

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Adam Hlaváč

VYUŽITÍ DRONŮ PRO LETECKÉ SNÍMKOVÁNÍ

Diplomová práce

2017

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621.....**Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Adam Hlaváč

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Využití dronů pro letecké snímkování**

Název tématu (anglicky): Use of Drones in Aerial Photography

Zásady pro vypracování

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

- Historický vývoj
- Rozdělení bezpilotních létajících prostředků
- Předpisová základna
- Vývoj a konstrukce modelu letadla pro AP "Letoun"
- Vývoj a konstrukce modelu letadla pro AP "Quadrokoptéra"
- Konstrukce a výroba "gimbalu" pro stabilizaci obrazu



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Drones the complete manual, Imagine Publishing Ltd., 2016
DRONES AND AERIAL OBSERVATION, New America, 2015
Letecké modelářství a aerodynamika, Ing. Hoření, Ing. Lněnička, Naše vojsko, 1977

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Anna Polánecká, Ph.D., MBA**

Datum zadání diplomové práce: **30. července 2015**
(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 diplomové práce: **30. května 2017**
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. Stanislav Szabo, PhD. MBA
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Adam Hlaváč
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 30. prosince 2016

Poděkování


Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji vedoucí mé diplomové práce, Ing. Anně Polánecké, Ph.D., MBA za odborné vedení, konzultace a cenné rady. Dále bych rád poděkoval členům Aeroklubu Mladá Boleslav a Nadačního Fondu Letadlo Metoděje Vlacha, za jejich dlouhodobou podporu a za odborné rady.

Především bych rád poděkoval svojí rodině a přátelům za morální a materiální podporu, které se mi od nich dlouhodobě dostává a bez které by moje studium nebylo možné.

Prohlášení

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

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



Bc. Adam Hlaváč
jméno a podpis studenta

Abstrakt

Hlavním cílem této diplomové práce je zkonstruovat, postavit a zalétat dva bezpilotní prostředky, které mají zcela odlišnou koncepci a které budou v praxi využitelné pro pořízování amatérských leteckých fotografií a videí.

V první části práce se autor věnuje historickému vývoji a rozdělení bezpilotních prostředků. Dokumentuje úkoly které tyto stroje v současnosti plní, případně mohou v blízké budoucnosti plnit. V závěru první části zmiňuje několik směrů, kterými se další vývoj těchto prostředků bude pravděpodobně ubírat.

Druhá část práce se zaměřuje na návrh, konstrukci, stavbu, programování a letové testování modelů "Letoun" a "Quadrokoptéra".

Klíčové termíny:

Drony, Bepilotní prostředky, UAV, UAS, Modely letadel, Letoun, Quadrokoptéra

Abstract

The main goal of this master thesis is to design, build and flight test two drones of a different conception. These drones were designed and built by the author of this thesis. Their main practical use shall be as platforms for aerial photography.

The first part of this thesis documents history, development and fields of use of Unmanned Aerial Vehicles today and in a near future.

The second part of this thesis concerns design, construction, building techniques, programming and flight testing of those two drones for aerial photography, made by the author.

Main terms:

Drones, Pilotless Airplanes, UAV, UAS, Models of Airplanes, Aircraft, Quadcopter

Obsah

| | |
|---|----|
| Seznam použitých zkratek..... | 10 |
| 1. Úvod: | 12 |
| 2. Historický vývoj: | 15 |
| 2.1. Pionýři..... | 15 |
| 2.2. Létající bomby | 17 |
| 2.3. První sériově vyráběný bezpilotní letoun | 19 |
| 2.4. První sériové bezpilotní stroje pro letecké snímkování | 22 |
| 2.5. UAV pro letecké snímkování po druhé světové válce..... | 28 |
| 2.6. Současnost vojenských UAV | 33 |
| 2.7. Bepilotní prostředky v Armádě České Republiky | 37 |
| 2.7.1. Historie bezpilotních prostředků v AČR | 37 |
| 2.7.1.1. Bepilotní letoun SOJKA III | 37 |
| 2.7.2. Současnost bezpilotních prostředků v AČR..... | 41 |
| 2.8. Vývoj bezpilotních prostředků v 80. a 90. letech 20.století..... | 44 |
| 3. Rozdělení bezpilotních létajících prostředků: | 45 |
| 3.1. Rozvoj civilních bezpilotních prostředků..... | 47 |
| 3.2. Rozdělení civilních bezpilotních prostředků podle použití..... | 49 |
| 3.3. Pátrání a záchranna (SAR) | 50 |
| 3.3.1. Úprava rekreačních dronů a modelů pro využití v SAR..... | 52 |

| | |
|--|----|
| 3.4. Vědecké využití bezpilotních prostředků | 54 |
| 3.4.1. Výzkum divoce žijících zvířat..... | 54 |
| 3.4.2. Opylování pomocí dronů..... | 56 |
| 3.5. Doručování | 58 |
| 3.5.1. Přeprava transplantační krve..... | 58 |
| 3.5.2. Létající mobilní defibrilátory | 59 |
| 3.5.3. Spedice | 62 |
| 3.5.3.1. Společnost DHL..... | 63 |
| 3.5.3.2. Google | 66 |
| 3.6. Letecké snímkování | 69 |
| 3.6.1. Profesionální firmy..... | 69 |
| 3.6.1.1. Výškové inspekce | 69 |
| 3.6.1.2. Geo služby..... | 69 |
| 3.6.1.3. Letecké video..... | 70 |
| 3.6.1.4. Fotografie..... | 70 |
| 3.7. Rekreační využití | 71 |
| 3.7.1. Rekreační letecké snímkování..... | 73 |
| 3.7.2. Létání FPV | 75 |
| 3.7.3. Závodění s drony..... | 76 |

| | |
|---|----|
| 3.8. Nejnovější koncepce | 77 |
| 3.8.1. Přeprava osob | 77 |
| 3.8.2. Biologická ochrana letiště | 79 |
| 3.8.3. Záchrané práce v náročném interiéru | 80 |
| 4. Předpisová základna:..... | 82 |
| 4.1. Doplněk X - BEZPILOTNÍ SYSTÉMY | 82 |
| 4.2. Shrnutí omezení a zásad pro létání s drony, plynoucích z doplňku X | 88 |
| 5. Vývoj a konstrukce modelu letadla pro AP „Letoun“:..... | 89 |
| 5.1. Zkušenosti autora s konstrukcí modelů letadel..... | 89 |
| 5.2. Zkušenosti autora s leteckým fotografováním | 90 |
| 5.3. Motivace pro konstrukci tohoto modelu | 91 |
| 5.3.1. První pokusy se snímáním z modelů..... | 91 |
| 5.3.2. Montáž na horní části trupu, pohled do přední polosféry | 94 |
| 5.3.3. Montáž na trupu, pohled přes křídlo | 95 |
| 5.3.4. Montáž pod trupem, snímání přední polosféry..... | 96 |
| 5.3.5. Shrnutí zkušeností z provozu tohoto modelu | 97 |
| 5.4. Stanovení základních parametrů modelu “Letoun“ | 98 |
| 5.5. Konstrukce modelu | 99 |
| 5.5.1. Návrh základní koncepce | 99 |

| | |
|--|-----|
| 5.5.2. Aerodynamika nosných ploch | 100 |
| 5.5.2.1. Profil křídla | 100 |
| 5.5.2.2. Reynoldsovo číslo | 101 |
| 5.5.2.3. Určení plošného zatížení a výpočet velikosti nosné plochy | 102 |
| 5.5.2.4. Volba ideálního profilu křídla | 106 |
| 5.5.3. Volba uspořádání modelu | 108 |
| 5.5.4. Stabilita | 109 |
| 5.5.4.1. Podélná STABILITA | 109 |
| 5.5.4.2. Příčná stabilita | 111 |
| 5.5.5. Nerušený záběr nesených kamer | 114 |
| 5.5.6. Vysoká pasivní bezpečnost provozu | 115 |
| 5.5.7. Snadná přepravitelnost | 115 |
| 5.5.8. Rychlá příprava k letu | 115 |
| 5.5.9. Zvolené uspořádání a materiál modelu | 116 |
| 5.6. Stavba modelu | 118 |
| 5.6.1. Stavba trupu | 118 |
| 5.6.1.1. Trupová gondola | 119 |
| 5.6.1.2. Nosník ocasních ploch | 122 |
| 5.6.1.3. Uchycení hlavního kola přistávacího podvozku | 126 |
| 5.6.1.4. Konstrukce svislé ocasní plochy | 128 |
| 5.6.1.5. Stavba vodorovné ocasní plochy | 132 |

| | |
|---|-----|
| 5.6.1.6. Výroba náhonu ocasních ploch | 133 |
| 5.6.1.7. Potahování nosníku ocasních ploch..... | 134 |
| 5.6.1.8. Stavba centroplánu | 135 |
| 5.6.2. Stavba křídel | 137 |
| 5.6.2.1. Vyříznutí polotovarů křídel..... | 137 |
| 5.6.2.2. Spleení polotovarů křídel a vlepení pásnic nosníku..... | 138 |
| 5.6.2.3. Vlepení duralového lože hlavního nosníku | 139 |
| 5.6.2.4. Výroba křidélek a vztlakové mechanizace..... | 140 |
| 5.6.2.5. Vypálení montážních otvorů, pro uložení serv a vedení konektorů..... | 142 |
| 5.6.2.6. Výroba koncových oblouků křídel..... | 143 |
| 5.6.2.7. Upevnění křídel a přenos sil do centroplánu | 144 |
| 5.7. Montáž palubní elektroinstalace..... | 146 |
| 5.7.1. Zapojení palubní sítě | 146 |
| 5.7.2. Montáž pohonné jednotky..... | 148 |
| 5.7.3. Montáž serv pro ovládání ocasních ploch..... | 149 |
| 5.7.4. Montáž serv pro ovládání křidélek a vztlakové mechanizace | 150 |
| 5.8. Povrchová úprava | 152 |
| 5.9. Fotografie hotového modelu..... | 153 |

