazování člověka bezpilotními prostředky. Důvody pro tento přechod mohou být snížená bezpečnostní rizika, finanční náklady na potřebnou techniku, finanční náklady na pracovní sílu, nebo například lepší dostupnost do těžko přístupných míst. Zpravidla se jedná o kombinaci jednotlivých faktorů. Jde o perspektivní odvětví, jelikož v průmyslu je dostatek finančních prostředků na vývoj.

Prozatím se ve velké většině bezpilotní prostředky v průmyslu používají pro nasazení, které již byli výše popsány. Ať už se jedná o zemědělství, energetiku, důlní průmysl, architekturu, stavebnictví, lesnictví a spoustu dalších. Ve velké většině případů je bezpilotní prostředek použit k nasnímání objektů či terénu pod sebou nějakým druhem senzoru. Nejčastěji jde

o kameru, termokameru, nebo dálkoměrné senzory, ale není to pravidlem. Tyto nasnímané podklady, ať už v reálném čase nebo na záznamu, jsou vyhodnoceny a daná společnost se na jejich základě rozhoduje. [11]

Existují však příklady využití bezpilotních prostředků v průmyslu, které neobstarávají pouze pořízení podkladů pro následnou analýzu. Příkladem tomu může být zemědělství, kde je možné pomocí bezpilotních fyzicky hnojit, zalévat nebo jinak ošetřovat plodiny. Do budoucna se plánuje pomocí UAS i sázení rostlin nebo sběr plodin na těžko dostupných místech, kam by se pozemní technika nedostala.

Transportní bezpilotní prostředky blokuje pouze legislativa. Poté se čeká, že budou hojně nasazeny pro transport zboží všeho druhu. V této oblasti firmy vidí obzvlášť velký potenciál a investují se sem velké finanční prostředky. Je velice pravděpodobné, že bezpilotní prostředky budou zajišťovat i jiné fyzické operace na těžko dostupných místech, nebo v příliš nebezpečných podmínkách. Zmínit lze i vývoj v oblasti bezpilotního prostředku, který bude zajišťovat funkci vysílače. Princip je podobný jako mají družice na oběžné dráze. Bepilotní prostředek by se však pohyboval daleko blíže povrchu zemskému a otvíral tak nové možnosti přenosu internetu do odlehklých oblastí. Tento způsob je výrazně levnější a zavedení internetu by trvalo daleko kratší dobu. Možností využití bezpilotních prostředků v průmyslu je nespočet a je na každé firmě, k čemu se ho rozhodne použít. Musí se jen zhodnotit přínos, rizika a legislativní možnosti. [12]

2 Konstrukce draků bezpilotních prostředků

Samotná konstrukce bezpilotního prostředku úzce souvisí s jeho vlastnostmi a od nich se pak odvíjí vhodné využití pro daný účel. V této kapitole budou rozebrány možnosti konstrukcí bezpilotních prostředků s kolmým vzletem a přistáním. Letadla, která potřebují pro svůj start a přistání rozjezdovou plochu ve vodorovném směru nebudou uvažovány. Možností, jak navrhnout drak pro bezpilotní prostředek je nespočet, ty nejběžnější budou popsány v této kapitole s výhodami a nevýhodami. Draky bezpilotních prostředků s kolmým vzletem a přistáním lze následovně rozdělit:

- Vrtulník
- Multikoptéra
- Hybridní konstrukce
- Balón a Vzducholod'
- Ostatní

Všechny z těchto variací, jak konstrukčně zvládnout bezpilotní prostředek, mají ještě spoustu svých vlastních konkrétních řešení. Hlavní princip letu však zůstává u jednotlivých kategorií stejný. Obvykle se liší způsobem řízení, a především vlastnostmi, které jsou vhodné pro rozdílné aplikace. V neposlední řadě se řeší konstrukční, a hlavně finanční nákladnost různých typů draků. [13]

2.1 Vrtulník

Vrtulník je jedním ze základních konstrukcí bezpilotního prostředku. Je možné říci, že jde o konstrukci bezpilotního prostředku, která je na ústupu a používala se mnohem více v minulosti. Jsou však aplikace, kde je i dnes tím nejvhodnějším řešením. Vychází z klasických pilotovaných vrtulníků. Jedná se o drak, který má maximálně 2 sobě rovnocenné hlavní rotory, které musí být alespoň částečně říditelné jinak než pouhou změnou otáček. Hlavní rotor, nebo rotory vrtulníku jsou zpravidla o průměru přibližně odpovídajícímu velikosti celého bezpilotního prostředku a ovládání je zajištěno změnou úhlu náběhu rotorů. V první řadě lze shrnout obecné výhody a nevýhody vrtulníků, bez ohledu na konkrétní typ řešení, takto:

Výhody vrtulníků:

- Vyšší efektivita
- Vyšší letová doba
- Vysoká únosnost
- Větší pasivní stabilita

Bezpilotní prostředky v podobě vrtulníků mají díky jednomu rotoru, maximálně dvou hlavním rotorům výrazně vyšší efektivitu než je tomu u vícerotorových řešení. Díky konstrukci vrtulníku je možné dosáhnout většího průměru rotoru a to má za následek snížení potřebných otáček rotoru pro let. Ze základů aerodynamiky vychází, že čím pomaleji se křídlo (v našem případě list rotoru) pohybuje, tím efektivnější je. Z toho samého důvodu je možné dosáhnout vyššího letového času a lépe uzpůsobit bezpilotní prostředek pro let s vyšším zatížením. Další zmíněnou výhodou je větší pasivní stabilita. Tu má za následek také velký rotor, který poskytuje, oproti jiným řešením, velkou rotující hmotu. Vzniká zde gyroskopický efekt. Z toho plyne, že rotor vrtulníku brání snadné změně osy své rotace. V praktickém případě je tedy odolnější například proti poryvům větru.

Nevýhody vrtulníků:

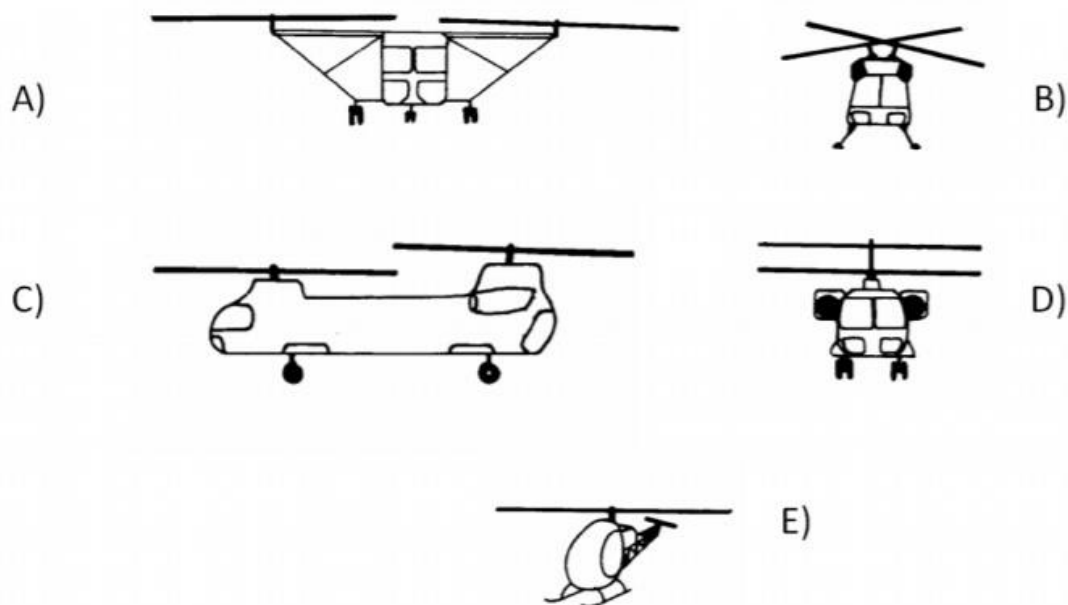
- Větší mechanická složitost (nutná častější údržba, menší spolehlivost)
- Větší finanční náklady
- Velké nebezpečí úrazu
- Vyšší škody při nehodě
- Vibrace
- Náročnější pilotáž

Vrtulníky jsou jedny z nejsložitějších dopravních prostředků a stejně tak je tomu s bezpilotními vrtulníky. Jedná se především o mechanickou složitost, ale určitá elektronika je ke stabilizaci zpravidla zapotřebí také. Některé mechanické součásti jsou hodně namáhány a rychle se opotřebovávají, proto jsou vrtulníky méně spolehlivé a vyžadují častější údržbu. S tou souvisí větší finanční nákladnost. Nejedná se pouze o cenu údržby, ale také samotné vyrobení vrtulníku je kvůli jeho složitosti drahé. Další nevýhody souvisí především s velkým rotorem. Jedná se o značnou rychle rotující hmotu, která při střetu s překážkou vytváří velké destruktivní škody jak na sobě, tak i na překážce. Veškeré toto nebezpečí hrozí, i když je bezpilotní prostředek v klidu a pouze se točí rotor za účelem startu nebo po přistání. Je již mnoho zkušeností s fatálními úrazy bezpilotním prostředkem vrtulníkového typu, proto je daleko složitější zajistit bezpečnost jak pro obsluhu, tak okolí vrtulníků. Ze stejného důvodu plynou i vyšší škody při nehodě, kdy i při nízké rychlosti celého bezpilotního prostředku může roztočený rotor způsobit fatální destrukci jak samotného vrtulníku, tak zasaženého okolí. Velká rotující hmota je také náchylná na správné vyvážení, bez kterého vznikají vibrace. Perfektní vyvážení rotoru je kolikrát velice náročné a let bez vibrací je hlavně při otáčení kolem jednotlivých os vrtulníku až téměř nemožný. S tím souvisí náročnější odfiltrování právě zmíněných vibrací při použití jednotlivých senzorů a aparatur. Z hlediska pilotáže je náročnější především přistání, taktéž kvůli velkému rotoru a vysokému přízemnímu efektu. [13]

2.1.1 Typy konstrukcí vrtulníků

Možností, jak nakonfigurovat jeden, nebo dva hlavní rotory je několik. Některé konfigurace se ovšem používají spíše u pilotovaných vrtulníků a do bezpilotního světa se přenesou pouze v podobě modelu. Modely slouží pouze pro rekreační účely, neplní konkrétní leteckou práci. Na ty se obvykle používají ty nejklaštější a nejjednodušší uspořádání rotorů. Nejobvyklejší uspořádání rotorů vrtulníku (viz Obrázek 1) jsou následovné:

- Jednorotorové
- Koaxiální
- Tandemové
- Příčné
- Prolínající se



(A - Příčné; B - Prolínající; C - Tandemové; D - Koaxiální; E – Jednorotorové)

Obrázek 1 - Uspořádání rotorů vrtulníků [14]

Jednorotorové uspořádání vrtulníku se skládá z jednoho hlavního rotoru a jednoho vyrovnávacího rotoru (případně trysky místo vyrovnávacího rotoru, což se u bezpilotních prostředků kvůli složitosti nepoužívá). Vyrovnávací rotor bývá zpravidla výrazně menší s osou umístěnou téměř kolmo na osu hlavního rotoru. Jedná se o zdaleka nejvyužívanější konstrukci a ve světě bezpilotních prostředků se jiné konstrukce objevují velice výjimečně. Hlavní výhodou je především relativně jednoduchá konstrukce draku a pohonného systému. Z toho plyne vyšší spolehlivost, menší finanční náklady na pořízení a provoz. Největší nevýhodou je

potřeba vyrovnávat reakční moment hlavního rotoru vyrovnávacím rotorem. Ten tak odebírá část výkonu pohonné jednotky. Další nevýhodou, především v bezpilotním světě, je nízko umístěný vyrovnávací rotor, který může při startu nebo přistání zavazit o nerovnosti na přistávací ploše. V reálném případě se může jednat například o trávu, kamínky, zvlněný povrch, či jiné překážky na ploše.

Koaxiální stavba vrtulníku spočívá v umístění dvou rotorů nad sebe bez vyrovnávacího rotoru. Rotory se točí proti sobě a reakční momenty se vzájemně vyruší. Hlava rotoru bývá zpravidla, kvůli dvěma rotorům nad sebou, vyšší a mnohem složitější. Složitost je jedna z výrazných nevýhod pro použití koaxiálních vrtulníků jako bezpilotních prostředků. S tou souvisí také vyšší hmotnost konstrukce a složitější nastavení. Naopak absence ocasního rotoru je výraznou výhodou, zmenšují se tak nároky na přistávací plochu, která nemusí být dokonale hladká a čistá. Další výhodou je mírně vyšší únosnost dvourotorového řešení oproti jednorotorovému při zachování stejného příkonu. Mírně snížená stabilita a vyšší odpor při dopředném letu nejsou u bezpilotní prostředků až tak velké překážky.

Ať už **tandemové, příčné** nebo **uspořádání s prolínajícími se rotory** se v bezpilotní sféře vyskytuje pouze pro rekreační modelářské účely. Pro profesionální použití jsou v tuto dobu tyto konstrukce příliš složité, nákladné, těžké nebo zbytečné.

2.1.2 Další konstrukční specifikace vrtulníků

Další konstrukční řešení u vrtulníků se týkají především nosného a stabilizačního rotoru. Existuje mnoho konkrétních typů rotorových hlav, které zajišťují řízení vrtulníku. U bezpilotních prostředků se používá především jednoduchostí a lehkou konstrukcí vyznačující se polotuhá konstrukce rotoru. Co se týče počtu nosných listů, nejčastěji jsou volena dvou, nebo třílistá řešení. Výrazným benefitem dvoulistého řešení je jednoduchost rotorové hlavy. Z toho vychází jednodušší nastavení a vyvážení rotoru. V případě, že je požadována nižší hlučnost, nižší provozní vibrace a vyšší únosnost, je možné použít třílisté řešení. To je vykoupeno vyšší složitostí rotorové hlavy a nižší účinností. [14]

2.2 Multikoptéra

Multikoptéry jsou zdaleka těmi nejrozšířenějšími bezpilotními prostředky na celém světě. Mají nejvíce možností využití v profesionální sféře a většinou jsou tou nejvyváženější variantou pro většinu aplikací. Jedná se o konstrukci s určitým počtem vrtulí, kdy osy jejich rotace jsou přibližně svislé a minimální počet vrtulí jsou dvě. Téměř vždy se multikoptéry řídí změnou otáček vrtulí, existuje však i řešení, kdy je možné měnit úhel nastavení vrtulí a tím ovládat multikoptéru. V případě dvouvrtulových a třívrtulových multikoptér je k řízení potřeba ještě natáčecí mechanismus minimálně jedné vrtule. Maximální počet vrtulí není omezen a variant

na jejich konkrétní rozpoložení je mnoho. Pravidlem jsou protichůdné rotace vrtulí pro vyrovnání reakčních momentů. Obecné výhody a nevýhody multikoptér, bez ohledu na počet a rozmístění rotorů jsou následovné:

Výhody multikoptér:

- Jednoduchá konstrukce
- Nízké pořizovací náklady
- Nižší rizika
- Jednoduchá obsluha
- Široká využitelnost

Zásadní výhodou bezpilotních prostředků v provedení multikoptér je jejich mechanická jednoduchost. Drak multikoptéry se zpravidla skládá ze čtyř jednoduchých částí. Z těla pro uchycení ramen a uložení elektroniky, přistávacího zařízení a samotných ramen, na jejichž konci je umístěna pohonná jednotka. S jednoduchou konstrukcí souvisí relativně nízké pořizovací náklady. Z důvodu, že je tah rozdělen mezi určitý počet vrtulí, které mají výrazně menší průměr, než je velikost celého bezpilotního prostředku, je dosaženo daleko menšího bezpečnostního rizika díky menší kinetické energii jednotlivých vrtulí. Při střetu vrtulí s překážkou v malé rychlosti také nevznikají tak velké škody, jako například u vrtulníků. Taktéž je daleko jednodušší multikoptéry obsluhovat. Výsledkem těchto výhod je široká využitelnost ve všech oborech.