| | |
|--|-----|
| 5.10. Zalétávání | 155 |
| 5.10.1. První let modelu | 155 |
| 5.10.2. Fotografie z prvního letu | 158 |
| 5.10.3. Další program zalétávání..... | 160 |
| 5.11. Závěry ze zalétávání | 161 |
| 5.12. Ukázky fotografií pořízených tímto modelem..... | 162 |
| 6. Vývoj a konstrukce modelu letadla pro AP „Quadroptéra“: | 163 |
| 6.1. Motivace pro pořízení modelu | 163 |
| 6.2. Stanovení základních parametrů a volba modelu..... | 164 |
| 6.3. Stavba modelu | 167 |
| 6.3.1. Palubní elektroinstalace | 169 |
| 6.3.1.1. Řídící jednotka | 169 |
| 6.3.1.2. Pohonné jednotky | 170 |
| 6.3.1.3. Regulátory otáček motorů | 171 |
| 6.3.1.4. Přijímač rádiového signálu | 173 |
| 6.3.1.5. Pohonné akumulátory | 174 |
| 6.3.2. Sestavení rámu | 175 |
| 6.3.3. Kalibrace | 176 |
| 6.3.4. Zalétávání | 177 |
| 6.4. Úpravy konstrukce | 178 |
| 6.4.1. Výroba podvozku..... | 178 |

| | |
|--|-----|
| 6.4.1.1. Podvozek z bukových kulatin | 179 |
| 6.4.1.2. Podvozek z bambusových kulatin | 180 |
| 6.4.1.3. Podvozek ze sendviče uhlík/balza..... | 181 |
| 6.4.2. Výroba uložení akumulátorů | 187 |
| 6.5. Uchycení kamery k modelu | 188 |
| 6.5.1. Uchycení přímo k rámu | 188 |
| 6.5.2. Montáž kamery pomocí silentbloků..... | 188 |
| 6.5.2.1. Silentbloky z EPP, molitanu a z vulkanizované pryže | 188 |
| 6.5.2.2. Silentbloky se silikonovými hadicemi | 189 |
| 6.6. Ukázky fotografií pořízených tímto modelem..... | 190 |
| 7. Konstrukce a výroba gimbalu pro stabilizaci obrazu:..... | 191 |
| 7.1. Definice gimbalu | 191 |
| 7.2. Profesionálně vyráběné gimbaly | 192 |
| 7.3. Proč se autor rozhodnul pro konstrukci vlastního gimbalu..... | 193 |
| 7.4. Vývoj gimbalu | 194 |
| 7.4.1. Stavba Prototypu..... | 194 |
| 7.4.2. Nastavení gimbalu v softwaru Libre Pilot | 199 |
| 7.4.3. Gimbal z uhlíkového kompozitu..... | 200 |
| 7.5. Porovnání záběrů z modelu před/po montáži gimbalu..... | 201 |

| | |
|--|-----|
| 8. Závěr: | 201 |
| 8.1. Porovnání modelů "Quadrokoptéra" a "Letoun" | 202 |
| 8.1.1. Výhody AP speciálu "Quadrokoptéra" | 203 |
| 8.1.2. Výhody AP speciálu "Letoun" | 203 |
| Seznam citovaných zdrojů dle pořadí výskytu | 204 |
| Literatura použitá při studiu problematiky | 212 |

Seznam použitých zkratk

| | |
|--------|--|
| ACAS | - Airborn Collision Avoidance System (palubní systém pro zabránění srážce) |
| AČR | - Armáda České Republiky |
| AFIS | - Aerodrome Flight Information Service (Letištní letová informační služba) |
| AP | - Aerial Photography (letecké snímkování) |
| ATZ | - Aerodrome Traffic Zone (vzdušný prostor v okolí neřízeného letiště) |
| BPL | - Bezpilotní letoun |
| CC3D | - Copter Control 3D (řídící jednotka) |
| CCD TV | - Charge Coupled Device Television (zabezpečovací kamera) |
| CPL(A) | - Comercial Pilot License (pilotní licence Obchodního pilota) |
| CTR | - Control Zone (řízený okresek) |
| EPP | - Expandovaný Polypropylen |
| FBW | - Fly By Wire (Systém přenosu řídicího signálu elektronickou formou) |
| FPV | - First Person View |
| Gimbal | - Zařízení pro stabilizaci kamery (kardanův závěs) |
| GNSS | - Global Navigation Satellite System (globální navigační satelitní systém) |
| IAF | - Israeli Air Force (Izraelské vojenské letectvo) |
| ICAO | - International Civil Aviation Organization (Mezinárodní organizace pro c. l.) |
| ILG | - Ionic Liquid Gel (Iontový gel s vysokou lepivostí) |
| IR | - Infra Red (Infra červené spektrum) |
| LiPol | - Lithium Polymerové akumulátory |

| | |
|---------|---|
| LP | - Libre Pilot (software řídicí jednotky CC3D) |
| MCTR | - Military CTR (Vojenský řízený okrsek) |
| NiCd | - Nikl-kadmiové akumulátory |
| NiMh | - Nikl-metalhydridové akumulátory |
| NMAM | - National Model Aviation Museum (Národní muzeum leteckých modelů) |
| P (LKP) | - Prohibited airspace (zakázaný vzdušný prostor) |
| PFV | - Personal Flying Vehicle (létající stroj pro osobní dopravu) |
| PL | - Payload (zatížení nesené za účelem splnění úkolu prostředku) |
| PVO | - Protivzdušná obrana |
| RAE | - The Royal Aircraft Establishment (Královský letecký výzkumný ústav) |
| RAF | - The Royal Air Force (Britské královské letectvo) |
| RC | - Radio controlled (rádiově řízený) |
| RN | - The Royal Navy (Britské královské námořnictvo) |
| SAR | - Search and Rescue |
| SAR | - Synthetic Aperture Radar |
| SOP | - Svislá ocasní plocha |
| TMA | - Terminal Manoeuvring Area (koncová řízená oblast) |
| TMG | - Turistic Motor Glider (turistický motorový kluzák) |
| TOM | - Take-off Mass (vzletová hmotnost) |
| TSA | - Temporary Segregated Area (dočasně vyhrazený prostor) |
| UAS | - Unmanned Aerial System (bezpilotní vzdušný systém) |

| | |
|--------|---|
| UAV | - Unmanned Aerial Vehicle (bezpilotní vzdušný prostředek) |
| UCAV | - Unmanned Combat Aerial Vehicle (bezpilotní bojový vzdušný prostředek) |
| ÚCL | - Úřad pro Civilní Letectví |
| UL | - Useful Load (užitečné zatížení) |
| ULL(A) | - Pilotní licence pro sportovní létající zařízení |
| USAF | - United States Air Force (vojenské letectvo USA) |
| USN | - United States Navy (letectvo Amerického námořnictva) |
| VOP | - Vodorovná ocasní plocha |
| WL | - Wing Load (plošné zatížení) |

1. Úvod:

Hlavní motivací pro zpracování této práce byla snaha v praxi ověřit, zda i v amatérských podmínkách je možné zkonstruovat bezpilotní prostředky pro letecké snímkování, které se kvalitou pořizovaných záběrů vyrovnají profesionálním strojům stejné kategorie.

Hlavním cílem této práce je zkonstruovat a postavit dva bezpilotní prostředky (drony), které budou v praxi využitelné pro pořizování amatérských leteckých fotografií a videí.

V první části diplomové práce se autor věnuje historickému vývoji a rozdělení bezpilotních prostředků. Dále dokumentuje několik zajímavých rolí, které drony v současnosti plní. V závěru první části by autor rád nastínil směry, kterými by se vývoj těchto prostředků mohl v budoucnu ubírat.

Druhá část práce se zaměřuje na konstrukci, stavbu a letové testování dvou bezpilotních prostředků, které mají diametrálně odlišnou koncepci.

Prvním z nich je model letounu určený pro letecké snímkování rozsáhlejších lokalit, který je díky svým rozměrům schopen tyto úkoly plnit ve vyšších výškách (max 300m, dle legislativy ČR). Tento model byl od základu navržen, zkonstruován, postaven, naprogramován a zalétán autorem práce.

Jako základ k vývoji druhého bezpilotního prostředku posloužila stavebnice quadrokoptéry, výrobek firmy DJI. Autor na tomto základě postavil model, určený pro letecké snímkování z malých výšek. Konstrukci quadrokoptéry při tom výrazně upravil, aby co nejlépe odpovídala danému úkolu. Tento model je mimo jiné vybaven jednoduchým stabilizátorem obrazu (gimbalem), navrženým a postaveným autorem.