Nevýhody multikoptér:

- Nízká efektivita
- Nižší letová doba
- Nižší únosnost
- Omezená maximální rychlost
- Nižší odolnost vůči větru

Mezi hlavní a v mnoha případech omezující vlastnost multikoptér patří jejich nízká efektivita. Ta je způsobena velkými otáčkami, které jsou potřeba pro docílení požadovaného tahu u relativně malých vrtulí. Ze základů aerodynamiky je známo, že pro vysokou efektivitu jsou potřeba naopak malé otáčky. Tento nedostatek se odráží v maximální letové době, která je značně omezena. Únosnost multikoptéry také souvisí s letovou dobou. Z technologického hlediska není problém udělat multikoptéru s vysokou únosností, ale je u ní problém dosáhnout dostatečného letového času. Vysoký odpor a horší účinnost mají také vliv na rychlý let, který je možný, ale opět není dostatečně efektivní. Nižší hmotnost rotujících vrtulí nemá příliš

pozitivní vliv na statickou stabilitu multikoptéry, která není příliš dobrá a nárazy větru ovlivňují plynulost letu. V dnešní době je však tento nedostatek poměrně dobře kompenzován moderní elektronikou. [13]

2.2.1 Typy konstrukcí multikoptér

Základní dělení multikoptér je podle počtu vrtulí. Nejnižší počet jsou dvě vrtule a nejvyšší počet vrtulí není stanoven. Obecně lze říci, že čím vyšší počet vrtulí, tím spolehlivější, stabilnější a výkonnější multikoptéra je. Mnoho pohonných jednotek ovšem znamená daleko větší pořizovací náklady, váhu a složitost. Další rozdělení je podle rozmístění a počtu ramen multikoptéry, které souvisí s počtem pohonných jednotek. Výhody a nevýhody jednotlivých konstrukcí budou popsány samostatně. U většiny běžně používaných draků není potřeba žádné mechanizace pro ovládání multikoptéry, výjimku tvoří pouze dvouvrtulové a třívrtulové provedení. Princip bude popsán níže. Není pravidlem, že na jednom rameni je pouze jedna vrtule. Rozdělit multikoptéry lze následovně:

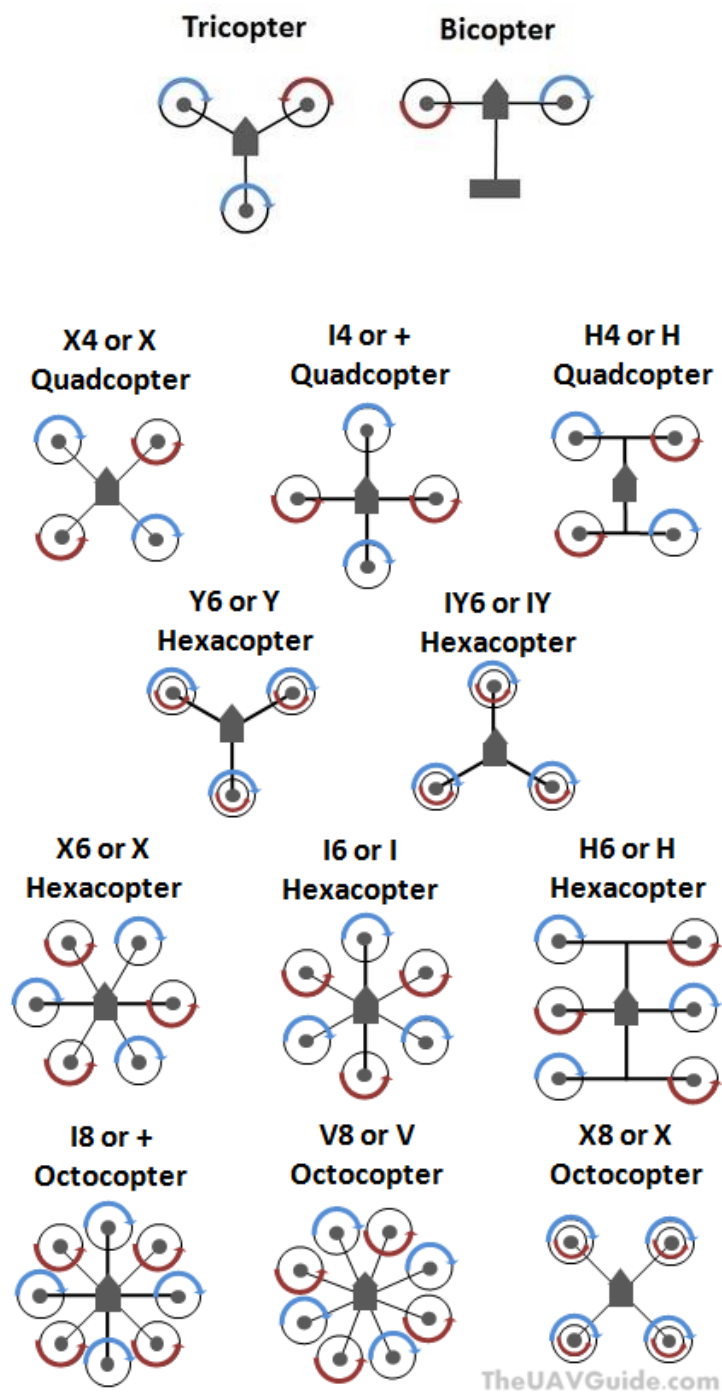
Rozdělení podle počtu vrtulí:

- Bikoptéra
- Trikoptéra
- Quadrokoptéra
- Pentakoptéra
- Hexakoptéra
- Oktoptéra
- Vyšší počet vrtulí

Rozdělení podle konfigurace ramen:

- Tvar písmene I
- Tvar písmene T
- Tvar písmene Y
- Tvar písmene H
- Tvar písmene X
- Tvar písmene V
- Tvar do +
- Jiná konfigurace

Nelze využít všechny možnosti rozmístění ramen pro všechny počty vrtulí. Některé konfigurace vyhovují pouze určitému počtu vrtulí. Rozmístění vrtulí (viz Obrázek 2) jsou uvedeny u jednotlivých typů multikoptér s daným počtem pohonných jednotek. [15]



Obrázek 2 - Uspořádání vrtulí multikoptér [15]

Bikoptéra je multikoptéra se dvěma protiběžnými vrtulemi. Rotace vrtulí mají opačný směr kvůli vyrovnání reakčních momentů. Uspořádání ramen je obvykle ve tvaru písmene „I“. Řízení bikoptéry ve všech osách nelze zajistit pouhou změnou otáček, ale jsou zde potřeba ještě minimálně dvě zařízení pro natáčení vrtulí do stran. Řízení bikoptéry je tedy zajištěno změnou otáček obou pohonných jednotek v kombinaci s natáčením vrtulí v ose ramen. Jedná se o velice levnou a jednoduchou konstrukci draku, která se ovšem v praxi téměř nepoužívá.

Nutnost použití serv k řízení není příliš výhodná, projevuje se zde velká nestabilita a složitost řízení. Drak není kvůli své jednoduchosti příliš robustní a má malou únosnost. Tato konstrukce je především pro experimentální a modelářské účely.

Trikoptéra má již běžnější počet pohonných jednotek, ale stále je tu potřeba řízení pomocí natáčení jedné vrtule. Ramena jsou rozestavěna obvykle do tvaru „Y“ nebo „T“. Dvě pohonné jednotky v přední části trikopty jsou pevně upevněny na ramenech, zadní pohonná jednotka je upevněna na rameni, které musí obsahovat otočný mechanismus pro natáčení vrtule do stran. Ten zajišťuje kompenzaci reakčních momentů vrtulí a otáčení okolo svislé osy, a tak změnu kurzu multikopty. Jedná se o relativně levnou konstrukci, která ovšem není příliš jednoduchá a odolná kvůli nutnosti použití servomotoru pro natáčení jedné vrtule. Nastavení není jednoduché a trikopty v letu není příliš stabilní. V praxi se tato konstrukce využívá pouze výjimečně.

Kvadrokopty je vůbec nejrozšířenější řešení ve světě bezpilotních prostředků. Je to dáno především tím, že čtyři vrtule je ta nejnižší, a tudíž i nejméně nákladná a nejlehčí varianta, jak docílit ovládní pouze změnou otáček vrtulí. Nejsou potřeba žádné další mechanismy pro natáčení vrtulí konstrukce může být tedy jednoduchá. Co se týče uspořádání ramen, nejčastěji je použita varianta do „X“ nebo „+“, v zásadě se jedná o stejné rozložení ramen, jen je multikopty pootočena o 90° pro dopředný let. Ramena vůči sobě u této varianty nemusí mít úhel 90°, vždy jsou však alespoň dva ze čtyř úhlů shodné. Další možností je tvar do „H“, který lépe vyhovuje pro umístění některých typů senzorů. Obecně platí, že dvě sousední vrtule mají vždy opačný směr rotace pro vyrovnání reakčních momentů. Tvary rámu do „X“ a „H“ jsou velice často používané. Vyznačují se jednoduchostí, robustností a odolností. Čtyři vrtule lze ještě umístit ve tvaru písmene Y, kdy je konstrukce podobná jako u trikopty, ale v zadní části jsou umístěny dvě protiběžné vrtule. V tomto případě není potřeba servomotoru a multikopty lze ovládat pouhou změnou otáček.

Pentakopty je zcela výjimečně využívaná konstrukce především z důvodu lichého počtu pohonných jednotek, které způsobují nevyrovnaný reakční moment.

Hexakopty je opatřena šesti pohonnými jednotkami, které jsou upevněny na pravidelně rozestavených ramenech kolem trupu multikopty. Používají se, podobně jako u kvadropty, rozestavení ve tvaru „X“ nebo „+“. Vrtule vzájemně vyrovnávají reakční momenty protiběžně točících se vrtulí a pro řízení stačí změna otáček jednotlivých pohonných jednotek. Konstrukce se šesti vrtulemi ve tvaru „X“ a „+“ se vyznačují velkou stabilitou, únosností, ale také váhou a pořizovací cenou. Šest vrtulí může být také poskládáno na rám ve tvaru „Y“, kde jsou dvojice vrtulí umístěny koaxiálně pod sebe. Lze tak dosáhnout výrazně menší velikosti multikopty při zachování vlastností hexakopty, kdy hlavní

nevýhodou je snížená účinnost koaxiálního řešení. Velkou předností hexakoptér je provozuschopnost i po selhání jedné pohonné jednoty. Z tohoto důvodu se používají v případech, kdy je potřeba dosáhnout větší spolehlivosti bezpilotního prostředku.

Oktokoptéra je velmi podobná hexakoptéře, pouze má o dvě vrtule navíc. Opět je říditelná pouhou změnou otáček a ramena jsou rozmístěna pravidelně do kruhového tvaru, kdy reakční momenty od vrtulí se vyrovnávají. Může být použita konstrukce ve tvaru „X“ nebo „+“. Oktokoptéra se vyznačuje ještě větší stabilitou, únosností, ale samozřejmě i cenou, složitostí a váhou. Je zde možné letu i s dvěma nepracujícími pohonnými jednotkami, což je velká přednost v oblasti spolehlivosti a bezpečnosti letu. Koaxiální řešení oktokoptéry je velice podobné kvadroptéře v provedení tvaru „X“, „+“ i „H“, pouze jsou na jednom rameni ze čtyř umístěny vždy 2 protiběžné vrtule nad sebou. Výhodou jsou opět menší rozměry za cenu menší. Při výpadku obou pohonných jednotek na jednom rameni je možné zachovat letuschopnost pouze v případě možnosti reverzovat směr otáčení protilehlých vrtulí.

Multikoptéry s vyšším počtem vrtulí jsou většinou vytvořeny kvůli potřebě vysoké únosnosti, nebo z experimentálních účelů. Čím více pohonných jednotek multikoptéra má, tím více stoupá cena a také váha a rozměry. Multikoptéry s vysokým počtem vrtulí mají pohonné jednotky obvykle rozmístěné na vhodném počtu nosných ramen, která jsou rozmístěna podle potřeby. [16]

2.2.2 Další konstrukční specifikace multikoptér

Multikoptérové konstrukce mohou být doplněny ochrannými rámy okolo vrtulí, případně může být celá multikoptéra v jednom velkém ochranném rámu. Ty jsou vhodné převážně pro pohyb v uzavřených místnostech, kde je velké riziko střetu s překážkou v pomalé rychlosti. U větších multikoptér se využívají pro ochranu osob před střetem s vrtulí. Materiály používané pro stavbu draku jsou nejčastěji kompozity a lehké kovy. Vrtule jsou pevné a nejčastěji dvoulisté. Používají se i třílisté a čtyřlisté. Dělí se na pravotočivé (CW) a levotočivé (CCW). Průměr a stoupání vrtulí jsou uváděné v palcích.

2.3 Hybridní konstrukce

Snaha o zkombinování hlavních výhod letounů s pevnými nosnými plochami s možností kolmého vzletu, přistání a visu na místě vede k hybridním řešením. Letouny s fixními křídly vynikají zejména znatelně větší účinností letu. Od toho se odvíjí výrazně vyšší vytrvalost, cestovní rychlost a dolet. Na druhou stranu je zde potřeba rozjezdová dráha, případně nějaký mechanismus pro vzlet a přistání. Manévry nejsou zdaleka tak plynulé, a zaberou mnohem větší prostor. Cílem hybridní konstrukce je co nejvíce využít výhod pevné nosné plochy a zároveň možnosti vzletu a přistání kolmo vůči zemi na malé přistávací ploše. Požaduje se

také možnost visu ve vzduchu a dobré manévrovací schopnosti na malém prostoru. Základní výhody a nevýhody bezpilotních prostředků kombinující princip letu lze následovně stanovit:

Výhody hybridního řešení:

- Vysoká efektivita
- Vysoký dolet
- Vysoká rychlost letu
- Velká vytrvalost
- Kolmý vzlet a přistání
- Možnost visu a manévrování na místě

Výhody hybridních konstrukcí bezpilotních prostředků jsou kombinací výhod bezpilotních letounů a bezpilotních multikoptér/vrtulníků. V zásadě jsou všechny tyto přednosti mírně degradované kvůli kombinované konstrukci, ale i přes to je konstrukce výhodná. Z bezpilotních letounů si hybridní řešení odnáší vysokou účinnost a s tím spojenou vytrvalost, rychlost a dolet. Z vlastností přejatých od multikoptér, nebo vrtulníků je důležité zmínit kolmý vzlet a přistání, vis ve vzduchu a manévrovatelnost v malém prostoru.

Nevýhody hybridního řešení:

- Velká mechanická složitost
- Vysoká váha
- Náročné ovládání
- Vysoká cena
- Kompromisní letové vlastnosti

Nevýhody kombinované konstrukce jsou také poměrně zřejmé. Jde především o velkou mechanickou složitost. S tou souvisí vyšší letová hmotnost, velké množství finančních prostředků na vývoj a výrobu, nebo náročné ovládání. Složitou fází letu je u takovýchto bezpilotních prostředků především přechod mezi jednotlivými principy letu. S moderní elektronikou jsou ovšem možnosti stále větší a před dělá menší potíže. Na závěr je potřeba zvážit, zda-li je hybridní bezpilotní prostředek výhodný pro danou operaci. Kompromisy, které nese složitost konstrukce, mohou převyšovat původně zamýšlené výhody. [13]

2.3.1 Typy hybridních konstrukcí

Nejčastěji používané kombinované konstrukce u bezpilotních prostředků lze rozdělit do dvou kategorií na konvertoplány a na letouny s přistávacím zařízením v ocasní části.

Konvertoplány jsou letouny pohyblivou určitou částí konstrukce, kdy je během letu možnost přesměrovat směr tahu pohonných jednotek. Vzlet a přistání je možné provádět v kolmém směru, kdy trup letounu zůstává ve vodorovné poloze. Konvertoplány je možné dále dělit podle typu konvertibilní konstrukce následovně:

- Otočné pohonné jednotky (viz Obrázek 3)
- Otočná křídla (viz Obrázek 4)
- Dvojité provedení (viz Obrázek 5)
- Rotorové křídlo (viz Obrázek 6)



**Obrázek 3 - Konvertoplán –
Otočné pohonné jednotky [17]**



**Obrázek 4 - Konvertoplán –
Otočná křídla [18]**



Obrázek 5 - Konvertoplán – Dvojité provedení [19]



Obrázek 6 - Konvertoplán – Rotorové křídlo [20]

Princip otočné pohonné jednotky spočívá v přesměrování tahu ve vertikálním směru pro vzlet na horizontální tah pro let vpřed. Otočné jsou pouze pohonné jednotky. Podobně je na tom princip otočného křídla, kdy se otáčí celé křídlo letounu se všemi pohonnými jednotkami na něm upevněných. Tato konstrukce je z aerodynamického hlediska výhodnější pro vis, protože je náběžná hrana křídla vždy přímo obtékána proudem vzduchu od pohonné jednotky. Technicky nejjednodušší, ale nejméně dokonalá varianta je dvojitě provedení jednoho bezpilotního prostředku. Může se jednat například o spojení multikoptéry a letounu s pevným křídlem. Nevýhodou takového řešení je vysoká váha a odpor díky konstrukcím a zařízením potřebným pouze pro jeden režim letu ze dvou. Ve druhém režimu letu nejsou tyto konstrukce využívány. Poslední možností je křídlo, které může rotovat a plnit tak službu jako rotor, nebo vrtule. Jedná se ovšem o mechanicky velice složitou a v bezpilotním světě obtížně využitelnou technologii. [21]

Hybridní letouny s přistávacím zařízením v ocasní části fungují na stejném principu jako klasické letouny pouze s tím rozdílem, že vzlet a přistání jsou provedeny kolmo k zemi na ocasní část trupu, která je vybavena přistávacím zařízením. (viz Obrázek 7) Pro představu lze říci, že při vzletu a přistání se jedná vis na vrtuli. Letoun může být opatřen pohonnými jednotkami v přední části trupu, nebo na křídlech. V režimu visu se letoun potýká s vysokým reakčním momentem, kdy u varianty s vrtulemi na přídě je výhodné použít koaxiální řešení pro potlačení tohoto efektu. Často je také potřebné dodatečných řídicích ploch a systémů pro řízení letu takového bezpilotního prostředku při přistání a startu.



Obrázek 7 - Hybridní letoun s přistávacím zařízením v ocasní části [21]

2.4 Balón a Vzducholod'

Prozatím byly všechny bezpilotní prostředky v této práci klasifikované jako těžší než vzduch. Balóny a vzducholodě létají na principu zařízení, které je lehčí než vzduch. Rozdíl mezi balónem a vzducholodí je v tom, že vzducholod' je lépe říditelná a schopna letu z místa stratu na místo plánovaného cíle. Balóny i vzducholodě se skládají z trupu a závěsného zařízení. Trup je naplněný plynem, který je lehčí než vzduch. Může se jednat o horký vzduch, vodík nebo helium. Horký vzduch, ani vodík se u bezpilotních prostředků nepoužívají. Horký vzduch kvůli složitému mechanismu potřebného pro ohřev a vodík je prudce hořlavý. Nejvhodnější plyn pro bezpilotní prostředky je tedy helium, které je oproti vodíku ale dražší a vytváří mírně menší vztlak.

2.4.1 Vzducholod'

Výhody vzducholodí:

- Minimální spotřeba energie
- Vysoká vytrvalost
- Vysoký dostup
- Nízká hlučnost
- Levný provoz

Velkou výhodou vzducholodí je jejich minimální spotřeba energie. Ta je spotřebována pouze na řízení, které je většinou obstaráno některým z klasických pohonů, jako je například elektromotor, nebo spalovací motor. Díky principu letu vzducholodě, která je lehčí než vzduch se může vznášet i celé dny. Díky této vlastnosti je dostatek času pro vystoupaní vzducholodě

do velké výšky. Další nespornou výhodou je minimální hlučnost. Hluk vydává pouze mechanismus a pohon potřebný k řízení vzducholodě. Kvůli této skutečnosti je samotný provoz vzducholodi vcelku levný a zejména cena letové hodiny je díky velké vytrvalosti velice přijatelná.

Nevýhody vzducholodí:

- Velké rozměry a odpor
- Velice malá odolnost vůči větru
- Nízká cestovní rychlost
- Náročné na obsluhu
- Větší potřebný prostor na přistání

Nejhorší vlastností vzducholodě jsou její rozměry, které potřebuje pro dostatečné množství plynu. Čím větší má mít vzducholod' únosnost, tím více plynu musí nést a tím více bude rozměrná. Z tohoto faktu vycházejí zásadní nevýhody vzducholodí. V první řadě se jedná o nízkou cestovní rychlost, která je způsobená vysokým odporem rozměrné vzducholodě. Velké rozměry jsou nevýhodné také při odolávání větru. Velká plocha vzducholodě, do které se opírá vítr, způsobuje nemožnost letu už při mírně větrném počasí. Rozměry a specifické letové vlastnosti způsobují náročnější přepravu a obsluhu vzducholodí, které nemohou s ohledem na jejich rozměr nemohou přistát a vzlétnout na tak malém prostoru, jak by bylo možné u ostatních bezpilotních prostředků s kolmým startem a přistáním. [22]

Typy konstrukcí vzducholodí

- Neztužená vzducholod' (viz Obrázek 8)
- Částečně ztužená vzducholod'
- Ztužená vzducholod'

Neztužená vzducholod' nemá žádné zpevněné části trupu. Ten drží svůj tvar pouze kvůli přetlaku nosného plynu. Částečně ztužená vzducholod' má části, které jsou zpevněné nějakým druhem konstrukce. Může se jednat například o podélné nosníky. Kompletní tvar vzducholodi ale stále udržuje nosný plyn. Kostra ztužené vzducholodi je kompletně vyztužená a udává tak tvar trupu. Nosný plyn nemá vliv na celkový tvar vzducholodi. U bezpilotních prostředků se téměř výhradně používá neztužená vzducholod'. Tato konstrukce je nejlehčí a nejjednodušší. Není určena na příliš velká zatížení, ale bezpilotní vzducholodě většinou neslouží k přepravě předmětů. [23]



Obrázek 8 - Neztužená vzducholod' [24]

2.4.2 Balón

Volné balóny doplňují svět bezpilotních prostředků jen okrajově. Prakticky nejsou říditelné, proto se hodí pouze na specifické operace. Obvykle se jedná o měření hodnot prostředí. Mezi výhody balónů patří rozhodně nulová spotřeba energie potřebná k samotnému letu. Ta je ovšem vykoupena nulovou říditelností. Balóny mohou být podobně jako vzducholodě plněny horkým vzduchem, vodíkem a héliem. I u bezpilotních balónů se používá převážně hélium. Konstrukce trupu balónu bývá neztužená (viz Obrázek 9), kdy kulový tvar udržuje pouze přetlak nosného plynu. [25]



Obrázek 9 - Neztužený balón [25]

3 Pohony bezpilotních prostředků

Pohon je nezbytná součást bezpilotního prostředku, která má zásadní vliv na jeho vlastnosti. Druh pohonu je nutné uvažovat již na samotném začátku návrhu bezpilotního prostředku, protože konstrukce musí být konkrétnímu pohonu značně přizpůsobena. Volba pohonu se odvíjí od mnoha parametrů, jako je například konkrétní účel bezpilotního prostředku, požadovaná vytrvalost, dolet, rychlost letu, předpokládané zatížení a mnoho dalších. Obecné charakteristiky pohonů jsou:

- Výkon
- Efektivita
- Hmotnost
- Rozměry
- Hlučnost
- Cena

Každá pohonná jednotka disponuje různou mírou výše zmíněných vlastností. Snaha je o co nejlepší výběr typu pohonu pro konkrétní konstrukci bezpilotního prostředku a pro daný druh použití. Pohonné jednotky se skládají z těchto částí: [26]

- Zdroj energie
- Člen pro uchování energie
- Člen pro vytvoření mechanické energie
- Člen pro vytvoření tahu

V této kapitole budou popsány nejčastěji používané druhy pohonů pro bezpilotní prostředky. Budou zmíněny jejich nejdůležitější vlastnosti, výhody, nevýhody a také typy konstrukcí bezpilotních prostředků, pro které jsou vhodné. Nejvyužívanější typy pohonů pro bezpilotní prostředky s kolmým vzletem a přistáním:

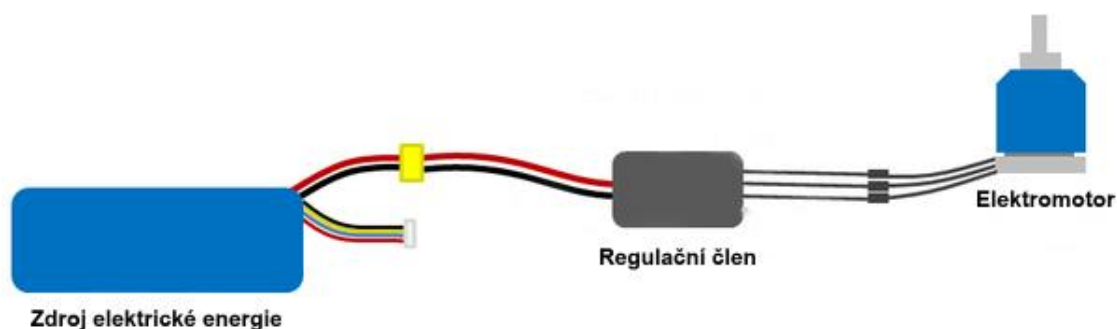
- Elektrický pohon
- Spalovací pohon
- Hybridní pohon

3.1 Elektrický pohon

Bezpilotní prostředky poháněné pomocí elektrické energie tvoří největší skupinu, především v oblasti multikoptér. Důvodem jsou hlavně malé rozměry akčního členu (elektrického motoru), přesná a rychlá regulace výkonu (otáček) a nízká hmotnost. Elektrický pohon je také nejméně

hlučný ze všech zmíněných pohonů a nejméně škodlivý pro okolní prostředí. Jednotlivé prvky elektrického pohonu (viz Obrázek 10) se dělí takto:

- Zdroj elektrické energie
- Regulační člen
- Elektrický motor
- Člen pro vytvoření tahu



Obrázek 10 - Prvky elektrického pohonu [27]

3.1.1 Zdroj elektrické energie

Zdroj elektrické energie je nejdůležitější prvek celé pohonné soustavy. Jedná se také o největší slabinu celého pohonného systému na elektřinu. Je důležitý pro výkon a především vytrvalost celého bezpilotního prostředku. Nejčastěji používané zdroje jsou:

- Akumulátory
- Ultrakondenzátory
- Palivové články
- Solární články

Akumulátory tvoří nejčastější zdroj energie pro bezpilotní prostředky poháněné elektrickým pohonem. Jedná se o osvědčený zdroj pro uchování energie na základě chemické reakce. Akumulátory se skládají z jednotlivých článků. Základní parametry akumulátorů tvoří elektrické napětí U udávané ve voltech (V), kapacita akumulátoru udávaná v ampérhodinách (Ah) a maximální vybíjecí proud C udávaný jako násobek kapacity akumulátoru. Nejčastěji využívaný typ akumulátoru pro pohon bezpilotních prostředků je Li-Pol. Jedná se o akumulátor s velmi dobrou hustotou energie, kdy při malých rozměrech a hmotnosti akumulátor uchovává větší množství energie než ostatní typy. Nevýhody jsou především vysoká cena, náchylnost při špatném zacházení, nižší životnost a vysoké riziko vznícení. Samovolné vznícení může nastat hlavně při mechanickém poškození, přehřátí, přebití a podbití, zkratu, nebo také

samovolně kvůli výrobní vadě. I přes veškeré nevýhody Li-Pol se jedná o akumulátory používané pro naprostou většinu bezpilotních prostředků s elektrickým pohonem.

Ultrakondenzátory jsou nadějí do budoucnosti z hlediska zdroje elektrické energie ve všech odvětvích. Fungují na stejném principu jako klasické kondenzátory, tedy je zde *vrstva nevodíče mezi dvěma vodivými vrstvami, která umožňuje vznik trvalého elektrického pole. Kapacita závisí na ploše elektrod a vlastnostech i tloušťce nevodivé vrstvy.* U ultrakondenzátorů jsou využívány moderní technologie a materiály pro vytvoření řádově větší vnitřní plochy a z toho plynoucí násobně větší kapacity než u standardním kondenzátorů. Výhody oproti používaným akumulátorům jsou značné, zejména dlouhá životnost, rychlé nabíjení, vysoký vybíjecí proud, minimální vliv teploty a okolního prostředí. Nevýhodou, i přes značné pokroky ve vývoji, zůstává malá hustota energie. Aktuálně ultrakondenzátory nemají dostatečnou kapacitu pro nahrazení akumulátorů v bezpilotních prostředcích. [28]

Palivové články již začínají sloužit jako alternativa k akumulátorům pro pohon bezpilotních prostředků. Do palivového článku je na jedné straně přiváděn kyslík nebo vzduch a na druhé vodík či uhlovodík. Na základě chemické reakce je vytvářen elektrický proud, voda a teplo. Účinnost se může pohybovat okolo 40-60%. To ve spojení s dobrou účinností elektromotorů poskytuje lepší účinnost než spalovací pohon. Oproti akumulátorům je možné u palivových článků dosáhnout výrazně nižší hmotnosti na stejné množství dodané energie bezpilotnímu prostředku. Nevýhody, které prozatím omezují širší nasazení jsou vysoká cena díky nutnosti použití drahých materiálů, nutná dobrá filtrace přiváděných látek a vysoká produkce tepla. Palivové články již nacházejí praktické využití a jedná se o perspektivní zdroj energie zatím pro bezpilotní prostředky u nichž je kladen důraz na vysokou vytrvalost. [29]

Solární články pracují na fotovoltaickém principu, kdy je světelné elektromagnetické vlnění převáděno na elektrickou energii. I v této oblasti jde vývoj dopředu a účinnost solárních článků se dnes může pohybovat okolo 30%. V Austrálii byl dokonce v roce 2018 vytvořen model kvadrokoptéry poháněné pouze sluneční energií. Stále se ale jedná o velmi lehký prototyp bez možnosti většího užitečného zatížení a pro pohon bezpilotního prostředku s kolmým vzletem neposkytují samotné solární články dostatek energie. V určitých případech se ovšem mohou použít jako vhodný doplňkový zdroj elektrické energie. [30]

3.1.2 Regulační člen

Elektronický regulátor, nebo také ESC, je u elektrického pohonu velice důležitý pro regulaci výkonu elektromotoru. Jeho konkrétní technologie provedení úzce souvisí s typem použitého motoru. Nejčastěji používané motory pro elektrický pohon bezpilotních prostředků jsou stejnosměrné bezkartáčové motory. Pro ty je nutný regulátor, jenž pracuje na principu

frekvenčního měniče. Regulátor obsahuje výkonové tranzistory, které spínají v určitý okamžik a posílají do trojice cívek v motoru elektrické napětí. Proto jsou také vedou k regulátoru dva přívodní napájecí kabely a od regulátoru k motoru vedou vodiče tři. Základní parametr regulátoru je jeho maximální proud, který by měl být vždy větší, než skutečný proud odebíraný motorem. Omezujícím parametrem je také maximální přívodní napětí. Regulátor je důležitá součást elektrického pohonu zejména z hlediska plynulosti a přesnosti letu. Kvalitní a jemná regulace je potřebná především při přesném řízení multikoptér.

3.1.3 Elektrický motor

Motor slouží pro přeměnu elektrické energie na mechanickou práci. Jako vedlejší prvek vzniká teplo. Účinnost moderních elektromotorů se pohybuje přes 80%, což je výrazně vyšší hodnota, než u spalovacích motorů. Existuje mnoho druhů elektromotorů, pro pohon bezpilotních prostředků se ale používají především stejnosměrné motory. Použití stejnosměrných motorů je příhodné kvůli stejnosměrnému zdroji napětí na palubě bezpilotního prostředku, protože akumulátory, ultrakondenzátory i palivové články produkují stejnosměrný proud. Lze určit dva základní používané stejnosměrné motory v bezpilotních prostředcích:

- Kartáčové motory
- Bezkartáčové motory

Kartáčové motory se skládají ze statoru a rotoru. Stator plní funkci permanentních magnetů a rotor obsahuje vinutí, které je buzeno elektrickým proudem. Napájení cívek umístěných na rotoru zajišťuje komutátor, na který dosedají kartáče. Ty jsou obvykle uhlíkové a jsou největší nevýhodou těchto motorů. Díky kontaktu kartáčů s komutátorem zde dochází k jiskření, opalování, tření a z toho plynoucí opotřebení kartáčů, které se musí měnit. Největší výhodou kartáčových motorů je jednoduchost jejich regulace. Výkon lze regulovat pouhou změnou napětí, regulátory mohou být tedy jednoduché, lehké a levné. V dnešní době se tyto motory používají spíše výjimečně, a to zejména díky své jednoduchosti u miniaturních bezpilotních prostředků.