Drony se staly v posledních letech velmi populární technologií. Tyto bezpilotní stroje, fungující na bázi RC modelů, mohou plnit nejrůznější úkoly. Jsou schopny nést kamery, termokamery a jiná monitorovací zařízení. Poskytují podporu během SAR, jsou využitelné pro vědecké účely, provádění leteckých prací, spedici, atd.

Výraz DRON Český letecký zákon nezná, nicméně tento termín je rozšířený nejen v obecné řeči, ale také v odborné literatuře. Odpovídá Českému ekvivalentu Bezpilotní letadlo. Vychází z anglického originálu *DRONE*, což je výraz používaný pro trubce (samečka včely). Tento výraz se v obecné řeči používá pro označení lenocha a flákače.

„Old English dran, dræn "male honeybee," - probably imitative; given a figurative sense of "idler, lazy worker" (male bees make no honey)“ [1]

Podle etymologického slovníku se tento výraz objevil poprvé ve vojenském prostředí. Patrně se začal používat proto, že stejně jako trubec v úlu, ani pilot bezpilotního letounu se při pilotáži nenadře tolik, jako jeho kolega v kokpitu pilotovaného stroje. Navíc pilot dronu nemusí v boji “nastavovat krk“.

Jedna z prvních zmínek o použití tohoto výrazu v tisku padla ve vydání amerického časopisu *Popular Science* v listopadu 1946.

„Drones, as the radio-controlled craft are called, have many potentialities, civilian and military. Some day huge mother ships may guide fleets of long-distance, cargo-carrying airplanes across continents and oceans. Long-range drones armed with atomic bombs could be flown by accompanying mother ships to their targets and in for perfect hits.“ [2]

V současnosti má slovo „*DRONE*“ ve vztahu k technice několik významů.

- Obecně stroj řízený umělou inteligencí (lod', motocykl, ponorka, dopravní vozík...)
- Bezpilotní létající stroj (UAV – Unmanned Aerial Vehicle)
- Bezpilotní bojový létající stroj (UCAV – Unmanned Combat Aerial Vehicle)

2. Historický vývoj:

2.1. Pionýři

Dálkově, případně samočinně pilotované stroje bez lidské posádky jsou vynálezem téměř stejně starým jako letectví samo. Hlavní motivací pro jejich vývoj bylo vojenské využití. Historie nejstarších létajících prostředků těžších vzduchu, které byly prakticky použitelné a nenesly pilota na palubě, spadá do první světové války a období těsně po ní.

Jedním z prvních a nejznámějších bezpilotních motorových létajících strojů ranného období, byl britský Kettering Bug. Vývoj tohoto letounu spadá do druhé poloviny první světové války. Malý dvouplošník s velkým vzepětím křidel byl vlastně létajícím torpédem nesoucím cca 50kg trhaviny.



Obr. 1 Motorová zkouška prostředku Kettering Bug (vintagewings.ca [3])

Technické řešení letounu Kettering Bug bylo velmi primitivní. Tento stroj nebyl vybaven žádným dálkovým ovládním. To v praxi znamenalo, že kromě nastavení kormidel na zemi neexistoval žádný způsob, jak stroj řídit. Po vypuštění z kolejnic mohl letět s ohledem na vítr přibližně v nastaveném směru až do vzdálenosti 120km. [3]

Nicméně Kettering Bug bylo zřejmě možné efektivně nasadit pouze za příznivého počasí a mírného větru. „*Jak se v praxi ukázalo, byl tento prostředek příliš nesofistikovaný a přišel až moc pozdě na to, aby mohl mít nějaký praktický dopad na vývoj událostí na frontě.*“ [3] Na druhou stranu bezpilotní letouny přinášely nové možnosti a jejich vývoj v sobě skrýval značný potenciál.

Během první světové války se letectví vyvíjelo mílovými kroky. Nové, mnohdy velmi neortodoxní letecké konstrukce se objevovaly neustále. Zatímco některé byly slepými uličkami a upadaly v zapomnění, jiné se dále rozvíjely. Bepilotní prostředky se v průběhu let rozvíjely spolu s vývojem letadel s lidskou posádkou. Postupně se stávaly nedílnou součástí vojenských letectev mnoha zemí.



Obr. 2 Kettering Bug na startovací rampě (understandingempire.wordpress.com [4])

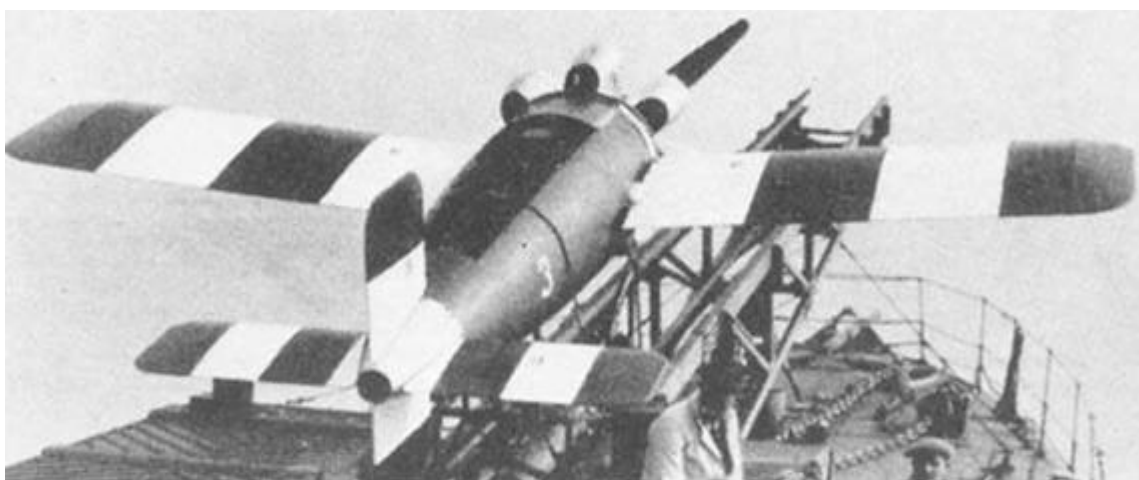
2.2. Létající bomby

Meziválečný vývoj bezpilotních létajících prostředků se následně soustředil především v USA a ve Velké Británii. Tehdejší úroveň techniky ještě neumožňovala jejich širší využití, například pro průzkumné účely. Vesměs se jednalo o létající terče pro nácvik protiletadlové palby, případně o létající pumy, sofistikovanější následníky strojů Kettering Bug.

Britské Královské Výzkumné Středisko (RAE - The Royal Aircraft Establishment) a Britské Královské Námořnictvo (Royal Navy) spojily v roce 1925 své síly k výrobě a testování první střely s plochou dráhou letu na světě.

Stala se jí RAE Larynx. Akronym slov Long Range Gun with Lynx Engine. Larynx byl ve srovnání s tehdy běžnými dvouplošnými letouny řešen velmi moderně.

„V roce 1927 tento bezpilotní stroj v rámci vojenských zkoušek několikrát úspěšně odstartoval z katapulů, umístěných na předních bitevníků Royal Navy, označených Stronghold a Thanet.“ [3]



Obr. 3 RAE Larynx na odpalovacím katapultu (vintagewings.ca [3])

K pohonu stroje Larynx sloužil motor Armstrong Siddeley Lynx o výkonu 200HP. Se svou maximální rychlostí 200mph (308km/h) byl rychlejší než většina tehdejších stíhacích letounů. Larynx byl primárně projektován jako protilodní zbraň s dlouhým doletem, byl tedy vzdáleným předchůdcem současných střel s plochou dráhou letu Tomahawk, které používá Americké námořnictvo.



Obr. 4 Zástavba motoru Lynx ve stroji RAE Larynx (vintagewings.ca [3])

Během testovacího programu bylo provedeno pouze sedm startů těchto letounů, vybavených buď jako bezpilotních (se systémem řízení na základě gyroskopů) nebo s dálkovým ovládním pomocí radiostanice (RC - Radio Control). Tyto stroje se nikdy nedostaly do sériové výroby a program Larynx byl v roce 1928 ukončen. [3]

Poznatky získané z tohoto programu však byly v budoucnu využity při konstrukci dalších bezpilotních letounů. Prakticky použitelným se ukázal především systém dálkového řízení, který byl v pozměněné verzi použit při vývoji bezpilotního prostředku Queen Bee.

2.3. První sériově vyráběný bezpilotní letoun

Ve 30. a 40. letech 20. století létalo v Britském královském letectvu (RAF) množství dálkově řízených dvouplošníků Tiger Moth, přezdívaných Queen Bee. Tyto letouny sloužily jako vzdušné terče pro protiletectkovou obranu. Využívaly se k vlečení „rukávů“, pro nácvik střelby ze stíhacích letounů a pro ověřování funkčnosti radiolokační techniky.



Obr. 5 Druhý prototyp Queen Bee pro letové zkoušky (vintagewings.ca [3])

Hlavním důvodem, proč si konstruktéři za základ pro stavbu Queen Bee vybrali právě letoun Tiger Moth, byla jeho vysoká příčná a stranová stabilita. Tento letoun byl konstruován jako školní a vynikal svým stabilním letovým projevem a nezákladnými letovými vlastnostmi.