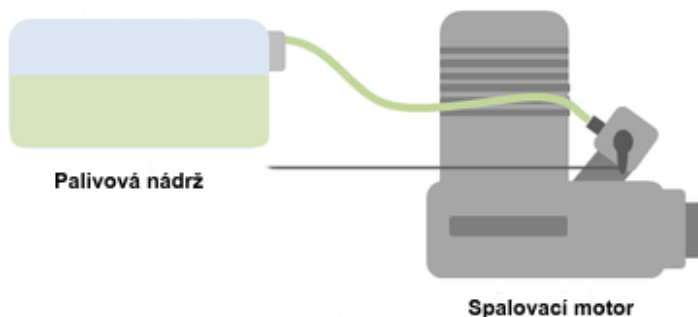
Bezkartáčové motory jsou používané u naprosté většiny bezpilotních prostředků s elektrickým pohonem. Jedná se o relativně jednoduchou konstrukci motoru, kdy stator tvoří cívky buzené elektrickým proudem a rotor je složen z permanentních magnetů. Podle účelu použití může být stator kolem rotoru, nebo se točí rotor kolem statoru. Výhodnější a častěji používaná konstrukce je s rotorem (plášťem) točícím se kolem statoru, který je uvnitř. Motor se v tomto provedení může lépe chladit a po obvodu je možné umístit více magnetů. Nevýhodou je rotující část, která musí být chráněna před kontaktem s ostatními částmi bezpilotního prostředku. Stinnou stránkou bezkartáčových motorů je složitost jejich regulace. K motoru jsou přivedeny tři kabely, do kterých je nutné posílat různé napětí v závislosti na

konkrétní poloze pootočení motoru. Regulaci otáček zajišťují moderní elektronické regulátory, které jsou ovšem poměrně složité. Základní parametry motorů jsou jeho rozměry, otáčky na jeden volt přivedeného napětí (KV), maximální napětí a proud. [31]

3.2 Spalovací pohon

Pohon na základě spalování fosilních paliv neboli nerostných surovin je stále ve velké převaze v oblasti dopravních prostředků. Získávání energie ze spalování paliva není příliš účinné, i přesto je to stále nejjednodušší způsob pro vytvoření mechanické práce důležité pro pohon veškerých prostředků, které nemohou být při své činnosti fyzicky napojeny na přívod elektrické energie. U bezpilotních prostředků s kolmým vzletem a přistáním není nasazení spalovacího pohonu převažující, avšak stále je to technologicky nejjednodušší způsob, jak dosáhnout vysoké vytrvalosti letu. (viz Obrázek 11) Ve většině případů ovšem nejsou vhodné pro řízení bezpilotního prostředku pomocí změny výkonu/otáček, protože jejich reakce jsou příliš pomalé. Spalovací pohony, které mohou být použity v bezpilotních prostředcích s kolmým vzletem a přistáním lze následovně rozdělit:

- Pístové motory
- Proudové lopatkové motory



Obrázek 11 - Prvky spalovacího pohonu [27]

3.2.1 Pístové motory

Pístové motory pracují na principu spalování směsi paliva a vzduchu. Po zapálení směsi ve válci prudce stoupne objem a tlak plynů. Vzniklý tlak pohybuje pístem a ten vytváří mechanickou práci. Pístové motory je možné dělit podle více technických specifikací. Základně se dají dělit podle:

- Druhu paliva: vznětové/zážehové
- Pracovního oběhu: dvoudobé/čtyřdobé
- Uspořádání válců, počtu válců, způsobu chlazení...

Zážehový dvoudobý motor je nejpoužívanější v oblasti bezpilotních prostředků. Důvodem je především jeho jednoduchost. Dvoudobé motory jsou obvykle chlazené vzduchem a nepotřebují olejový systém pro mazání motoru. Mazivo se přidává přímo do paliva. To má za následek ušetření hmotnosti jak na chladícím, tak na olejovém systému. Samotná mechanizace motoru důležitá pro chod je také daleko jednodušší. Zážehové dvoudobé motory dosahují velice dobrých výkonů vzhledem k hmotnosti a objemu spalovacích komor. Naopak nevýhodou jsou vysoké teploty, kterých dosahuje motor při své činnosti. Z toho plyne nízká životnost. Dvoutaktní motory se také vyznačují nedokonalým spalovacím procesem, tedy i vyšší spotřebou paliva, oleje a vyšší zátěží pro okolní prostředí, která je také způsobena vysokou mírou vydávaného hluku.

Zážehový čtyřdobý motor lze označit za dokonalejší řešení, než motor dvoudobý, který má ovšem výraznou nevýhodu ve složitosti, potažmo ve hmotnosti. Olejový systém je oddělený, není tedy potřeba míchat olej do paliva. Z toho plynou nižší emise. Čtyřdobé motory jsou také účinnější. Složitost a hmotnost celého systému ale znemožňuje použití v malých bezpilotních prostředcích. Ojedinele může být použit u prostředků s vyšší hmotností.

Ostatní typy motorů jsou použity spíše výjimečně. **Vznětové** motory mají ještě vyšší hmotnost než zážehové. V bezpilotních prostředcích lze najít i použití rotačního **Wankelova motoru**. Ten je čtyřdobý a pracuje na principu, kdy se píst, jako u normálních pístových motorů, nepohybuje po přímce, ale rotuje. Výhodami jsou vysoký výkon na danou hmotnost motoru, nebo například poměrně jednoduchá konstrukce. Nevýhody se nalézají ve vysoké spotřebě paliva, vysoké výrobní ceně a malém kroutícím momentu. [32]

3.2.2 Proudové lopatkové motory

Dalším typem pohonu převzatým z velkých letounů jsou proudové motory. Mechanickou práci produkují, stejně jako pístové motory, na základě spalování směsi paliva a vzduchu. Jako palivo se v tomto případě používá letecký petrolej. Zjednodušený princip práce proudových lopatkových motorů začíná se stlačením vzduchu kompresorem, do kterého je následně ve spalovací komoře vstříknuto palivo. To rychle vyhoří a výstupní plyny pohánají turbínu. Proudové motory, které jsou možné použít pro pohon bezpilotních prostředků se dělí takto:

- Jednoproudový motor
- Dvouproudový motor
- Turbovrtulový motor
- Turbohrádelový motor

Jednoproudový motor je nejjednodušším turbínovým motorem. Vytváří tah, který vyvozují výstupní plyny za výstupní tryskou. Tento druh motoru není příliš účinný při nízkých rychlostech

díky velké výstupní rychlosti plynů, proto není v civilním sektoru bezpilotních prostředků příliš využívány.

Dvouproudový motor pracuje na stejném principu jako jednoproudový motor, pouze je zde na vstupu přidán nízkotlaký kompresor, který odebírá část energie výstupním plynům pro jeho pohon. Velké množství vzduchu prochází pouze tímto nízkotlakým kompresorem a obtokem okolo motoru vychází urychlený ven. Tento motor je účinnější pro nižší rychlosti, než jednoproudový, ale stále se jedná o nevhodný motor pro bezpilotní prostředky s kolmým vzletem a přistáním. Je zde však možnost použití v případě hybridní konstrukce.

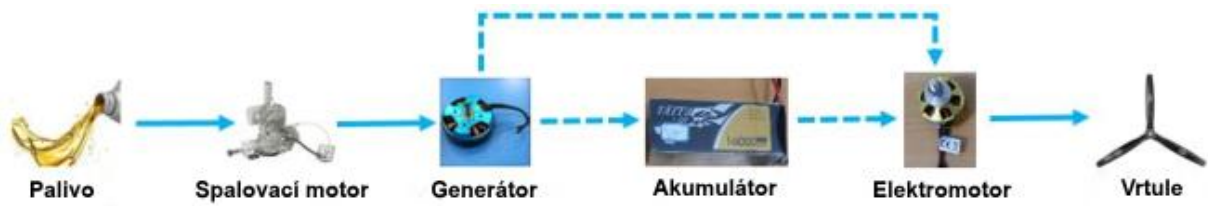
Turbovrtulové a turbohřídelové motory nevytváří tah, ale mechanickou práci přenášenou rotující hřídelí stejně, jako je tomu u motorů pístových. Oba tyto typy pracují na stejném principu, pouze turbohřídelovými motory jsou označovány jednotky do vrtulníků a turbovrtulové pro pohon letadel s vrtulemi. Princip je takový, že spaliny roztáčejí turbínu, která pohání hřídel. Tyto motory jsou již možné použít i v bezpilotních prostředcích. Jedná se totiž o vhodný pohon i pro malé rychlosti. Konstrukce takových motorů je relativně lehká, ale velice nákladná na výrobu. Spotřeba těchto pohonných jednotek není malá, avšak výkon na danou hmotnost dosahuje vysokých hodnot. Turbínové motory u menších bezpilotních prostředků nejsou ve větší míře používány kvůli vysoké ceně a vysoké spotřebě paliva. [33]

3.3 Hybridní pohon

Hybridní pohon kombinuje více druhů pohonů dohromady. U bezpilotních prostředků obvykle slouží jeden pohonný systém jako zdroj pro druhý pohonný systém, který fyzicky pohání prostředek. Ve výjimečných případech může být druhý pohonný systém instalovaný jako doplňkový k prvnímu. V naprosté většině případů je druhý pohonný systém, fyzicky pohánějící bezpilotní prostředek, elektrický. Je to dáno vysokou efektivitou elektromotorů a dobrou a přesnou říditelností jejich výkonu. Nejčastěji používané typy kombinovaných pohonů jsou:

- Pístový motor + elektrický pohon
- Turbínový motor + elektrický pohon
- Palivové články + elektrický pohon

Pístový motor + elektrický pohon je technologicky nejjednodušší řešení a slouží především pro multikoptéry. U nich je problém, v případě napájení li-pol akumulátory, s nízkou vytrvalostí. Přímý pohon pomocí pístových motorů je silně nepraktický, technologicky složitý u menším multikoptér neproveditelný. Proto se zde nabízí řešení standardního pohonu multikoptéry pomocí elektrického pohonného systému, ale jako zdroj je použit pístový motor s elektrickým generátorem. (viz Obrázek 12) Toto řešení poskytuje výrazně vyšší letovou dobu bezpilotního prostředku za cenu vyšší hmotnosti, hlučnosti a složitosti celého pohonného systému.



Obrázek 12 - Prvky hybridního pohonu [34]

Další možná varianta je **Turbínový motor + elektrický pohon**. Tento systém funguje identicky, jako pístový motor + elektrický pohon, pouze je elektrický generátor poháněn turbohřídelovým motorem. Poslední zmíněná varianta **Palivové články + elektrický pohon** funguje na stejném principu, kdy zdroj energie tvoří palivové články, které dokážou vyrábět elektrickou energii na základě chemické reakce. Princip je podrobněji popsán v kapitole o elektrickém pohonu. [35]

4 Porovnání funkčních vlastností bezpilotních prostředků

Největší vliv na funkční vlastnosti bezpilotního prostředků mají jednoznačně dvě základní věci. První je konstrukce draku. Všechny typy konstrukcí draků, které zde budou porovnávány, již byly popsány v kapitole 2. Druhá věc, které má zásadní vliv na letové možnosti bezpilotního prostředku je jeho pohon a zdroj energie. Všechny níže uvedené typy pohonů jsou podrobně popsány v kapitole 3. Kombinace konstrukce draku a druhu pohonu vytváří výsledné letové vlastnosti. V této kapitole budou uvedeny příklady konkrétních provozuschopných bezpilotních prostředků. Rozděleny budou podle konstrukce draku a pohonu a nejobvyklejší kombinace mají dva zástupce.

4.1.1 Elektrický jednorotorový vrtulník

Jako zástupce jednorotorových vrtulníků s elektrickým pohonem lze uvést vrtulník Velos UAV (viz Tabulka 1 a Obrázek 13) od společnosti Velos Rotors a vrtulník Vapor 55 (viz Tabulka 2 a Obrázek 14) od společnosti Pulse Aerospace. Oba tyto stroje disponují klasickou konstrukcí vrtulníku s jedním nosným a jedním vyrovnávacím rotorem. U obou vrtulníků je volen rotor se třemi nosnými listy, který poskytuje vyšší tah při snížené hlučnosti oproti dvoulistému řešení. Nevýhodou může být vyšší složitost rotorové hlavy. Pro pohon slouží stejnosměrné bezkartáčové elektromotory, které jsou napájeny Li-Pol bateriemi. Jedná se o technologicky nejjednodušší, avšak ověřené a funkční řešení pro konstrukci bezpilotního vrtulníku. Řízení je zajištěno změnou nastavení listů na rotorech. Nevýhodou je nižší vytrvalost, která je způsobena pohonem Li-pol akumulátory. Konstrukce vrtulníku umožňuje let v poměrně silném větru. Na vrtulníky je možné instalovat veškeré vybavením, které výrobce nabízí. U citlivých senzorů může být problém s vyššími vibracemi. [36] [37]

Tabulka 1 – Velos UAV

Velos Rotors - Velos UAV	
Průměr rotoru	1950 mm
Délka	1720 mm
Maximální vzletová hmotnost	23 kg
Maximální nosnost	10 kg
Maximální letová výdrž	65 min
Provozní rychlost	70 km/h
Maximální rychlost	130 km/h
Cena	29,990 USD



Obrázek 13 - Velos UAV [36]

Tabulka 2 – Vapor 55

Pulse Aerospace - Vapor 55	
Průměr rotoru	2286 mm
Délka	1956 mm
Maximální vzletová hmotnost	25 kg
Maximální nosnost	11 kg
Maximální letová výdrž	60 min
Dostup	3660 m n.m.
Provozní rychlost	40 km/h
Maximální rychlost	54 km/h
Cena	85 000 USD



Obrázek 14 - Vapor 55 [37]

4.1.2 Spalovací jednorotorový vrtulník

Zástupci pro jednorotorové vrtulníky poháněné dvoutaktním pístovým motorem jsou Alpha 800 UAV (viz Tabulka 3 a Obrázek 15) od společnosti Alpha Unmanned Systems a HEF 32 UAV (viz Tabulka 4 a Obrázek 16) od společnosti High Eye. Konstrukce vrtulníku se skládá z jednoho nosného a jednoho vyrovnávacího rotoru. Nosný rotor je v obou případech dvoulístý. Jedná se tak o řešení s vyšším aerodynamickým hlukem, účinností a nižší mechanickou složitostí. Hluk od rotoru ovšem v tomto případě, kdy je použit dvoutaktní pístový motor, není problém. Ten totiž produkuje vysoké množství hluku. Výhoda vrtulníku je, že lze použít přímý pohon rotoru pístovým motorem u kterého je snaha udržet konstantní otáčky. Kompletní řízení vrtulníku je zajištěno změnou nastavení listů u obou rotorů. Motor, který spaluje palivo smíchané s olejem uložené v nádržích, vyžaduje častější údržbu. Výhoda vrtulníku s pístovým motorem se skrývá ve zdatně vyšší letové výdrži. Stinné stránky jsou především hluk, spaliny vypouštěné do ovzduší a vibrace od motoru. Výrobci počítají s použitím senzorů, ale v případě potřeby je možné upevnění většiny vybavení. [38] [39]

Tabulka 3 – Alpha 800

Alpha Unmanned Systems - Alpha 800	
Průměr rotoru	1800 mm
Délka	1700 mm
Maximální vzletová hmotnost	14 kg
Maximální nosnost	3 kg
Maximální letová výdrž	2 h 30 min
Dostup	3000 m n. m.
Provozní rychlost	55 km/h
Objem motoru	32 ccm
Výkon motoru	2,4 kW



Obrázek 15 - Alpha 800 [38]

Tabulka 4 – HEF 32 UAV

High Eye - HEF 32 UAV	
Průměr rotoru	1810 mm
Délka	1750 mm
Maximální vzletová hmotnost	21,5 kg
Maximální nosnost	5 kg
Maximální letová výdrž	4h 10 min
Dostup	2500 m n. m.
Provozní rychlost	56 km/h
Maximální rychlost	130 km/h
Objem motoru	31.8 ccm
Cena	250 000 EUR



Obrázek 16 - HEF 32 UAV [39]