Bezpilotní letouny Queen Bee mohly být dálkově ovládány pilotem sedícím na zemi, na lodi (v případě plovákové varianty), a dokonce i v jiném letadle. Ovládací panel obsahoval jednoduché otočné potenciometrické ovladače, kterými mohl pilot/operátor zadávat „příkazy“ pro řízení stroje. Čísla na otočných ovladačích znázorňovala úroveň vychýlení řídicích ploch ve smyslu „zatáčka doleva“, „zatáčka doprava“, „přitáhnout/potlačit“, zatímco dodatečné ovladače sloužily k obsluze zapalování a plynové přípusti. [3]

Tento způsob ovládání je poněkud těžkopádným předchůdcem současného uspořádání většiny vysílačů pro ovládání dálkově řízených modelů. Řízení pomocí otočných ovladačů bylo ve srovnání s dnešním uspořádáním mnohem náročnější a pilot/operátor takového prostředku při něm musel prokazovat velkou představivost.

Zatímco samotný ovládací pult dálkového řízení byl relativně malý (jak ukazuje následující obrázek z archivu RAF), vysílač rádiového signálu měl rozměry dodávky.



Obr. 6 Ovládací pult prostředku Queen Bee (vintagewings.ca [3])

Koncepce dálkového ovládání letounu Queen Bee, byla pouze tříkanálová. Umožňovala ovládání výškovky (klopení), směrovky (zatáčení) a výkonu/chodu motoru. Křídélka (klonění) byla stavitelná pouze na zemi. Díky tomu nemohl operátor provádět se strojem koordinované zatáčky a maximální dosažitelný náklon byl omezen na 20°. [3]

Pokud došlo ke ztrátě signálu, kontrolní plochy byly nastaveny do neutrální pozice, plynová přípušť byla upravena na cestovní režim a Queen Bee letěla tak dlouho, dokud jí nedošlo palivo.

Pro případ ztráty signálu byla také vybavena jednoduchým systémem pro automatické přistání. Tento systém sestával z dlouhé antény, která visela pod letounem a na základě změny impedance po dotyku s terénem dokázala “vycítit”, že se letoun nachází nízko nad zemí, nebo vodou. [4]

Jakmile byla Queen Bee dostatečně nízko, vlečený drát se dotknul země/vody a sepnul automatický palubní systém pro přistání. Tento automatický systém následně vypnul magneta zapalování a postupně manipuloval výškovým kormidlem pro provedení přechodového oblouku a přistání. [3]

Podle současných standardů je tedy možné tento letoun považovat za prostředek s jednoduchou funkcí "Fail Safe".

Díky novým systémům, které Queen Bee přinášela, znamenalo její zavedení velký krok kupředu. Její použití coby cvičného cíle pro protiletdeckou obranu navíc přineslo jednu úsměvnou událost.

Během přehlídky britského Královského námořnictva (RN) v roce 1935, konané za přítomnosti krále Jiřího VI. na palubě křižníku Dountless, mělo být provedeno sestřelení jedné Queen Bee protiletadlovými palubními zbraněmi osmi bitevních lodí. Queen Bee létala kolem uskupení bitevníků celých 15 minut. Za tu dobu na ni bylo protiletdeckými zbraněmi bitevníků vypáleno několik tun munice a letoun nejevil známky žádného výraznějšího poškození. Jeden vysoce postavený důstojník námořnictva to už nemohl déle vydržet a pošeptal svému pobočnickovi: „*For ***** sake, tell the operator to dial SPIN!*““. Načež se Queen Bee zřítila do moře ve vývrtce a čest královského námořnictva tak byla zachráněna. [3]

Přínos těchto dálkově řízených Tiger Mothů pro vývoj protiletdecké obrany Velké Británie byl během předválečných let značný. Zvláštní složka RAF, vyčleněná pro provoz bezpilotních letounů, s nimi nalétala stovky hodin a provedla nespočet pokusů pro ověření její efektivity. Pokusy se zachycením a sestřelením letících cílů přispěly k vývoji velmi komplexního a funkčního systému protivzdušné obrany, který mohl být plně doceněn až v horkém létě roku 1940 během Bitvy o Británii.

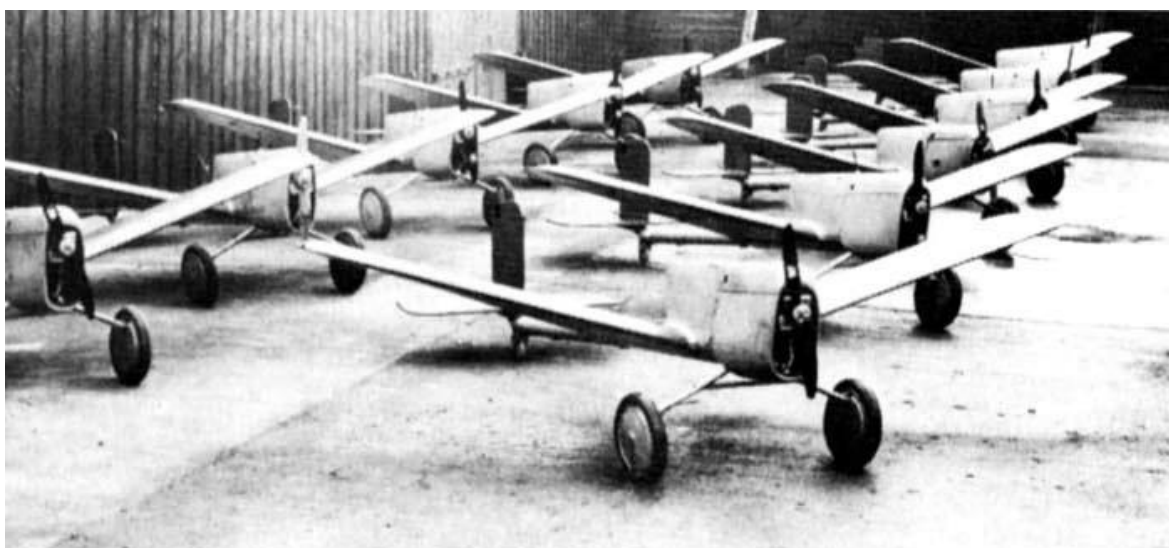
2.4. První sériové bezpilotní stroje pro letecké snímkování

Zájem o dálkově řízená bezpilotní letadla se v meziválečných letech soustředil nejen ve Velké Británii. Jedněmi z ranných uživatelů bezpilotních strojů byly USA a především nacistické Německo.

Němečtí konstruktéři dovedly bezpilotní stroje k vražedné dokonalosti během druhé světové války, především v podobě masově nasazených střel s plochou dráhou letu V1, které byly poháněny náporovými motory a později prvních balistických střel V2 s motory raketovými.

Vzhledem k zaměření této práce se však budeme věnovat především vývoji typů, které byly používány pro letecké snímkování a letecký průzkum. Tyto stroje většinou využívaly konvenční pohonnou jednotku, tvořenou pístovým spalovacím motorem a pevnou vrtulí.

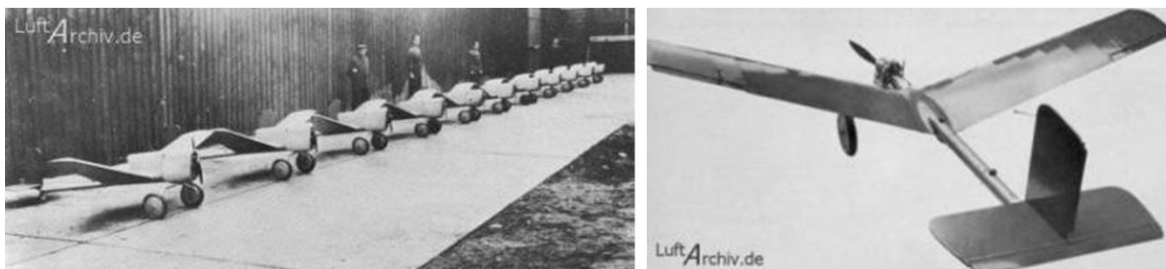
Německo ve třicátých letech 20. století vyvíjelo a následně také v omezených sériích vyrábělo množství malých bezpilotních strojů, které sloužily především jako cvičné cíle. Zabývala se jimi řada zavedených leteckých továren. Společností, která se před druhou světovou válkou nejvíce proslavila svými bezpilotními konstrukcemi, byla firma Argus. Postupný vývoj bezpilotních strojů v konstrukčních odděleních společnosti Argus dal vzniknout dálkově řízenému výzvědnému letounku As 292. [3]



Obr. 7 Skupina letounků Argus As 292 (luftarchiv.de [5])

První let, tehdy ještě volného letounku Argus AS 292, byl uskutečněn 9 června 1937. Dne 14. května 1939, letěl stroj poprvé řízený rádiem. [3]

Po úspěšném předvedení letounku před zástupci Luftwaffe a Říšského inspektorátu leectví, jich bylo objednáno celkem 100 kusů. Následně byla objednávka upravena na 120 sériových kusů a dva předsériové, pro letové zkoušky. Celkem tedy bylo vyrobeno 132 těchto letounků. [5]



Obr. 8 První tucet sériových strojů Argus AS 292 (luftarchiv.de [5])

Na následující fotografii vidíme skupinu vysokých důstojníků říšského leteckého inspektorátu včetně několikanásobného stíhacího esa z první světové války Ernsta Udet. Přihlížejí na ní se zájmem a možná i s trochou despektu předletové přípravě bezpilotního letounku Argus As 292. [3]



Obr. 9 Letounek Argus As 292 a Ernst Udet (vintagewings.ca [3])

Argus As 292 sloužil pro blízký letecký průzkum. Letounek bylo díky jeho nízké hmotnosti (cca 3kg) možné vypouštět z ruky, případně mohl startovat ze svého pevného podvozku. Kromě klasického přistávacího zařízení byl stroj vybaven také přistávacím padáčkem, který usnadňoval jeho návrat v obtížném terénu.

Pro letecký průzkum byl vybaven fotoaparátlem typu Zeiss. Po přistání bylo možné pořízené snímky jednoduše vyvolat v pojízdné temné komoře, během několika minut. Letounek byl tak schopen poskytovat informace o pohybu nepřítele i v náročném terénu a téměř v reálném čase.

Maximální rychlost letu As 292 byla podle dostupných zdrojů 100km/h a vytrvalost letu se pohybovala kolem 30min. [3]



Obr. 10 As 292 s otevřeným přistávacím padáčkem a ukázka vnitřní konstrukce letounku (luftarchiv.de [5])

Američané v meziválečném období vyvinuli a používali dálkově řízené letouny označované Radioplane OQ 2. Tato konstrukce byla v podstatě velkým modelem letounu s dálkovým ovládním pomocí radiostanice. Jednalo se o dosud nejmasověji vyráběný bezpilotní prostředek, kterého se (dle NMAM v Indianě) vyrobilo více jak 3500 kusů.

Konstrukce letounku Radioplane OQ-2 byla firmou The Radioplane Co. patentována v únoru 1941 a s jeho sériovou výrobou začala v červnu tohoto roku. Tento bezpilotní prostředek sloužil podobně jako britské Queen Bee především pro testování protiletcecké obrany a cvičné střelby ze stíhacích letounů. Letoun mohl být také využíván pro letecké snímkování. [6]



Obr. 11 Radioplane OQ-2 (National Model Aviation Museum [6])

Typ Radioplane OQ 2 byl určen ke startu katapultem a k přistání sloužil přistávací padák o průměru 24 stop (7.2m). Konvenční přistávací podvozek byl určen především pro tlumení nárazu při přistání.



Obr. 12 Vzlet z katapultu, ukázka protiběžných vrtulí (NMAM [6])

Specifikace Letounu OQ – 2

Rozpětí křídel 147 palců (3,74m)

Délka 104 palců (2,64m)

Prázdná hmotnost 104 lbs. (45kg)

Maximální rychlost 85 mph (130km/h)

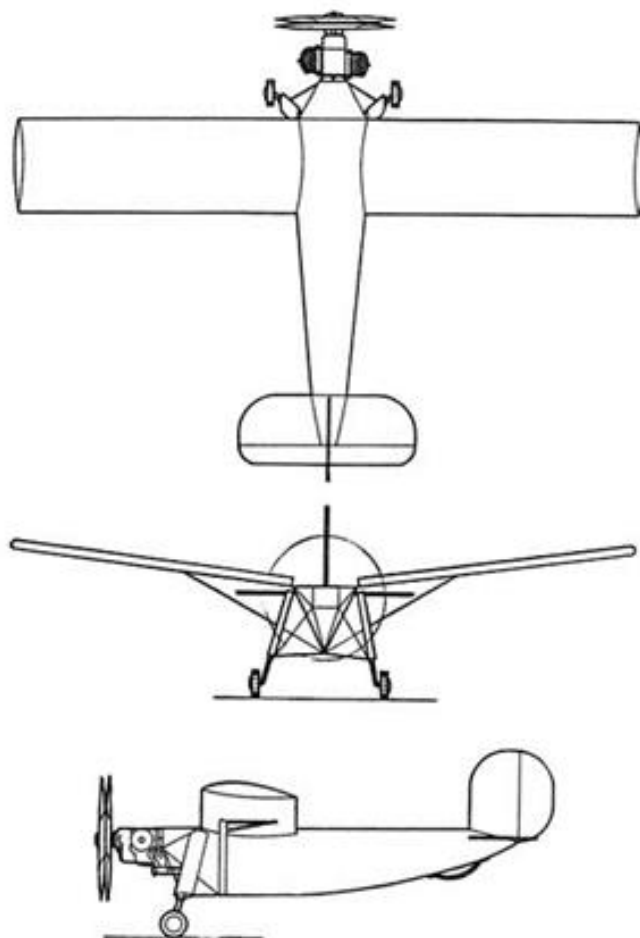
Vytrvalost 1 hr. 10 min.

Zahájení výroby Červen 1941

Celkem vyrobeno 3,865 kusů

Motor Righter Type 6hp

[6]



1942

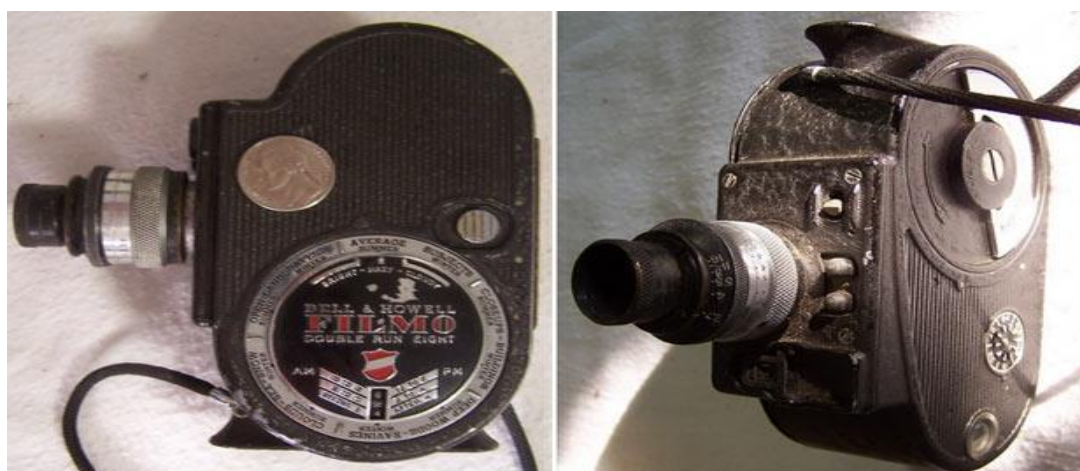
Na stroji OQ-2 je z hlediska historického vývoje nejzajímavější především fakt, že se jednalo o první bezpilotní letoun, který byl vyráběn opravdu ve velkých sériích. Jeho výrobce, společnost The Radioplane Co., byla založena v roce 1941.

Do konce války stihla pro USAF a USN vyrobit celkem 14 891 dronů! Z toho 3 865 kusů bylo právě letounků OQ-2. Následující fotografie byla pořízena v roce 1942 ve výrobním závodě firmy Radioplane ve Van Nuys. Jsou na ni dobře viditelné desítky rozpracovaných strojů. [6]



Obr. 13 Masová výroba Radioplane OQ-2 (NMAM [6])

Pro účely leteckého snímání byl letoun schopný nést různé druhy fotoaparátů. Díky svým rozměrům mohl být také vybaven kamerou "FILMO Sportster", vyráběnou firmou Bell & Howell. Tato kamera byla schopná pořizovat až 30minutové záběry, na 8mm film.



Obr. 14 Kamera "FILMO Sportster", Bell & Howell co. (pimall.com [7])

2.5. UAV pro letecké snímkování po druhé světové válce

Poválečný vývoj bezpilotních prostředků postupoval stejně rychle, jako vývoj pilotovaných strojů a přinesl především další rozšiřování rozsahu úkolů, které drony dokázaly plnit. Zvyšoval se také počet zemí, které byly schopny bezpilotní letouny zkonstruovat.

Zlomovým konfliktem v dějinách bezpilotních letadel pro letecké snímkování, byla válka ve Vietnamu. Americké letectvo v ní masově využívalo původně terčový letoun Firebug, poháněný malým proudovým motorem. Tento typ byl modifikován do podoby průzkumných letounů, nasazovaných pod názvy Firebee (shazované z letadel) a Lightning Bug (se startem z odpalovací rampy).

Od roku 1964 byly tyto průzkumné stroje vysílány nad Vietnam a mimořádně se osvědčily. Další létaly nad komunistickou Čínou a Severní Koreou. Vzniklo přes dvacet různých variant, určených pro různé výšky a nesoucích rozmanité vybavení. Včetně fotoaparátů s noktovizní čočkou pro pořizování nočních záběrů, či vrhačů letáků. Celkem bylo zhotoveno přes 1000 letounů, které uskutečnily nejméně 3435 operačních letů. [3]



Obr. 15 Letoun DC-130 nese na podvěsích dva drony pro letecký průzkum Ryan Firebee (understandingempire.wordpress.com [4])

Už během konfliktu ve Vietnamu provádělo americké námořnictvo zkoušky verze BGM-34, která mohla nést řízené i neřízené zbraně, a to včetně střel AGM-65 Maverick. Tento koncept ozbrojeného UAV však narazil na názory vysokých důstojníků, kteří v bezpilotních letounech viděli nežádoucí konkurenci pro pilotované stroje. Projekt byl proto zastaven. Faktem zůstává, že použitelný bezpilotní bojový letoun existoval už třicet let, před dnes běžně používaným strojem Predator. [3]

V průběhu války ve Vietnamu se do konstrukce bezpilotních prostředků zapojil také SSSR. Hlavní slovo ve vývoji BPL měla konstrukční kancelář firmy Tupolev, jež počátkem 60. let úspěšně otestovala nadzvukový letoun Tu-123 Jastreb (na fotografii vlevo). Vývojem tohoto typu vznikla celá řada příbuzných letounů, například Tu-143 Rejs (na fotografii vpravo), který byl také ve výzbroji bývalého Československa.