4.1.3 Elektrický koaxiální vrtulník

Vrtulník s koaxiálním uspořádáním rotorů ThunderHawk (viz Tabulka 5 a Obrázek 17) od společnosti s názvem TTRobotix je poháněn bezkartáčovými stejnosměrnými elektromotory, které si berou energii z Li-Pol akumulátorů. Uspořádání rotorů se skládá z dvou nosných protiběžných rotorů umístěných v jedné ose nad sebou. Toto řešení má za následek možnost absence ocasního vyrovnávacího rotoru. Lze tak dosáhnout mírného zmenšení rozměrů a především lze klást menší nároky na čistotu a rovný povrch vzletové a přistávací plochy, protože zde není umístěn rotor nízko nad zemí. Koaxiální řešení také přináší vyšší stabilitu

a velkou únosnost na daný průměr rotoru. Hlavy rotorů jsou třílisté, což má za následek snížení hluku a vyšší vztlak. Řízení je zajištěno změnou nastavení listů na obou rotorech. Dva rotory nad sebou zajišťují vysokou nosnost, která se ovšem, především ve spojení s Li-Pol akumulátory, projeví na krátkém letovém čase. Koaxiální vrtulník je ještě vhodnější pro upevnění jakéhokoliv vybavení, díky rotorům umístěným až nad trupem. Opět jsou zde kladeny vysoké nároky na zabezpečení vzletové plochy a lze očekávat mírné vibrace od rotorů. [40]

Tabulka 5 - ThunderHawk

TTRobotix - ThunderHawk	
Průměr rotorů	1820 mm
Délka	1150 mm
Maximální vzletová hmotnost	35 kg
Maximální nosnost	15 kg
Maximální letová výdrž	55 min
Akumulátor	4* 22,2V 22Ah



Obrázek 17 - ThunderHawk [40]

4.1.4 Hybridní koaxiální vrtulník napájený palivovými články

Koaxiální vrtulník Hcx2 JUPITER (viz Tabulka 6 a Obrázek 18) od společnosti TTRobotix využívá k napájení svých elektromotorů palivové články. Konstrukce draku zůstává stejná, jako u modelu ThunderHawk. Jde tedy o koaxiální řešení dvou nosných rotorů, kdy každý z rotorů obsahuje tři listy. Tato koncepce vrtulníku vyniká jednodušší manipulací a nižšími požadavky na vzletovou a přistávací plochu. Řízení je řešeno změnou nastavení rotorových listů. Napájení elektromotorů je zajištěno pomocí dvou palivových článků, které používají jako palivo vodík. Pohon tohoto typu je výrazně složitější a nákladnější, než je tomu při použití akumulátorů. Zásadní výhodou je však možnost získat mnohem větší množství energie z palivových článků, než kolik by bylo možné získat z akumulátorů se stejnou hmotností. Výsledkem je tak daleko vyšší výdrž vrtulníku ve vzduchu. Vibrace od rotorů mohou být, jako u všech vrtulníků, problém a v některých případech je potřeba zvláštní úsilí pro dokonalé vyvážení. [41]

Tabulka 6 - Hcx2 JUPITER

TTRobotix - Hcx2 JUPITER	
Průměr rotorů	1820 mm
Délka	1550 mm
Maximální vzletová hmotnost	35kg
Maximální nosnost	7 kg
Maximální letová výdrž	85 min
Výkon palivových článků	6000 W



Obrázek 18 – Hcx2 JUPITER [41]

4.1.5 Elektrická multikoptéra

Jako zástupce klasické kombinace draku multikoptéry s bezkartáčovými elektromotory napájenými Li-Pol akumulátory jsou zvoleny bezpilotní prostředky md4-3000 (viz Tabulka 7 a Obrázek 19) od společnosti Microdrones a Gaia 160s (viz Tabulka 8 a Obrázek 20) od společnosti Foxtech. V případě md4-3000 se jedná o kvadroptéru s jednou třílistou vrtulí na každém ze čtyř ramen. Jde o nejklassičtější a nejjednodušší konstrukci, která ovšem neposkytuje letuschopnost po ztrátě jedné z pohonných jednotek. Gaia 160s disponuje šesti rameny s dvoulistou vrtulí na každém z nich. Jde tedy o hexakoptéru, která je schopná letu i při výpadku jednoho ze šesti pohonů. Řízení ve všech osách je zajištěno změnou otáček vrtulí. Obě tyto multikoptéry vynikají svou mechanickou jednoduchostí, a tudíž snadnou údržbou. Multikoptéry mají nízkou aerodynamickou efektivitu, která se negativně projevuje na výdrži. Na multikoptéru je možné připevnit veškeré vybavení, výrobci se však zaměřují na senzorovou techniku. [42] [43]

Tabulka 7 – md4-3000

Microdrones - md4-3000	
Délka	2052 mm
Maximální vzletová hmotnost	16 kg
Maximální nosnost	5kg
Maximální letová výdrž	45 min
Dostup	4000 m n. m.
Provozní rychlost	72 km/h
Akumulátor	37 V 21 Ah
Cena	230 000 EUR



Obrázek 19 - md4-3000 [42]

Tabulka 8 - Gaia 160s

Foxttech - Gaia 160s	
Délka	1600 mm
Maximální vzletová hmotnost	20 kg
Maximální nosnost	2 kg
Maximální letová výdrž	110 min
Maximální rychlost	50 km/h
Akumulátor	4* 22,2 V 16 Ah
Cena	9 999 USD



Obrázek 20 - Gaia 160s [43]

4.1.6 Hybridní multikoptéra napájená pístovým generátorem

U hexakoptéry GAIA 160 Elite Pro (viz Tabulka 9 a Obrázek 21) od společnosti Foxttech je pro napájení bezkartáčových stejnosměrných elektromotorů primárně použit pístový generátor, který je zavěšený pod multikoptérou. Palivové nádrže jsou uvnitř multikoptéry. Jako záloha a pro pokrytí výkonových špiček slouží akumulátor typu Li-Pol. Konstrukci draku tvoří šest pravidelně rozmístěných ramen, přičemž je na každém dvoulistá vrtule. V případě poruchy pohonu na jednom rameni je tento bezpilotní prostředek stále schopen letu. Řízení je zajištěno změnou otáček vrtulí. Řešení elektrického pohonu v kombinaci s použitím pístového spalovacího generátoru jako zdroje vychází z požadavku vyšší letové výdrže. Generátor s palivem dokáže za dobu letu dodat mnohem více energie, než kolik by dodaly Li-Pol baterie o stejné hmotnosti. Multikoptéra je při tomto řešení ale hlučnější, větší a má vyšší odpor. Pístový generátor u této konkrétní multikoptéry zabírá místo pod trupem, kde by mohlo být umístěno potřebné vybavení. Generátor může přenášet na konstrukci vibrace. [44]

Tabulka 9 - Gaia 160 Elite

Foxttech - Gaia 160 Elite	
Délka	1600 mm
Maximální vzletová hmotnost	23 kg
Maximální nosnost	5 kg
Maximální letová výdrž	5 h
Dostup	2000 m n. m.
Maximální rychlost	50 km/h
Výkon generátoru	2400 W
Palivová nádrž	7 l
Cena	14 999 USD



Obrázek 21 - Gaia 160 Elite [44]

4.1.7 Hybridní multikoptéra napájená palivovými články

Jako příklad multikoptéry s pohonem, který obstarávají stejnosměrné bezkartáčové elektromotory napájené palivovými články slouží bezpilotní prostředek Hycopter (viz Tabulka 10 a Obrázek 22) od společnosti HES Energy Systems. Základ tvoří hexakoptéra, která má na každém ze šesti ramen jeden elektromotor s dvoulistou vrtulí. Konstrukce tak umožňuje bezpečný let i jednou nefunkční pohonnou jednotkou. Řízení je zajištěno změnou otáček jednotlivých vrtulí. energii pro elektromotory vytváří palivový článek, do kterého je přiveden vodík, který je uložen v tlakových lahvích v plynném stavu. Pro vykrytí výkonových špiček a jako záloha v případě výpadku dodávky energie z vodíkového článku slouží Li-Pol akumulátory. Řešení tohoto typu zachovává výhody elektrické multikoptéry a výrazně prodlužuje letovou dobu. Je ale technologicky a finančně velice nákladné. [45]

Tabulka 10 - Hycopter

HES Energy - Hycopter	
Délka	1450 mm
Maximální vzletová hmotnost	15 kg
Maximální nosnost	2,5kg
Maximální letová výdrž	3,5 h*
Maximální rychlost	56 km/h
Výkon palivového článku	1500 W
Palivová láhev	až 12 l



Obrázek 22 - Hycopter [45]

4.1.8 Hybridní konstrukce s elektrickým pohonem

Zástupce pro hybridní konstrukci bezpilotního prostředku je Eagle Hero VTOL (viz Tabulka 11 a Obrázek 23) od společnosti Foxtech. Jedná se o spojení letounu a kvadroptéry. Řešení takového typu spojuje možnost kolmého startu a přistání multikoptér a vyšší efektivitu a rychlosti letounů s pevnými nosnými plochami. Základem konstrukce je letoun s jedním nosným křídlem a konstrukcí ocasních ploch uzpůsobených pro možnost čtvercového umístění čtyřech vrtulí pro kolmý vzlet a přistání. Pátá vrtule je, na rozdíl od čtyřech vodorovně umístěných vrtulí, instalována ve směru kolmém k zemskému povrchu a slouží jako tlačná jednotka při vodorovném letu. Po kolmém vzletu, kdy je bezpilotní prostředek řízen změnou otáček vodorovných vrtulí, plynule přechází do dopředného letu, ve kterém je řízen jako letoun pomocí výchylek kormidel na ocasních plochách. Všechny vrtule jsou poháněny stejnosměrnými bezkartáčovými elektromotory. Napájeny jsou pomocí Li-Pol akumulátorů.[46]

Tabulka 11 - Eagle Hero VTOL

Foxtech - Eagle Hero VTOL	
Rozpětí křídel	3500 mm
Délka	1610 mm
Maximální vzletová hmotnost	15 kg
Maximální nosnost	1,5 kg
Maximální letová výdrž	2 h
Provozní rychlost	86 km/h
Maximální rychlost	110 km/h
Cena	11 159 USD



Obrázek 23 - Eagle Hero VTOL [46]

4.1.9 Hybridní konstrukce s kombinovaným pohonem

Podobné konstrukce jako měl Eagle Hero využívá i bezpilotní prostředek Alti Ascend (viz Tabulka 12 a Obrázek 24) od společnosti Alti unmanned aircraft. Konstrukce je tedy kombinací kvadrokoptéry a letounu. Toto řešení spojuje možnost kolmého startu a přistání multikoptér a vyšší efektivitu a rychlosti letounů s pevnými nosnými plochami. Stejně jako u Eagle Hero se zde nachází čtyři vodorovně pravidelně umístěné vrtule, které pohánějí bezkartáčové stejnosměrné elektromotory. Pátá tlačná vrtule je umístěná kolmo k zemskému povrchu. Rozdíl je v pohonu tlačné vrtule. Ta je poháněna pístovým spalovacím motorem, a tak je možné dosáhnout daleko větší výdrže. Řízení je zajištěno stejně jako u předchozího řešení nejprve změnou otáček vodorovných vrtulí a následně při dopředném letu pomocí kormidel na ocasních plochách letounu. Výhody i nevýhody zůstávají zachovány, jako u hybridní konstrukce v čistě elektrickém provedení. Spalovací motor sebou přináší vyšší výdrž, ale také i vibrace, spaliny a vyšší hluk. [47]

Tabulka 12 - Alti Ascend

Alti unmanned aircraft - Alti Ascend	
Rozpětí křídel	2000 mm
Maximální vzletová hmotnost	10 kg
Maximální nosnost	0,5 kg
Maximální letová výdrž	6 h
Provozní rychlost	75 km/h
Maximální rychlost	105 km/h
Cena	50 000 USD



Obrázek 24 - Alti Ascend [47]

4.1.10 Vzducholoď s elektrickým pohonem a Vzducholoď s hybridním pohonem

Bezpilótní prostředky typu vzducholoď vyrábí např. společnost AirshipClub. Konkrétně se jedná o modely 9M (viz Tabulka 13 a Obrázek 25) a 15X (viz Tabulka 14 a Obrázek 26). Obě tyto vzducholoďe jsou neztužené a svůj tvar udržují díky přetlaku plnicího plynu, což je v tomto případě helium, které se nemůže vznítit. „Balón vzducholoďe se skládá z vnitřní duše bránící úniku hélia a z vrchního pláště, který chrání duši před mechanickým poškozením a udržuje tvar.“ [22] Pro ovládání vzducholoďi slouží kombinace stabilizačních ploch a ovladatelných klapek doplněných o směrové elektromotory. Pro pohon jsou použity stejnosměrné bezkartáčové elektromotory s vrtulemi, které je možné natáčet kolem příčné osy o $\pm 90^\circ$. Pro napájení motorů slouží LiFe baterie a v případě modelu 15X jsou baterie doplněny o pístový dvoutaktní motor s alternátorem. Vzducholoď je vždy nastavena tak, aby byla těžší než vzduch a v případě ztráty pohonu klesá samovolně k zemi. Nízká výsledná hmotnost má za následek nízké následky rizika při kolizi. Menší trhliny v plášti do 10 cm způsobují pouze urychlené, ale stále pozvolné klesání. Nevýhodou je malá odolnost vůči větru. Vzducholoď, především v provedení 9M, disponuje velice tichým provozem. [22]

Tabulka 13 - vzducholoď 9M

AirshipClub – vzducholoď 9M	
Délka	9 m
Objem balónu	27 m ³
Maximální nosnost	5,5 kg
Maximální letová výdrž	1 h
Dostup	1000 m n. m.
Maximální rychlost	36 km/h
Výkon pohonu	2x 700 W



Obrázek 25 - vzducholoď 9M [22]

Tabulka 14 – vzducholod' 15X

AirshipClub – vzducholod' 15X	
Délka	12 m
Objem balónu	55 m ³
Maximální nosnost	15 kg
Maximální letová výdrž	3 h
Dostup	1000 m n. m.
Maximální rychlost	50 km/h
Provozní rychlost	30 km/h
Výkon generátoru	4 kW



Obrázek 26 - vzducholod' 15X [22]

4.2 Srovnávací tabulka a grafy

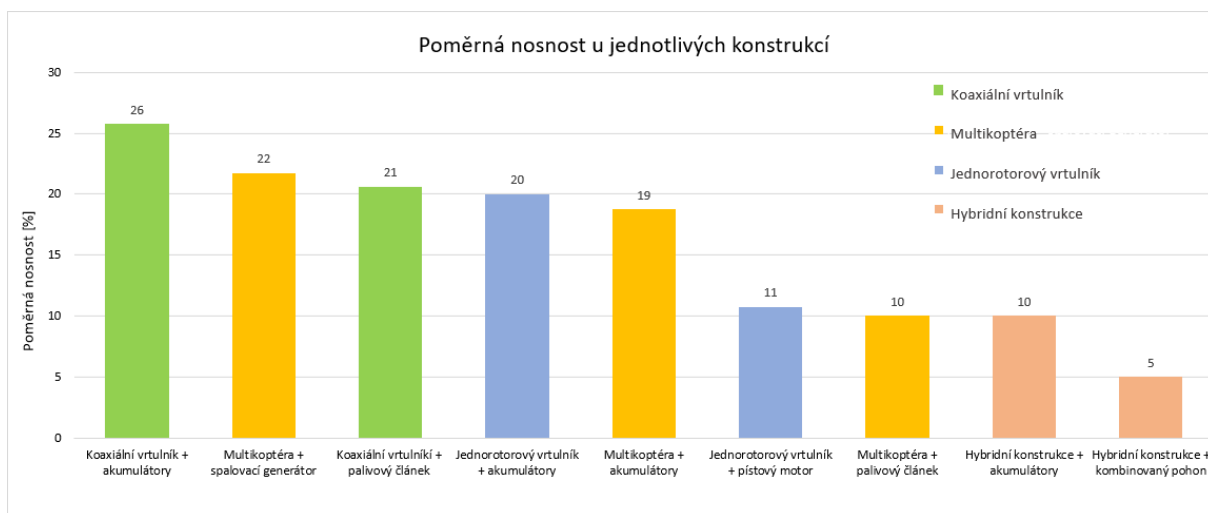
V následující tabulce (Tabulka 15) jsou parametry jednotlivých bezpilotních prostředků. Jako pozorované hodnoty byly vybrány: Maximální vzletová hmotnost, Provozní nosnost, Poměrná nosnost, Výdrž při dané nosnosti, Cestovní vzdušná rychlost, Maximální vzdušná rychlost, Teoretický dolet, Maximální přípustný vítr, Dostup a Cena. Poměrná nosnost je provozní nosnost vztažená k maximální vzletové hmotnosti a je uvedena v procentech. Teoretický dolet je vypočítaná hodnota na základě cestovní vzdušné rychlosti a výdrži při dané nosnosti. V reálném provozu je hlavním limitujícím faktorem dosah řídicí stanice. Ceny bezpilotních prostředků lze brát pouze orientačně, protože závisí na mnoha faktorech. Parametry označené „-“ byly nedostupné a parametry označené „*“ byly taktéž nedostupné, ale pro účel této práce byly odhadnuty.