Obr. 16 Tu-123 Jastreb a Tu-143 Rejs (ruslet.webnode.cz [8])

Specifikace Tu-143 Rejs

Bezpilotní vzdušný prostředek velkého doletu, který je uzpůsobený pro provádění detailního průzkumu. Tyto letouny sloužily v zemích východního bloku především k pořizování fotografií strategicky významných cílů, nacházejících se hluboko na území protivníka. Dále k provádění radiotechnického průzkumu a pořizování fotografií škod způsobených nepříteli. [8]

Sestava komplexu typu Tu 143 Rejs [8]

- dvanáct bezpilotních prostředků typu Tu 143
- šest kolových tahačů typu SARD-1 (STA-30) založených na bázi 8 x 8 nákladního automobilu typu MAZ-537 s návěsem typu SUDR-1 (ST-30) s nastavitelnou startovací rampou (pod úhlem 12°) v závěsu (vlastní ovládací pult, který se nachází přímo uvnitř kabiny tahače typu SARD-1)

Specifikace Tu-300 Koršun

„Současnou generaci bezpilotních letounů vzešlých z východního bloku, představuje Tu-300 Koršun, který je mimo jiné schopný nést i výzbroj vzduch-vzduch.“ [8]

Taktický útočný-průzkumný bezpilotní vzdušný prostředek typu Tu-300 je řešen jako jednomotorový středoplošník s “kachním” uspořádáním nosných ploch.

Let je prováděn po předem naprogramované trase, na základě údajů z inerciálního navigačního systému. Pohon zajišťuje proudový motor neznámého typu a dva odhazovatelné urychlovací raketové motory na tuhé palivo. Výzbroj tvoří standardní kontejner typu KMGU-1, nebo jiná protizemní výzbroj do celkové hmotnosti 1 000 kg. Nesená výzbroj je uložena v trupové šachtě, a nebo na jednom pylonu nacházejícím se pod trupem. Na podtrupový závěsník je možné kromě výbroje umístit také kontejner se zařízením pro fotografický, IR, televizní, laserový, radiolokační nebo radiotechnický průzkum. Není známo, že by byl tento prostředek někdy prakticky nasazen v boji. [8]



Obr. 17 Tu-300 Koršun (ruslet.webnode.cz [8])

Izrael se díky svojí geopolitické situaci stal po druhé světové válce skutečnou supervelmocí v oblasti bezpilotních letadel. IAF začalo s jejich vývojem těsně po svém vzniku a izraelské bezpilotní prostředky se dočkaly mohutného nasazení.

Prvním konfliktem, kde se Izraelské UAV dočkaly opravdu masového nasazení, byly operace v Libanonu v roce 1982. Průzkumné stroje Mazlat tehdy získaly přesné údaje o pozicích syrské protiletadlové obrany. IAF potom vyslalo bezpilotní návnady typu Sampson, na které Syřané vyplývali většinu své protiletadlové munice. Letecké síly židovského státu díky tomu neutrpěly během následujících bojů žádné lidské ztráty. [9]



Obr. 18 průzkumný UAV Mazlat (vlevo) a návnada Sampson ([13], [21])

Izrael v průběhu let získal vůdčí postavení ve vývoji a stavbě bezpilotních létajících prostředků. Díky neustálým drobným potyčkám a několika otevřeným válečným konfliktům se svými arabskými sousedy má izraelská armáda bohaté zkušenosti s využitím UAV v praxi. Izrael je také výrobcem největšího vojenského UAV na světě. Je jím bezpilotní letoun Heron (viz. obr 19).



Obr. 19 Heron - největší UAV na světě, které je využíváné pravidelnou armádou (FRONTLINE [13])

Americké ozbrojené síly se v 70. letech, ve snaze získat taktické bezpilotní prostředky, rozhodly pro otevřenou spolupráci s Izraelským leteckým průmyslem. Prvním z letounů vzešlých z této spolupráce se stal RQ-2 Pioneer. Jednalo se o vylepšenou verzi osvědčeného izraelského typu Scout, kterou pro USN modifikovala firma AAI Corporation. Dalším úspěšným americko-izraelským typem je RQ-5 Hunter, jež vznikl spoluprací mezi firmami IAI a Northrop. [9]



Obr. 20 RQ-2 Pioneer (vlevo) a RQ-5 Hunter (vpravo) (FAS [10])

Američané s velkým úspěchem nasadili tyto bezpilotní prostředky v roce 1991 proti Iráku. Iráckou protivzdušnou obranu zmátly návnady typu Chukar izraelské výroby a v dalších fázích operace byly použity bezpilotní prostředky Pioneer a Hunter k průzkumu a pozorování pohybu nepřátelských sil a k řízení dělostřelecké palby.

Legendární se pak stala příhoda o asi čtyřiceti iráckých vojácích, kteří se máváním bílými šátky vzdali bezpilotnímu stroji Pioneer, který nad nimi létal a naváděl palbu z bitevních lodí. Tato situace jasně ukazuje na potenciál, který se v bezpilotních letadlech skrývá. [11]

USA však ve svém vývoji bezpilotních prostředků nespolehaly jen na spolupráci s Izraelem. Konstrukční kanceláře zavedených leteckých výrobců začaly vyvíjet vlastní UAV a vznikaly i nové společnosti, které se specializovaly výhradně na tento typ letecké techniky.

2.6. Současnost vojenských UAV

Společnost General Atomics, začala s vývojem UAV už na konci 80. let a v současnosti vyrábí asi neznámější bitevní bezpilotní letoun na světě, RQ-1 Predator.

Tento stroj prodělal svůj křest ohněm během operace Allied Force v Jugoslávii, širšího zájmu se dočkal až po začátku globální války proti terorismu. Predator se stal prvním bojově nasazeným, bitevním, UAV.



Obr. 21 Cvičné odpálení střely Hellfire, letounem RQ-1 Predator (defencesystems.com [12])

„RQ 1 Predator má rozpětí křídel 14,6 m, taktický dolet 930 km, vytrvalost letu až 24 hodin a jeho praktický dostup se pohybuje kolem 8000m AGL. Má klasické konstrukční uspořádání středoplošníku se zatažitelným tricyklovým podvozkem, motýlkové ocasní plochy a je vybaven motorem o výkonu 80-85 HP.“ [9]

Základní palubní vybavení zahrnuje inerciální navigaci s korekcí údajů systému NAVSTAR/GPS, malým řídicím počítačem, televizní kamerou s proměnnou ohniskovou vzdáleností pro denní pozorování a infračervenou kamerou pro noční průzkum, laserovým označovačem cílů a radiolokátorem s rozlišovací schopností 30 cm. Data jsou přenášena téměř v reálném čase. Let je řízen po naprogramované trati, nebo příkazy operátora. [13]

Jedním z největších amerických výrobců bezpilotních letadel je firma Northrop. Tomuto odvětví se věnuje už od druhé světové války. Tato firma ve spolupráci se společností Teledyne-Ryan Aeronautical vyvinula letoun RQ-4 Global Hawk. Tento stroj vládne už řadu let kategorii výškových bezpilotních letounů s velkou vytrvalostí letu.

Letoun Global Hawk operuje běžně ve výškách vyšších, než 19km a dokáže v této výšce setrvat více jak 32 hodin. Letoun je poháněn proudovým motorem Rolls Royce AE 3007 uloženým na horní části trupu před ocasními plochami. Global Hawk byl vyvinut hlavně pro to, aby nahradil průzkumné letouny U2. Díky svému dostupu je tento letoun obtížně napadnutelný konvenčními střelami země-vzduch. [9]

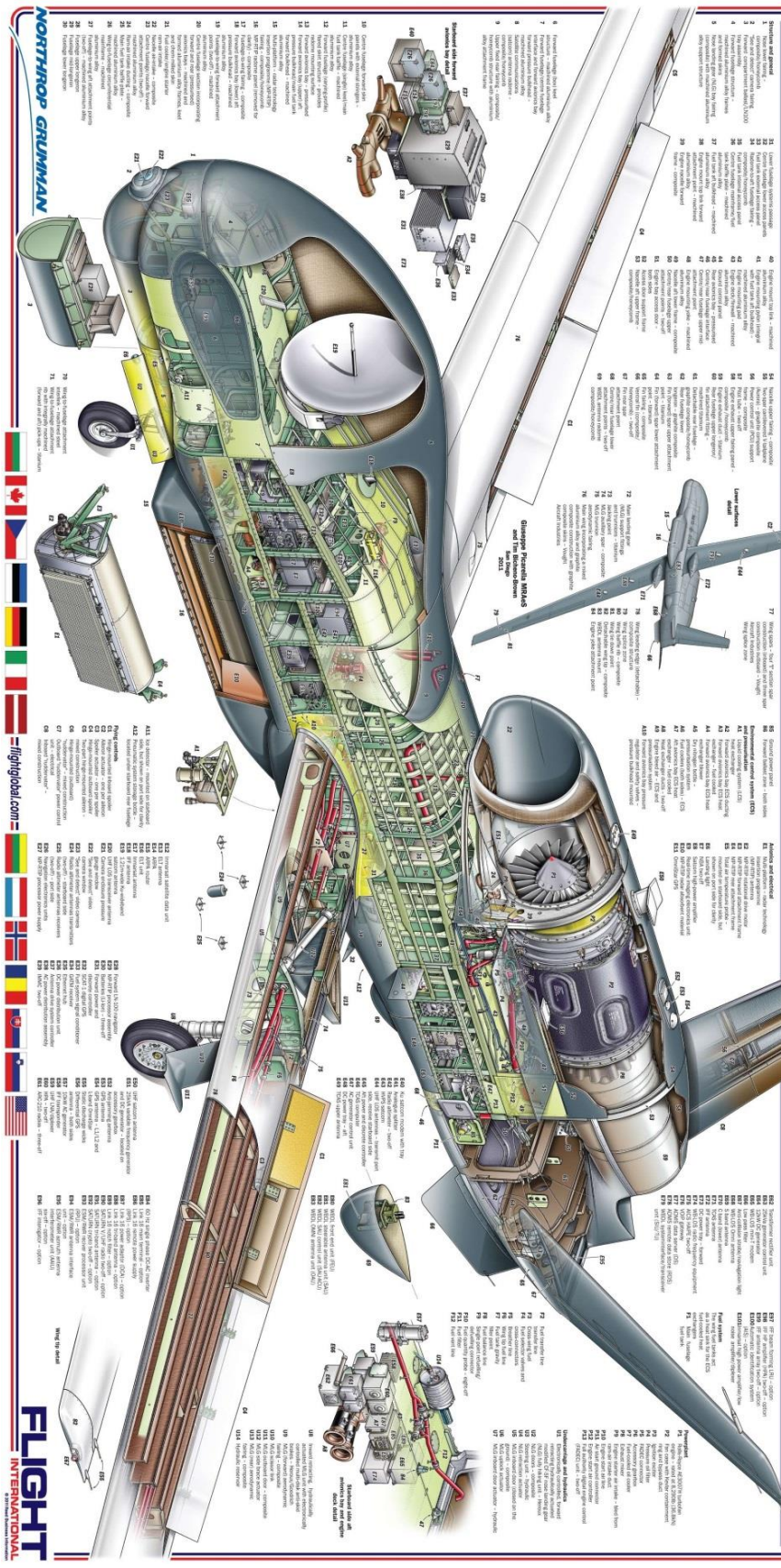
Technické údaje RQ – 4 Global Hawk [4]

- **Maximální vzletová hmotnost** **11 600 kg**
- **Užitečné zatížení** **1000 kg**
- **Dolet** **5500 km**
- **Dostup** **20 km**
- **Vytrvalost letu** **až 40 h**

Primárně je určen pro zabezpečení průzkumu prostoru bojové činnosti, hodnocení výsledků zasazených úderů, radioelektronickému rušení a radiolokačnímu vyhledávání a identifikaci cílů. Za hodinu letu by měl být schopný nasnímat a vyhodnotit prostor o ploše přibližně 9000 km². [4]

RQ-4 je také vybaven radarem s pasivním sledováním. Díky tomu dokáže odhalovat nepřátelské radiolokátory bez nebezpečí, že bude jeho vysílání zachyceno. K dalšímu průzkumnému vybavení patří televizní a infračervené kamery s vysokým rozlišením, díky kterým může Global Hawk operovat ve dne i v noci.

NORTHROP GRUMMAN RQ-4 NATO AGS UAV NATO Alliance Ground Surveillance Unmanned Air Vehicle



Obr. 22 RQ-4 Global Hawk v řezu (pinterest.com [14])

Kromě běžných armádních strojů se k využívání bezpilotních prostředků otevřeně hlásí i zpravodajské agentury. Americká CIA dle oficiálních zpráv, zveřejněných na jejích internetových stránkách, používá v dnešní době ozbrojené bezpilotní stroje. Jedná se o speciálně upravené letouny, jejichž vybavení je pochopitelně tajné. Nicméně na stránkách agentury se můžeme dočíst, že tyto stroje jsou v dnešní době používány primárně k odhalení a následné eliminaci teroristických vůdců.

Po bombových útocích provedených UAV zemřelo dle odhadů CIA 750 až 1 000 lidí od roku 2006. Během těchto útoků se podařilo zlikvidovat kolem třiceti vysoce postavených vůdců a důležitých osob, bezprostředně zapojených do činnosti teroristických organizací. Počet útoků pomocí bezpilotních letounů se v době teroristické krize výrazně zvýšil. Zatímco v roce 2015 se jednalo celkem o 34 útoků ročně, během prvních deseti měsíců roku 2016 jich bylo už 53. **[15]** Údaje z nasazení v roce 2017 zatím nejsou k dispozici.

Významné postavení mezi výrobci vojenských bezpilotních prostředků získala také kanadská firma Canadair (dnes součást Bombardier), která vyvinula několik progresivních typů bezpilotních strojů, včetně velmi zajímavě řešeného vrtulníku CL-227. Tento typ využívá koaxiálního uspořádání nosných rotorů, eliminující reakční moment z jejich rotace. Jeho využití se neomezuje pouze na vojenskou sféru. Například je také používán pro výzkum Atlantického proudění a jevu El Niño. **[16]**



Obr. 23 Bezpilotní vrtulník Canadair CL-227 (www.bombardier.com [16])

K trendu zavádění průzkumných prostředků bez osádky se v 80. letech připojily i vyspělé Evropské země. Státy východního bloku byly zásobovány převážně technikou sovětského původu. Mnohé východoevropské země však vyvíjely i vlastní typy, jak dokazuje níže zmiňovaný letoun Sojka Československé konstrukce.

2.7. Bezpilotní prostředky v Armádě České Republiky

2.7.1. Historie bezpilotních prostředků v AČR

První nasazení bezpilotních prostředků v AČR spadá do 70. let 20. století. Nejčastěji byly UAV ve výzbroji tehdejší armády zastoupeny výše zmiňovanými střelami Tu-143 Rejs a taktické letouny zastupovaly konstrukce firmy Jakovlev Šmel/Pčela.

V 80. letech byl zahájen vývoj bezpilotních letounů, určených pro letecký průzkum. Historický vývoj a politické tlaky po roce 1989 přinesly odklon od techniky východního bloku a přispěly tak k vývoji bezpilotního letounu SOJKA III, který odpovídal standardům NATO.

2.7.1.1. Bezpilotní letoun SOJKA III

Sojka III je bezpilotní průzkumný letoun (BPL), který byl vyráběn Vojenským technickým ústavem letectva a PVO. Předchůdci prostředku SOJKA III se začali vyvíjet v roce 1980 a sloužili především jako cvičné terče.

„Kolem roku 1993 bylo rozhodnuto o úpravě na průzkumnou verzi s leteckým fotoaparátem AFA-39 a videokamerami. Vznikla verze SOJKA III/TV, která byla základem pro všechny následné verze“ [17]



Obr. 24 Bezpilotní letoun Sojka III v Leteckém muzeu Kbely (forum.valka.cz [18])

Bezpilotní letoun Sojka III je určen pro vzdušný průzkum v reálném čase, sběr optických informací, monitorování dělostřelecké palby, rádiový průzkum a rušení radiolokátorů nepřítele. Dále může sloužit také jako vzdušný terč (nosič infračervených zářičů), při nácvičku střelby tepelně naváděnými raketami.

„Kvůli zajištění dostatečné optické kvality průzkumných dat, je průzkumný let Sojky realizovatelný do rychlosti větru 8 m/s“ [19]

Stroj je vyroben především ze skelného laminátu a uhlíkových kompozitů. Trup je řešen jako gondola s dvojitým nosníkem ocasních ploch a speciálně zkonstruovaným wankelovým motorem s vrtulí v tlačném uspořádání. Trupová gondola je vybavena ukotvením na startovací rampu a spodní část je vyztužena, kvůli přistávání na břicho.

SOJKA III dokáže unést užitečné zatížení až do hmotnosti 30 kilogramů. Jeho velikost má vliv především na vytrvalost letu. Ta se pohybuje od jedné do třech hodin. Standardně býval letoun vybaven systémem pro příjem a vysílání rádiového signálu, CCD TV kamerami a návratovým padákem. Další doplňkové vybavení bylo možno zastavět. [18]

Letouny sloužily od května 1999 u 116. letky bezpilotních průzkumných prostředků a od října 2000 až do svého vyřazení v roce 2010, u roty bezpilotních průzkumných prostředků Pozemních sil AČR. [19]

Technické údaje letounu SOJKA III [19]

- **Délka trupu:** 3,78 m
- **Rozpětí křídel:** 4,12 m
- **Maximální vzletová hmotnost:** 145 kg

- **Cestovní rychlost:** 130 – 180 km/h
- **Dolet:** 60 – 100 km
- **Dostup:** cca 4000 m

Vzlet letounu SOJKA III se prováděl ze startovací rampy za pomoci raketového motoru na tuhé palivo, který jej urychlil na potřebnou vzletovou rychlost.

BPL nabízel operátorovi celkem dva režimy letu, a to poloautomatický a zcela automatizovaný. Poloautomatický let dovoľoval měnit pomocí autopilota směr a výšku letu. Automatický let probíhal v přímých úsecích, mezi zadanými otočnými body a při udržování zadaných výšek letu.