Tabulka 15 - Srovnávací tabulka

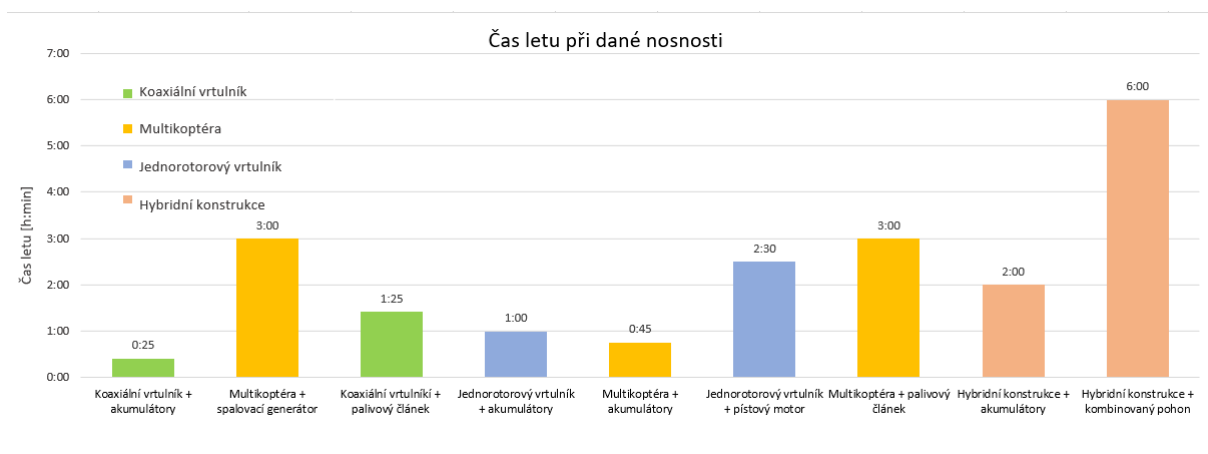
Konstrukce + pohon	Bezpilotní prostředek	Maximální vzletová hmotnost [kg]	Provozní nosnost [kg]	Poměrná nosnost [%]	Výdrž při dané nosnosti [h:min]	Cestovní vzdušná rychlost [km/h]	Maximální vzdušná rychlost [km/h]	Teoretický dolet [km]	Maximální přípustný vítr [m/s]	Dostup [m n.m.]	Cena
Jednorotorový vrtulník + akumulátory	Velos Rotors - Velos UAV	23	4	17	1:05	70	130	76	17*	-	29 990 USD
	Pulse Aerospace - Vapor 55	25	5	20	1:00	40	54	40	13	3660	85 000 USD
Jednorotorový vrtulník + pístový motor	Alpha Unmanned Systems - Alpha 800	14	1,5	11	2:30	55	130 *	138	15*	3000	-
	High Eye - HEF 32 UAV	21,5	2	9	4:10	56	130	233	20	2500	250 000 EUR
Koaxiální vrtulník + akumulátory	TTRobotix - ThunderHawk	35	9	26	0:25	55*	120*	23*	12*	-	-
Koaxiální vrtulník + palivový článek	TTRobotix - Hcx2 JUPITER	34	7	21	1:25	50*	110*	71*	12*	-	-
Multikoptéra + akumulátory	Foxtech - Gaia 160s	20	2	10	1:25	36*	44	51*	14	-	9 999 USD
	Microdrones - md4-3000	16	3	19	0:45	72	80*	54	6	4000	230 000 EUR
Multikoptéra + spalovací generátor	Foxtech - GAIA 160 Elite	23	5	22	3:00	40*	50	120*	14	2000	14 999 USD
Multikoptéra + palivový článek	HES Energy - Hycoper	15	1,5	10	3:00	42*	56	126*	9	-	-
Hybridní konstrukce + akumulátory	Foxtech - Eagle Hero VTOL	15	1,5	10	2:00	76	110	152	10*	-	11 159 USD
Hybridní konstrukce + kombinovaný pohon	Alti unmanned aircraft - Alti Ascend	10	0,5	5	6:00	75	105	450	10	-	50 000 USD
Vzducholoď + akumulátory	AirshipClub – vzducholoď 9M	-	5,5	-	1:00	25*	36	25*	4	1000	-
Vzducholoď + spalovací generátor	AirshipClub – vzducholoď 15X	-	15	-	3:00	30	50	90	4	1000	-

Hodnoty označené „*“ jsou odhadnuty na základě informací získaných z principiálně stejných bezpilotních prostředků, popřípadě z informací převzatých z velkých pilotovaných strojů vztažené na bezpilotní prostředky. Rychlosti u koaxiálních vrtulníků byly odhadnuty na základě znalosti aerodynamických vlastností sousého dvourotorového řešení. Vyšší odpor rotorové hlavy a zároveň menší ztráty při dopředném letu mají u koaxiálních vrtulníků za následek podobnou maximální rychlost jako jednorotorové vrtulníky. Následují grafy (Graf 1 a Graf 2), kde je názorně zobrazena závislost konstrukce draku v kombinaci s druhem pohonu na výsledné letové výdrži. V grafu 1 jsou bezpilotní prostředky sestupně seřazeny podle maximální letové výdrže. Následně je v grafu 2 vidět, jakou jsou bezpilotní prostředky schopny poskytnout nosnost při dané letové výdrži. [14]

Graf 1 – Poměrná nosnost



Graf 2 – Čas letu při dané nosnosti



4.3 Vhodné využití jednotlivých bezpilotních prostředků

Na základě funkčních vlastností a letových parametrů ze srovnávací tabulky (viz Tabulka 15) lze vyhodnotit vhodné použití konkrétních typů bezpilotních prostředků pro jednotlivé obory. Ve vyhodnocení nebude brána v potaz ekonomická stránka věci, protože ceny výrobků se liší spíše podle výrobce a kvality zpracování, než podle typu zvoleného pohonu a druhu konstrukce. Lze očekávat, že ceny za jednotlivá technologická řešení se budou odvíjet od počtu prodaných kusů.

4.3.1 Elektrický jednorotorový vrtulník

Tato kombinace se vyznačuje vysokou únosností, dobrou odolností vůči větru a lepší letovou výdrží než multikoptéry se stejným pohonem. Vyšší složitost, vibrace, náročnější obsluha i údržba společně s velkými následky rizika střetu rotoru s překážkou nečiní tento vrtulník vhodný pro menší pozorování. Naopak lze využít pro let s těžkým vybavením, popřípadě nákladem na krátkou dobu i v nepříznivých povětrnostních podmínkách.

Vlastnosti vyhovují pro průmyslové účely a ochranu přírody, kdy je potřeba nést těžký materiál na krátkou vzdálenost. Vrtulník je vhodný také pro aplikace ve spojení se speciálními senzory, především s těmi rozměrnými s vysokou hmotností, kdy není potřeba dlouhé pozorování. Záchranáři mohou pomocí vrtulníku přenést potřebné vybavení do nepřístupných míst. Vrtulník není příliš vhodný, navzdory své nosnosti, pro logistiku a transport z důvodu nízké letové doby a vysokým požadavkům na vzletovou a přistávací plochu.

4.3.2 Spalovací jednorotorový vrtulník

Konstrukce jednorotorového vrtulníku si zachovává dobrou únosnost a vysokou odolnost vůči poryvům větru. Únosnost je oproti elektrickému vrtulníku nižší z důvodu menšího maximálního výkonu adekvátně velkého pístového motoru. Ten ale, spolu s dobrou účinností vrtulníku, umožňuje dlouhou vytrvalost letu. Nevýhodou je vysoký provozní hluk, dodatečné vibrace od spalovacího agregátu a znečištění ovzduší. Spolu s vysokými požadavky na zabezpečení startovací plochy je spalovací jednorotorový vrtulník nevhodný pro provoz v blízkosti obydlených oblastí. Naopak disponuje výbornými letovými vlastnostmi pro dlouhé lety v nepříznivých povětrnostních podmínkách. Ze srovnávací tabulky (viz Tabulka 15) je patrné, že je konstrukce typu vrtulník schopna dosahovat vysokých maximálních rychlostí.

Dané vlastnosti jsou velice vhodné pro záchranné akce. Pátrání, například po zřícení laviny, často probíhá v těžkém terénu, a ne vždy jsou příznivé povětrnostní podmínky. Je kladen důraz na dobrou výdrž a vysoké výkony bezpilotního prostředku. Vrtulník s pístovým motorem

může být použit i pro aplikace se speciálními, především těžkými a rozměrnými senzory. Naopak není příliš dobrou volbou pro fotografování a natáčení videa z důvodu vibrací. Je přímo nevhodný pro bezpečnostní služby a použití ve městech, ať už pro logistiku a transport nebo pro letecké záběry z nízké výšky nad terénem.

4.3.3 Elektrický koaxiální vrtulník

Koaxiální řešení vrtulníku s elektrickým pohonem disponuje podobnými vlastnostmi jako jednorotorový vrtulník se stejným pohonem. Z tabulek (viz Tabulky 5 a 15) je patrné, že výhodou koaxiálního vrtulníku je vysoká maximální i provozní nosnost, kterou umožňují dva nosné rotory umístěné nad sebou. I při mírně vyšší efektivitě koaxiálního řešení oproti jednorotorovému, ale s vysokou zátěží prudce klesá výdrž na jedno nabití akumulátorů. Stále je zde možnost létat za poměrně silného větru a může být problém s dokonalým vyvážením rotorů. Zůstává výhoda vysoké maximální rychlosti v případě, že k je tomu uzpůsoben trup vrtulníku.

Elektrický koaxiální vrtulník se hodí v průmyslu na přenos těžkých nákladů na krátké vzdálenosti. Může se například jednat o vynesení materiálu na nepřístupné místo. Lze využít pro připevnění těžkých mechanismů určených k obstarávání plodin v zemědělství. Není příliš vhodný pro fotografování a natáčení videa. Obecně je pro své dobré výkony vhodný na krátké, ale letově či podmínkami náročné operace.

4.3.4 Hybridní koaxiální vrtulník napájený palivovými články

V případě hybridního pohonu, který je obstaráván palivovými články a elektromotory si lze všimnout výrazného zlepšení především vytrvalosti koaxiálního vrtulníku při zachování výborné užitečné nosnosti. Je nutné podotknout, že palivové články jsou teprve na začátku svého reálného provozu a zatím nejsou příliš očividné jejich provozní nedostatky s výjimkou pořizovací ceny. Ostatní velmi dobré letové vlastnosti zůstávají podobné, jako je tomu u elektrického koaxiálního řešení. Zejména odolnost vůči povětrnostním podmínkám zvyšuje atraktivitu pro využití v mnoha oborech.

Díky prodloužené letové době lze koaxiální vrtulník napájený palivovými články použít i pro pořizování leteckých záběrů a letecký monitoring. Zejména při potřebě dělat tyto záběry v nepříznivých povětrnostních podmínkách. Dále je možné využití v průmyslu k přenášení těžkých nákladů, k záchranným operacím a k upevnění těžkých či rozměrných senzorů. Toto řešení, stejně jako ostatní vrtulníky, není vhodné pro pohyb v blízkosti objektů či osob. Nelze tedy využít pro zásilkové služby.

4.3.5 Elektrická multikoptéra

Multikoptéra poháněná elektromotory napájená akumulátory není příliš efektivní řešení, což je vidět ve srovnávací tabulce (viz Tabulka 15). Výsledky nosnosti v kombinaci s maximální výdrží nejsou v porovnání s ostatními řešeními příliš dobré. I přesto je to v dnešní době nejvyužívanější kombinace konstrukce a pohonu. Důvodem je především jednoduchost, nižší následky při havárii, velká stabilita a dobrá ovladatelnost spolu se snadným upevněním potřebného vybavení. Nejsou kladeny takové nároky na vzletovou a přistávací plochu jako u vrtulníků. Maximální rychlost je v porovnání s konkurencí menší a při snaze o zvýšení dochází k rychlému vybití akumulátorů. Odolnost vůči větru také není příliš dobrá.

Multikoptéry jsou osvědčeným řešením pro jakýkoliv druh snímání svého okolí. Nízký hluk a dobrá ovladatelnost s jemným a plynulým pohybem je činí vhodné i pro provoz v prostředí s překážkami. Pro pohyb mezi lidmi je možné instalovat krycí rámy na vrtule pro eliminaci rizik. Nejsou příliš vhodné pro zvedání těžkých předmětů na delší dobu. Obecně lze ale říci, že elektrické multikoptéry lze použít prakticky na všechny operace, pouze jsou zde jistá omezení v maximální nosnosti, výdrži, rychlosti a odolnosti vůči povětrnostním podmínkám. Je vždy na zvážení konkrétního uživatele, zda mu výkony multikoptéry stačí, nebo zvolí jiný druh konstrukce a pohonu s danými specifiky.

4.3.6 Hybridní multikoptéra napájená pístovým generátorem

Pístový generátor použitý místo akumulátorů pro primární napájení multikoptéry poháněné elektromotory přináší potřebnou delší výdrž ve vzduchu, případně i únosnost při zachování většiny výhod elektrické multikoptéry. Je třeba dodat, že letová výdrž a únosnost spolu vždy úzce souvisí. Zásadní přidané nevýhody jsou v hluku a spalinám vydávaným pístovým generátorem. V případě porovnávané multikoptéry jde i o vyšší odpor způsobený generátorem a tudíž i snížená maximální rychlost. Odolnost vůči větru zůstává podobná, jako u elektrické multikoptéry.

Dané vlastnosti zlepšují rozsah použitelnosti pro některé aplikace. V případě snímání okolí lze ale očekávat možnost potíží s vibracemi od pístového generátoru. Multikoptéra s tímto pohonem přestává být vhodná pro použití v obydlených oblastech z důvodu hluku a vypouštění spalin. U vybraného typu lze pozorovat omezené možnosti pro montáž vybavení z důvodu polohy generátoru pod multikoptérou. Výsledkem je nevhodné využití pro zásilkové služby, bezpečnostní služby a pro letecké snímání pouze v omezeném rozsahu.

4.3.7 Hybridní multikoptéra napájená palivovými články

Palivové články sloužící jako náhrada za akumulátory výrazně posouvají zejména výdrž multikoptéry ve vzduchu. Je možné si všimnout, že maximální únosnost není příliš velká. Způsobuje to maximální výkon palivového článku, který je při dané velikosti omezený. Maximální rychlost je taktéž značně omezena kvůli zvýšenému odporu a nižšímu maximálnímu výkonu generátoru. Palivový článek ale nezpůsobuje žádný výrazný dodatečný hluk ani nevypouští škodlivé emise. Odolnost vůči větru je s vyšším odporem a menšími výkony ještě nižší než u elektrické multikoptéry. Palivový článek nepřidává dodatečné vibrace, což je výhoda.

Hybridní multikoptéra s palivovými články je se svými vlastnostmi velice vhodná pro dlouhý pohyb ve vzduchu s lehkým vybavením. Jedná se tedy o letecký monitoring, pořizování leteckých záběrů, nebo i využití pro bezpečnostní služby či mapování areálů. Naopak není příliš vhodná pro použití v horších povětrnostních podmínkách. Pro doručování balíků je tuto multikoptéru možné použít a je to vhodné v případě lehčích balíků doručovaných na větší vzdálenost od centrály.

4.3.8 Hybridní konstrukce s elektrickým pohonem

Kombinace letounu a multikoptéry slouží hlavně pro využití vlastností letounu s pevnými nosnými plochami, kdy je potřeba zajistit možnost kolmého vzletu a přistání. Ve srovnávací tabulce (viz Tabulka 15) je vidět, že cestovní rychlost je v porovnání s ostatními bezpilotními prostředky vysoká. Nevýhodou je nízká provozní nosnost a požadavky na nízký odpor případného vybavení nebo nákladu. Ve skutečnosti je potřeba, aby vybavení nanejvýše pouze lehce přesahovalo z jinak aerodynamického trupu, případně aby byl náklad umístěn přímo v něm. Odolnost vůči poryvům větru je špatná v režimu visení při startu a přistání, v režimu letounového letu ji lze považovat za přijatelnou. V kombinaci s elektrickým pohonem s akumulátory jde o velice slušné hodnoty výdrže a potažmo i doletu tohoto bezpilotního prostředku.

Vlastnosti vyhovují pro dlouhé lety s velkou cestovní rychlostí. Konkrétně lze tyto bezpilotní prostředky využít pro mapování velkých oblastí, monitoring a pořizování leteckých snímků z větší výšky nad terénem nebo pro snímání specifických hodnot na větším území pomocí speciálních senzorů. Využití vybrané konstrukce není příliš vhodné pro logistiku a transport z důvodu velkého rozpětí křídel a relativně malé nosnosti. Důležité je ale podotknout, že koncepty zabývající se právě přepravou zásilek na konkrétní adresy jsou často hybridní konstrukce, které jsou vhodněji navrženy.

4.3.9 Hybridní konstrukce s kombinovaným pohonem

Kombinovaný pohon přináší mnohem delší výdrž a dolet v režimu letounu. Lze však očekávat výrazně nižší výdrž v režimu visu v případě potřeby, protože není možné přerozdělovat energii pro vis a dopředný let, jako je tomu u varianty s čistě elektrickým pohonem. Pístový motor určený pro pohon při dopředném letu může způsobovat vibrace na palubě bezpilotního prostředku, které mohou činit potíže instalovanému vybavení. Hluk a škodlivé plyny jsou další nevýhody použití spalovacího motoru. Odolnost vůči větru je nízká při režimu visu a poměrně dobrá při letu v režimu letounu.

Velkou výhodou tohoto řešení je možnost odbourat nevýhody spalovacího motoru v místě startu a přistání, kde ho lze jednoduše vypnout. To přináší nové možnosti v doručování zásilek zejména v obydlených oblastech, kde je hluk a znečištění ovzduší velkou překážkou. U tohoto kombinovaného řešení pohonů lze využít spalovací motor pro let na velkou vzdálenost a relativně tichý chod při letu v malých výškách v obydlených oblastech. Konstrukce je stále výborná pro dlouhé snímání zemského povrchu zejména z větší výšky nad povrchem nebo pro pátrací akce na velké ploše.

4.3.10 Vzducholod' s elektrickým pohonem a Vzducholod' s hybridním pohonem

Vzducholodě jsou zvláštní kategorií bezpilotních prostředků, které vyhovují pouze specifickým účelům. Z tabulek je patrné (viz Tabulky 13 a 14), že velkou nevýhodou jsou řádově větší rozměry pro dostatečnou nosnost na přibližně stejně těžké vybavení, nebo náklad v porovnání s ostatními konstrukcemi bezpilotních prostředků. Maximální i cestovní rychlosti jsou velice nízké a z důvodu velké plochy balónu vzducholodě nelze počítat s prakticky žádnou odolností vůči větru. Maximální letová výdrž není u porovnávaných vzducholodí vzhledem k druhu pohonu nijak výjimečná, ale ze znalosti principu letu lze předpokládat její výrazné prodloužení v případě omezení cestovní rychlosti. S nízkým hlukem jde počítat pouze u čistě elektrické varianty.

S danými vlastnostmi nelze čekat univerzální použití. Vzducholodě se hodí především na dlouhé monitorovací lety oblasti s malou rozlohou, při kterých jsou ale velkým omezením nepříznivé povětrnostní podmínky. Nízká provozní rychlost může být v daném případě výhodou. Vzducholodě jsou také vhodné pro použití se speciálními senzory, například pro měření hodnot atmosféry. Nespornou výhodou při použití v obydlených oblastech je nižší riziko nárazu nebo pádu vzducholodě ve vysoké rychlosti. Dále se dají použít pro letecké snímání všeho druhu.

5 Budoucnost bezpilotních prostředků

Většina myšlenek zmíněných v této kapitole je od autora práce, který vychází z informací získaných v průběhu psaní práce a informací nabytých ze zájmu o danou problematiku.

Bezpilotní prostředky jsou v dnešní době využívány v profesionální sféře stále poměrně okrajově a doplňkově. Výjimku tvoří oblasti, ve kterých se používají pro fotografování a natáčení videa. Zde, pokud jde o letecké snímky, již z velké části nahradily klasické pilotované prostředky. Obecně největší překážkou pro bezpilotní prostředky je nedořešená legislativa. Problém se nachází především v zajištění autonomního leteckého provozu bezpilotních prostředků bez přímé kontroly obsluhou. Dalším problémem je garance spolehlivosti bezpilotních strojů, které se mají pohybovat nad majetkem a lidmi. Výraznou překážkou je také nepřipravenost legislativy v Evropě. Bude potřeba zavést systém certifikace techniky a personálu podobně, jako je tomu v letecké dopravě, kterou známe dnes. Po alespoň částečném vyřešení těchto problémů bude možné dále a výrazně integrovat bezpilotní prostředky do současné infrastruktury. Velký vliv na rychlost a rozsah integrace bezpilotních prostředků do všech oborů má také finanční nákladnost nových technologií a ekonomická situace. Do budoucna lze bezpilotní provoz rozdělit do těchto kategorií:

- Snímání okolí z letecké perspektivy
- Přeprava zboží a materiálu
- Přeprava osob
- Další aplikace

5.1 Snímání okolí z letecké perspektivy

Použití bezpilotních prostředků pro snímání svého okolí je nejčastější důvod pro jejich nasazení v dnešní době. Ať už se jedná o fotoaparát, videokameru, nebo speciální senzory, většinou lze takový let provést za přímé viditelnosti obsluhy dronu a jedná se tak o nejméně problémové využití. V budoucnosti v této oblasti nelze očekávat žádné výrazné změny. Tou největší bude pravděpodobně vysoká automatizace takových strojů, které budou samy snímat své okolí podle předem určené trajektorie.

5.1.1 Konstrukce a pohon

Aktuální bezpilotní prostředky pro snímání okolí se vyznačují kompaktními rozměry. Kamery a senzory obvykle nejsou příliš těžké, a proto není problém udělat bezpilotní prostředek menších rozměrů pro snadnou přepravu a nižší pořizovací náklady. U bezpilotních prostředků zaměřených na snímání okolí není nutnou podmínkou vysoký dolet, velká únosnost a velká výdrž. Naopak je často kladen důraz na detail, který je možné zachytit pouze při nízké rychlosti

nebo visu. Proto se v této kategorii nejčastěji používají multikoptéry s elektrickým pohonem, kdy zdroj energie tvoří akumulátory. V případě nutnosti vysoké výdrže a doletu se používají letouny bez možnosti vertikálního vzletu a přistání. V okrajových případech se objevují konstrukce hybridní.

Do budoucna lze očekávat zachování konstrukce typu multikoptéra, protože se jedná o nejjednodušší řešení s nízkými vibracemi a jednoduchou obsluhou. V případě nehody při autonomním letu nebudou škody příliš velké ve srovnání s jinými konstrukcemi. Multikoptéry budou doplněny o hybridní konstrukce s vyšším doletem a výdrží. Co se týče pohonu, zde je možné očekávat využití stále stejných stejnosměrných bezkartáčových elektromotorů, které disponují vysokou účinností. Změny mohou nastat ve zdroji elektrické energie, kdy budou využity palivové články pro primární pohon, akumulátory nebo ultrakondenzátory jako záloha.

5.2 Přeprava zboží a materiálu

Využití bezpilotních prostředků pro přepravu zboží lze dělit do několika kategorií. První, tedy přeprava materiálu pro vojenský, či záchranný účel, se nejméně potýká s hranicemi legislativy. Obvykle jde totiž o organizace spadající pod vládu, a tak je možné udělit výjimky.

Do druhé kategorie spadá přeprava zásilek z centrály na konkrétní adresy. Jedná se o nahrazení zásilkových služeb, které dnes pro tento účel používají převážně automobily a lidskou obsluhu. V této oblasti velké firmy dotují značný vývoj. Fyzické nasazení do provozu ovšem znemožňují již zmíněné zákony a nedořešené problémy. V současné době velké společnosti testují své bezpilotní prostředky pro tento účel a je velice pravděpodobné, že v budoucnu bude tento typ doručování zásilek běžný. Vzhledem k množství nedořešených problémů lze plošné využití očekávat v řádu 10 let.

Třetí kategorie je přeprava velkých objemných nákladů na dlouhé vzdálenosti. Zde se pravděpodobně jedná o dalekou budoucnost, v řádu několika desetiletí, kdy půjde o nahrazení lidských posádek v klasických pilotovaných prostředcích elektronikou a stanou se z nich tak prostředky bezpilotní. Je však možné očekávat, že takovýto vývoj nastane dříve právě u přepravy nákladního charakteru. Lidé zpočátku nebudou chtít létat v letadlech bez lidské posádky. Tento problém ovšem u přepravy zboží odpadá.

5.2.1 Konstrukce a pohon

Volba typu konstrukce a pohonu úzce souvisí s hmotností, vzdáleností a způsobem doručení dané zásilky. Současné koncepty a bezpilotní prostředky v provozu pro doručování zásilek jsou typu multikoptér, případně hybridní konstrukce. Toto řešení vychází zejména z požadavku přesného řízení na místo určení s co nejmenšími následky rizika v případě kolize. Multikoptéry

jsou jednoduché a vhodné pro autonomní let s mechanismem pro transport nákladu. Lze u nich také jednoduše zajistit určitý druh ochrany vrtulí před střetem s překážkami. Hybridní řešení vychází z požadavku delšího doletu a vyšší cestovní rychlosti.

V budoucnosti je tedy možné očekávat multikoptéry s ochranou vrtulí na kratší lety a hybridní konstrukce na delší vzdálenosti. Dnešní nejvíce používaný zdroj energie, tedy Li-Pol akumulátory, lze označit za největší slabinu. Proto je možné očekávat nástup palivových článků u bezpilotních prostředků pro krátké a střední vzdálenosti přepravy do 200 km. Malé spalovací generátory, přestože dopadly v porovnání velice dobře, nebudou používány pro provoz blízko obydlených oblastí z důvodu vysokého hluku a spalin znečišťujících okolní prostředí. Přepravu objemných a těžkých nákladů budou zajišťovat bezpilotní prostředky se spalovacím pohonem podobné dnešním pilotovaným strojům. Může se jednat o vrtulníky nebo hybridní konstrukce s pístovým nebo turbínovým pohonem.

5.3 Přeprava osob

Již v současné době existují prototypy bezpilotních prostředků pro autonomní přepravu osob. Většina prototypů, co připomíná bezpilotní prostředek svým vzhledem a je koncipovaná pro přepravu osob je ovšem stále říditelných pilotem na palubě a nejedná se tak o bezpilotní prostředek. Je pravděpodobné, že cestující budou mít obavy z letu prostředkem, který není možné ovládat z paluby. Lze tedy předpokládat, že minimálně v následujících 5-10 letech budou prostředky pro převoz lidí na krátké vzdálenosti, které svou konstrukcí budou připomínat ty bezpilotní a budou koncipované pro start a přistání mezi objekty mimo letiště, stále plně říditelné přímo z paluby. V časovém horizontu několika desetiletí je předpokládán plně autonomní let dopravních prostředků, které jsou dnes pilotované posádkou na palubě.

Největší pokrok se předpokládá právě v již zmiňované osobní přepravě jednotlivců na krátké vzdálenosti. Současná pozemní infrastruktura je přeplněná a vyvíjí se snaha přenést část dopravy do vzduchu. Technologicky se to pomalu stává uskutečnitelné, ale největší překážkou je opět legislativa a řešení, jak bezpečně zajistit vzdušný provoz ve velkém rozsahu. Po vyřešení těchto otázek se předpokládá pomalý nástup pilotovaných a později bezpilotních prostředků k přepravě osob na krátké a střední vzdálenosti, které jsou nyní zajišťovány pozemní dopravou.

5.3.1 Konstrukce a pohon

I přes značně vyšší efektivitu konstrukce typu vrtulník se současné koncepty bezpilotních prostředků pro přepravu osob uchylují spíše směrem multikoptér. Nejčastější řešení je multikoptéra se čtyřmi rameny a osmi vrtulemi (viz Obrázek 27). Výrobci upřednostňují tuto konstrukci před konstrukcí vrtulníku, především kvůli menším rozměrům celého bezpilotního

prostředku a snazšímu umístění kabiny pro posádku a cestující. Menší mechanická složitost multikoptéry také do jisté míry zajišťuje větší spolehlivost. Další zásadní výhodou jsou menší následky po kolizi malé vrtule oproti velkému rotoru vrtulníku s nějakým předmětem při startu a přistání. Navíc je možné chránit vrtule multikoptéry ochrannou konstrukcí. Výsledkem je provoz vhodnější do prostředí plného překážek, jako jsou například města. Pro delší vzdálenosti budou použity hybridní konstrukce s pevnými nosnými plochami.

Pohon vrtulí obstarávají elektromotory, které jsou napájené akumulátory. V oblasti osobní přepravy lze zpočátku pro napájení předpokládat i použití spalovacích generátorů na výrobu elektrické energie. Druhou možností pro napájení jsou palivové články, které jsou oproti spalovacím generátorům daleko šetrnější k životnímu prostředí a budou vhodnější pro provoz v městských oblastech. Není vyloučen i pokrok ve vývoji nových technologií v oblasti akumulátorů nebo v oblasti ultrakondenzátorů.



Obrázek 27 - EHang 184 [48]

5.4 Další aplikace

V budoucnosti se s bezpilotními prostředky počítá ve velké míře v průmyslu. Kromě již zmíněné dopravy materiálu lze předpokládat velké využití i při jiných aplikacích. Bepilotní prostředky budou vybaveny speciální technikou pro dané operace. Může se například jednat o obhospodařování zemědělských pozemků na těžko přístupných místech, údržba elektrického vedení nebo odchyt zvíře. Možností využití je spousta a závisí na požadované operaci, jaký druh konstrukce a pohonu bude zvolen. Oblasti, ve které je možné počítat s téměř kompletním nahrazením pilotovaných prostředků, jsou vzdušné ozbrojené síly. Bojové bezpilotní prostředky zamezí zbytečným ztrátám na životech pilotů.

Závěr

Bezpilotní létající prostředky jsou jednoznačným trendem dnešní doby. Je s nimi však spjata mnoho kontroverzních a nevyřešených otázek týkajících se především legislativy, regulace a zajištění bezpilotního provozu. Záměrem této práce bylo zjistit možnosti technických řešení bezpilotních prostředků s kolmým vzletem a přistáním. Hlavním cílem bylo srovnání technických a provozních parametrů podle druhu konstrukce a pohonu s následným vyhodnocením současných letových úkolů a prognózou do budoucna.

První kapitola se zabývá možnostmi využití bezpilotních leteckých prostředků napříč všemi obory. Je patrné, že nejčastěji jsou využívány pro pořizování leteckých snímků, které je možno ukládat do záznamu, nebo sledovat aktuálně přenášený obraz. Dále jsou nejčastěji využívány pro snímání okolí, kde jsou na těchto bezpilotních prostředcích zavěšeny nejrůznější senzory. V současné době začínají být používány také pro distribuci a přenos nejrůznějších materiálů a zboží, což poukazuje na další možnost jejich širokého využívání i v budoucnu.

Následující kapitoly tvoří výčet aktuálních technických možností uplatňovaných při konstrukci bezpilotních prostředků s kolmým vzletem a přistáním. Konkrétně se jedná o konstrukci draků a druhy pohonů. Konstrukce draku má významný vliv na výsledné vlastnosti bezpilotního prostředku. V dnešním světě, kde je pod pojmem bezpilotní prostředek s kolmým vzletem a přistáním brán téměř výhradně nějaký typ multikoptéry, je důležité vědět, že jsou tu i další možnosti. Pohon, především zdroj energie, je jednoznačně největší slabinou používaných bezpilotních prostředků. V třetí kapitole jsou uvedeny i jiné možnosti pro pohon, než je dnes nejčastěji používané spojení elektromotorů a akumulátorů.

Pro zjištění závislosti konstrukce draku v kombinaci s typem pohonu na funkčních a letových vlastnostech bylo třeba zvolit konkrétní provozuschopné zástupce bezpilotních prostředků určených pro profesionální použití. Vybíráno bylo z velkého množství typů od různých výrobců. Výsledný výběr byl volen s ohledem na co největší rozmanitost kombinací konstrukce a pohonu. Důležité parametry byly vloženy do přehledových tabulek. Pro účel přímého porovnání byla vytvořena srovnávací tabulka, do níž jsou uvedeny hodnoty nejdůležitějších letových vlastností vybraných bezpilotních prostředků a zavedeny veličiny usnadňující vyhodnocení výsledků. Náročnost tohoto úkolu spočívala v získání kompletních informací týkajících se bezpilotních prostředků. Na webových stránkách chybělo mnoho informací, tudíž bylo třeba kontaktovat některé společnosti přímo, a i poté zareagovali pouze některé. Pro účel této práce bylo potřeba chybějící parametry kvalifikovaně predikovat. Z tabulky byly vygenerovány grafy pro názornější srovnání. Na základě dat, tabulek a grafů bylo vyhodnoceno vhodné využití konkrétních kombinací draku a druhu pohonu pro různé aplikace.

Bezpilotní prostředky jsou mnohdy označovány technologií budoucnosti. Proto autor na základě poznatků získaných při psaní této práce předpověděl očekávané využití bezpilotních prostředků právě v budoucnosti. Dále jednotlivé příklady využití doplnil o vývoj konstrukcí a pohonů bezpilotních prostředků s kolmým vzletem a přistáním v nadcházejících letech.

Účelem této práce bylo zhodnocení technických možností bezpilotních prostředků s kolmým vzletem a přistáním a určení vhodných aplikací v závislosti na konstrukci a pohonu. V práci nebyla příliš řešena ekonomická stránka věci, protože se ceny liší spíše v závislosti na kvalitě výrobku a nabízených služeb výrobcem než na technologii výrobku.

Použité zdroje

- [1] KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. Drony. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.
- [2] JHA, A. R. Theory, design, and applications of unmanned aerial vehicles. Boca Raton, FL: CRC Press / Taylor & Francis Group, [2017]. ISBN 9781498715423.
- [3] Předpis L2: Doplněk X - Bezpilotní systémy [online]. 2018 [cit. 2019-06-22]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- [4] STOJAR, Richard. OBRANA A STRATEGIE: Bezpilotní prostředky a problematika jejich nasazení v soudobých konfliktech [online]. 22. 12. 2016 [cit. 2019-06-24]. Dostupné z: <https://www.obranaastrategie.cz/cs/archiv/rocnik-2016/2-2016/clanky/bezpilotni-prostredky-a-problematika-jejich-nasazeni-v-soudobych-konfliktech.html>
- [5] STRAKOŠ, Jiří. HASIČSKÝ ZÁCHRANNÝ SBOR ČESKÉ REPUBLIKY: Časopis 112 ROČNÍK XVIII ČÍSLO 1/2019[online]. 2019 [cit. 2019-06-24]. Dostupné z: <https://www.hzscr.cz/clanek/casopis-112-rocnik-xviii-cislo-1-2019.aspx?q=Y2hudW09OA%3D%3D>
- [6] DronySIT: IZS a krizové řízení [online]. 2019 [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <https://dronysitmp.cz/sluzby/izs-a-krizove-rizeni/>
- [7] NOVINKY.CZ: Bude pomáhat záchranářům. DJI má nový dron se světly a reproduktorem [online]. 1. 11. 2018 [cit. 2019-07-01]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/internet-a-pc/hardware/clanek/bude-pomahat-zachranarum-dji-ma-novy-dron-se-svetly-a-reproduktorem-40251638>
- [8] TÝDEN.CZ: V západoafrické Ghaně budou léky, vakcíny a krev rozvážet drony [online]. 24. 4. 2019 [cit. 2019-07-01]. Dostupné z: https://www.tyden.cz/rubriky/zdravi/v-zapadoafricke-ghane-budou-leky-vakciny-a-krev-rozvazet-drony_520395.html
- [9] HŮDA, Vladimír a Jiří BĚLOHOUBEK. OCHRANA PŘÍRODY: Využití bezpilotních prostředků v ochraně přírody [online]. 20. 12. 2016 [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <http://www.casopis.ochranaprirody.cz/vyzkum-a-dokumentace/vyuziti-bezpilotnich-prostredku-v-ochrane-prirody/>
- [10] SSI GROUP: Budoucnost patří bezpilotním prostředkům. V některých oborech budoucnost nastala, drony hlídají objekty i bojují s požáry. [online]. 2019 [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://www.ssi.cz/budoucnost-patri-bezpilotnim-prostredkum-v-nekterych-oborech-jiz-budoucnost-nastala-drony-hlidaji-objekty-i-bojuji-s-pozary/>

- [11] SHILIAKOVA, Olga. BEZPILOTNÍ PROSTŘEDKY V OBLASTI ZEMĚDĚLSTVÍ A CHOUVU HOSPODÁŘSKÝCH ZVÍŘAT [online]. Praha, 2018 [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/77617/F6-DP-2018-Shiliakova-Olga-Diplomova%20prace_Olga_Shiliakova.pdf?sequence=-1&isAllowed=y Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Vedoucí práce Ing. David Hůlka.
- [12] EMERJ: Industrial Uses of Drones – 5 Current Business Applications [online]. 2019 [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://emerj.com/ai-sector-overviews/industrial-uses-of-drones-applications/>
- [13] CHAPMAN, Andrew. AUAV: Types of Drones: Multi-Rotor vs Fixed-Wing vs Single Rotor vs Hybrid VTOL[online]. [cit. 2019-07-15]. Dostupné z: <https://www.auav.com.au/articles/drone-types/>
- [14] BROŽEK, Petr. Rotory vrtulníků [online]. Brno, 2012 [cit. 2019-07-15]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52852. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. Ing. Miloslav Petrásek, CSc
- [15] Multicopter. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 13. 5. 2014 [cit. 2019-07-16]. Dostupné z: <http://wiki.theuavguide.com/wiki/Multicopter>
- [16] LIANG, Oscar. DRONETHUSIAST: Y6 Copter, Y3 Copter & other Multicopter Configurations [online]. [cit. 2019-07-18]. Dostupné z: <https://www.dronethusiast.com/what-you-should-know-about-multicopter-configurations/>
- [17] In: SEMANTIC SCHOLAR: Autopilot design of tilt-rotor UAV using particle swarm optimization method[online]. 2007 [cit. 2019-07-18]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Autopilot-design-of-tilt-rotor-UAV-using-particle-Lee-Min/2f2b00bddace6df35218da33fd17ddd08a024a26>
- [18] MONTIMER, Gary. In: SUAS NEWS THE BUSINESS OF DRONES: Iranian press release image [online]. 2012 [cit. 2019-07-18]. Dostupné z: <https://www.suasnews.com/2012/11/iranian-koker-1-vtol-drone-faked-images/>
- [19] In: INDIAMART: Drones and UAV [online]. Chandigarh [cit. 2019-07-18]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/technosysembedded/drones-and-uav.html>
- [20] MANAK, Rita. In: FLC: Stop-Rotor Rotary Wing Aircraft [online]. 7. 3. 2012 [cit. 2019-07-22]. Dostupné z: <https://www.federallabs.org/news/stop-rotor-rotary-wing-aircraft>
- [21] REYES, Alejandro Flores. Design and development of an UAV with hybrid flight capabilities [online]. León, Guanajuato, México, 2018 [cit. 2019-07-22]. Dostupné

- z:
<https://pdfs.semanticscholar.org/6107/6cc77bec0a0ad76669d51e5c991019d1b7d6.pdf>. Centro de investigaciones en optica a.c. Vedoucí práce PhD. Gerardo Ramón Flores Colunga.
- [22] AIRSHIPCLUB.COM: Vzducholodě [online]. 2012 [cit. 2019-07-22]. Dostupné z: <http://www.airshipclub.com/vzducholode.php>
- [23] KLVANA, Pavel. Design nákladní vzducholodě [online]. Brno, 2014 [cit. 2019-07-21]. Dostupné z: http://www.ustavkonstruovani.cz/FileDownload/getFile/948/DP_Klvana.pdf/
Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.
- [24] PAVEC, Michal. HOSPODÁŘSKÉ NOVINY: Vzducholodě z Dejvic měří těžařům znečištění. Stojí o ně i v Ostravě [online]. 2013 [cit. 2019-07-21]. Dostupné z: <https://byznys.ihned.cz/c1-60135520-vzducholode-z-dejvic-meri-tezarum-znecisteneni-stoji-o-ne-i-v-ostrave>
- [25] CNBC: That's no balloon, it's a drone! Halo takes to the skies as latest trend in UAVs [online]. 2017 [cit. 2019-07-29]. Dostupné z: <https://www.cnbc.com/2017/05/06/thats-no-balloon-its-a-drone-halo-takes-to-the-skies-as-latest-trend-in-uavs.html>
- [26] NCBI: Fuel Cells: A Real Option for Unmanned Aerial Vehicles Propulsion [online]. 2014 [cit. 2019-07-29]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3926242/>
- [27] Propulsion System. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 19. 4. 2014 [cit. 2019-07-29]. Dostupné z: http://wiki.theuavguide.com/wiki/Propulsion_System
- [28] NOVÁK, Jan A. DRONEWEB: Nahradí ultrakapacitory lithiové akumulátory? [online]. 2017 [cit. 2019-07-30]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/akumulatory/item/85-ultrakapacitory-akumulatory>
- [29] NOVÁK, Jan A. DRONEWEB: Palivové články udrží dron ve vzduchu řadu hodin [online]. 2018 [cit. 2019-07-30]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/aktuality/item/260-plalivove-clanky-drony>
- [30] AFEWORK, Bethel, Brodie YYELLAND a Jason DONEV. ENERGY EDUCATION: Solar cell efficiency [online]. 2018 [cit. 2019-07-30]. Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_cell_efficiency
- [31] RC-ZOOM.CZ: Modelářské elektromotory - 2. díl [online]. [cit. 2019-07-25]. Dostupné z: <https://www.rc-zoom.cz/modelarske-elektromotory-2-dil/>

- [32] TAYLOR & FRANCIS ONLINE: Analysis of propulsion systems of unmanned aerial vehicles [online]. 2017 [cit. 2019-08-02]. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20464177.2017.1383337>
- [33] MZAK PICTURES: Typy leteckých motorů [online]. [cit. 2019-08-02]. Dostupné z: <http://www.leteckemotory.cz/teorie/typy-leteckych-motoru/>
- [34] LU, Wang, Daibing ZHANG a Jiyang ZHANG. SEMANTIC SCHOLAR: Design and implementation of a gasoline-electric hybrid propulsion system for a micro triple tilt-rotor VTOL UAV [online]. 2017 [cit. 2019-08-04]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Design-and-implementation-of-a-gasoline-electric-a-Lu-Zhang/ccae43799f4b8c47b0198c2733c037e253e6db73>
- [35] MDPI: Hybrid Propulsion Systems for Remotely Piloted Aircraft Systems [online]. 2018 [cit. 2019-08-04]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2226-4310/5/2/34/htm>
- [36] VELOS ROTORS: VELOS UAV [online]. Newark, 2018 [cit. 2019-08-04]. Dostupné z: <https://velosuav.com/velosuav/>
- [37] AVINC.COM: VAPOR Helicopter UAS [online]. [cit. 2019-08-04]. Dostupné z: <http://www.avinc.com/uas/view/vapor-vtol>
- [38] ALPHA UNMANNED SYSTEMS: Alpha 800 UAV Helicopter [online]. [cit. 2019-08-04]. Dostupné z: <https://alphaunmannedsystems.com/alpha-800-uav/>
- [39] HIGH EYE: Unmanned Helicopter Systems [online]. [cit. 2019-08-05]. Dostupné z: <https://www.higheye.com>
- [40] TT ROBOTIX: ThunderHawk [online]. [cit. 2019-08-03]. Dostupné z: <https://www.ttrobotix.com/product/thunderhawk>
- [41] TT ROBOTIX: Hcx2 JUPITER [online]. [cit. 2019-08-07]. Dostupné z: <https://www.ttrobotix.com/product/hcx2-jupiter>
- [42] MICRO DRONES: The heavy-lifting drone: md4-3000 [online]. [cit. 2019-08-08]. Dostupné z: <https://www.microdrones.com/en/drones/md4-3000/>
- [43] FOXTECH: FOXTECH GAIA 160S Hexacopter [online]. [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: <https://www.foxtechfpv.com/foxtech-gaia-160s-hexacopter-2.html>
- [44] FOXTECH: GAIA 160 Elite Pro Hybrid Drone [online]. [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: <https://www.foxtechfpv.com/gaia-160-elite-hybrid-drone.html>
- [45] HES: HYCOPTER up to 3.5 hour flight durations* hydrogen electric multi-rotor [online]. [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: <https://www.hes.sg/hycopter>

- [46] FOXTECH: Eagle Hero VTOL ARF Combo [online]. [cit. 2019-08-15]. Dostupné z: https://www.foxtechfpv.com/eagle-hero-vtol-arf-combo.html?gclid=Cj0KCQjwwIPrBRCJARIsAFIVT8_mPA0-rBuGFY4hMGq0eRD3dHzITrwJLei0jD2-EwqmInDUoWGmRoAaAvMrEALw_wcB
- [47] ALTIUAS: ALTI Ascend [online]. [cit. 2019-08-14]. Dostupné z: <https://www.altiuas.com/ascend/>
- [48] MOBILIZUJEME: EHang 184: přepište dějiny, je tu první drone na přepravu osob [online]. 2016 [cit. 2019-08-10]. Dostupné z: <https://mobilizujeme.cz/clanky/ehang-184-prepiste-dejiny-je-tu-prvni-drone-na-prepravu-osob>

Seznam obrázků

- Obrázek 4 - Uspořádání rotorů vrtulníků [14]
- Obrázek 5 - Uspořádání vrtulí multikoptér [15]
- Obrázek 6 - Konvertoplán – Otočné pohonné jednotky [17]
- Obrázek 4 - Konvertoplán – Otočná křídla [18]
- Obrázek 5 - Konvertoplán – Dvojité provedení [19]
- Obrázek 6 - Konvertoplán – Rotorové křídlo [20]
- Obrázek 7 - Hybridní letoun s přistávacím zařízením v ocasní části [21]
- Obrázek 8 - Neztužená vzducholod' [24]
- Obrázek 9 - Neztužený balón [25]
- Obrázek 10 - Prvky elektrického pohonu [27]
- Obrázek 11 - Prvky spalovacího pohonu [27]
- Obrázek 12 - Prvky hybridního pohonu [34]
- Obrázek 13 - Velos UAV [36]
- Obrázek 14 - Vapor 55 [37]
- Obrázek 15 - Alpha 800 [38]
- Obrázek 16 - HEF 32 UAV [39]
- Obrázek 17 - ThunderHawk [40]
- Obrázek 18 – Hcx2 JUPITER [41]
- Obrázek 19 - md4-3000 [42]
- Obrázek 20 - Gaia 160s [43]
- Obrázek 21 - Gaia 160 Elite [44]
- Obrázek 22 - Hycopter [45]
- Obrázek 23 - Eagle Hero VTOL [46]
- Obrázek 24 - Alti Ascend [47]
- Obrázek 25 - vzducholod' 9M [22]
- Obrázek 26 - vzducholod' 15X [22]
- Obrázek 27 - EHang 184 [48]

Seznam tabulek a grafů

Tabulka 1 – Velos UAV

Tabulka 2 – Vapor 55

Tabulka 3 – Alpha 800

Tabulka 4 – Hef 32 UAV

Tabulka 5 – ThunderHawk

Tabulka 6 – Hcx2 JUPITER

Tabulka 7 – md4-3000

Tabulka 8 – Gaia 160s

Tabulka 9 – Gaia 160 Elite

Tabulka 10 – Hycopter

Tabulka 11 – Eagle Hero VTOL

Tabulka 12 – Alti Ascend

Tabulka 13 – vzducholod' 9M

Tabulka 14 – vzducholod' 15X

Tabulka 15 – Srovnávací tabulka

Graf 1 – Poměrná nosnost

Graf 2 – Čas letu při dané nosnosti