„Operátor může do programu letu kdykoliv vstoupit a přepnout jej na poloautomatický let, a nebo letoun přivést zpět do místa startu, pouze stiskem tlačítka Návrat.“ [19]

Přistání bylo možné provést buď automaticky, pomocí padáku (maximálně do rychlosti 200 km/h a výšky minimálně 100m AGL), a nebo přistáním “na břicho“. Tento způsob přistání však byl možný pouze v poloautomatickém módu. [19]



Obr. 25 Vzlet letounu SOJKA III ze startovacího vozidla (lu.fme.vutbr.cz [19])

Bezpilotní systém (UAS) SOJKA III [19]

- 3-4 bezpilotní letouny
- Přepravní vozidlo s místem pro 4 BPL a servisním vybavením
- Vozidlo se startovací rampou
- Vozidlo vybavené řídicím a vyhodnocovacím střediskem
- Dohledávací vozidlo s přívěsem (používá se na přepravu Sojky v sestaveném, nebo částečně rozloženém stavu)



Pozemní řídicí stanoviště



Bezpilotní průzkumný letoun



Přepravní kontejner



Startovací zařízení

HLAVNÍ ČÁSTI KOMPLETU SOJKA III



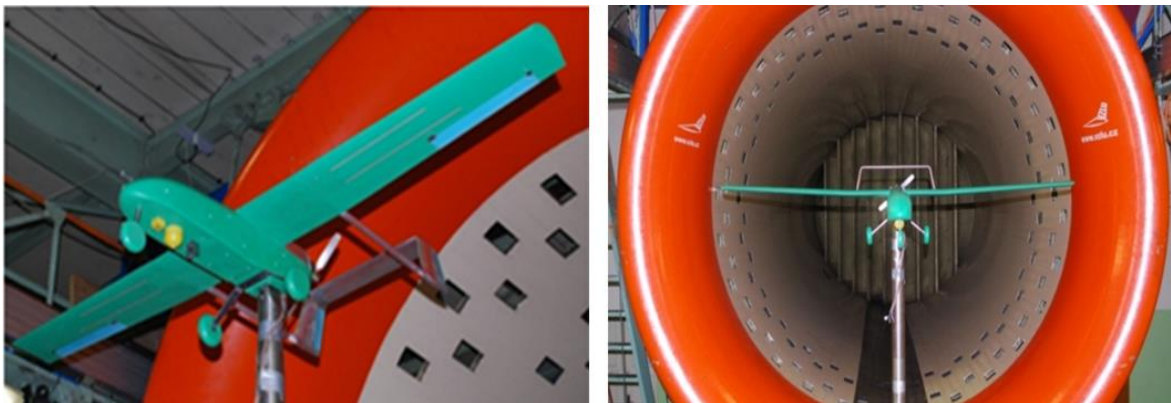
Dohledávací vozidlo

Obr. 26 Komplet UAS SOJKA III (lu.fme.vutbr.cz [19])

VZLÚ v současnosti spolupracuje v souvislosti s tímto typem UAV na projektu s názvem TDAAS. Jedná se o inovativní antikolizní systém pro využití ve všeobecném letectví a bezpilotních prostředcích. Cílem této spolupráce je vývoj systému pro zakomponování bezpilotních prostředků do civilního vzdušného prostoru. [20]

Jedná se o systém Sense&Avoid, což je obdoba ACAS (Aircraft Collision Avoidance System). Hlavním koordinátorem tohoto projektu je firma Honeywell, která systém vyvíjí.

„Role VZLÚ spočívá v přípravě matematického modelu letounu na základě statických a dynamických měření zmenšeného modelu (1:2.5) v aerodynamickém tunelu. Ten bude následně jednak zakomponován do autopilota bezpilotního prostředku, ale také využíván v četných simulacích interakcí mezi systémem Sense&Avoid a bezpilotním letounem, před ověřením letovými zkouškami.“ [20]



Obr. 27 Model Sojky v aerodynamickém tunelu VZLU (www.vzlu.cz [20])

2.7.2. Současnost bezpilotních prostředků v AČR

Současná Armáda České Republiky spoléhá ve výzbroji UAV především na malé průzkumné stroje. Jedná se o taktické letounky Raven.

„Už na začátku roku 2005 byl nejmenší bezpilotní průzkumný prostředek s názvem RQ-11 Raven velice oceňovaný veliteli v Iráku. Raven nahradil ve výzbroji FQM-151 Pointer, který sloužil již v první válce v zálivu v roce 1991 (první kusy byly dodávány od roku 1989). Mimochodem, v té době byl letoun Sojka ještě snem, který se v následujících letech teprve měl začít zhmotňovat.“ [21]

RQ-11 Raven je průzkumný bezpilotní letoun od kalifornské společnosti AeroVironment. První sériový kus převzala americká armáda v květnu 2003, od roku 2009 jsou Ravy součástí výzbroje Armády České Republiky a slouží u 102. průzkumného praporu z Prostějova.



Obr. 28 Obsluha připravuje bezpilotní prostředek RQ-11 Raven na vypuštění, základna Shank, Lógar, říjen 2011 (www.onwar.eu [21])

Raven je skutečně velice malý a svými rozměry připomíná spíš model letadla. Rozpětí křídel má 140cm, jeho délka je přibližně 90cm a MTOM se pohybuje kolem 2kg. Pohon zajišťuje střídavý elektromotor.

Vzlet letounku probíhá vypouštěním z ruky. V automatickém režimu je schopen létat ve výškách 50-300m AGL. Při přistání dosedá na spodní část trupu. Dolet stroje se uvádí 10 kilometrů a výdrž se pohybuje podle zatížení 60-90 minut. [21]

Letouny mají zabudovanou GPS navigaci. Jedná se tedy o taktický prostředek, který umožňuje vojákům sledovat okolí a v kombinaci s dalšími zdroji informací, může poskytnout velice dobrý obraz o situaci na bojišti.

Některé verze jsou dokonce vybaveny laserovým značkovačem, který umožňuje navádět bojové letouny na cíle ke zničení. Celý systém, sestávající z letounku a řídicího stanoviště, se vejde do několika kufříků. Letounek standardně nese několik kamer, které snímají ve viditelném spektru i IR. Je tedy schopný operovat ve dne i v noci. Řízený může být manuálně. Pomocí řídicího stanoviště, které je součástí UAS. Případně může létat autonomně. [21]

*„Hlavními úkoly, které RQ-11 Raven v Armádě ČR plní, jsou zejména mise **force protection**. Tedy mise pro zajištění ochrany vlastních jednotek, základen a stanovišť v předpokládaných směrech, nebo prostorech působení nepřítele.“ [21]*

Velmi účelné, ale složité vzhledem ke koordinaci, je využití UAV při ochraně peší jednotky na přesunu. Prostředek Raven poskytuje v reálném čase a s minimálním rizikem obraz o situaci v prostorech, které jsou mimo dosah pozorování. Navíc je schopen pracovat nejen ve viditelném spektru, ale také za snížené dohlednosti.

“První „ostrý“ let bezpilotního průzkumného prostředku RQ-11 Raven na území Afghánistánu, byl proveden před více než rokem, krátce po jeho zavedení do struktur 102. průzkumného praporu a vyškolení obsluh. Přes počáteční mírnou nedůvěru ve schopnosti Havrana v náročných a specifických podmínkách a obavy z bezpečnostních rizik pro jednotku v případě pádu letounu a jeho dohledávání, se podařilo tento typ bezpilotního prostředku zavést do sestav jednotek plnících úkoly v terénu a přizpůsobit jejich taktiku.“ [21]

2.8. Vývoj bezpilotních prostředků v 80. a 90. letech 20.století

Koncem 80. a v průběhu 90. let začal počet vojenských bezpilotních letadel prudce narůstat. „V současné době už na světě létá okolo sta typů a minimálně stejně vysoké množství je vyvíjeno.

Co je ještě důležitější, v dnešní době se už nejedná pouze o prostředky původem z USA, Ruska, Izraele, či západní Evropy. Řadu typů bezpilotních letadel vyrábí například Čína, Indie, Pákistán, Jižní Afrika, nebo arabské země.

Výroba bezpilotních prostředků i v průmyslově málo rozvinutých zemích je dnes možná, především díky technickému pokroku a miniaturizaci elektronických součástí v posledních letech. Ještě na počátku 80. let byly pro tyto účely vhodné řídicí a sensorové prvky považovány za supermoderní výkřiky technologie, ovšem dnes jde o běžně dostupné a často i poměrně levné součástky.

V nedávné době například získaly mediální pozornost iránské bezpilotní prostředky Ababil, které nasadila organizace Hizballáh.



Obr. 29 Bepilotní letoun Ababil, nasazený hnutím Hizballáh v roce 2011 [22]

V současnosti je velmi složité, stanovit jasnou hranici mezi leteckými modely a jednoduchými bezpilotními stroji.

3. Rozdělení bezpilotních létajících prostředků:

Česká legislativa pokrývá problematiku rozdělení UAV v Doplnku X - BEZPILOTNÍ SYSTÉMY, k předpisu L2. Tento dokument definuje následující pojmy:

Následující kapitola cituje Doplněk X [23], pro vyšší přehlednost textu byly vynechány klasické citační znaky.

Bezpilotní letadlo (UA)

Letadlo určené k provozu bez pilota na palubě.

Poznámka: V mezinárodním kontextu se jedná o nadřazenou kategorii dálkově řízených letadel, autonomních letadel i modelů letadel; pro účely tohoto doplnku se bezpilotním letadlem rozumí všechna bezpilotní letadla kromě modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 20 kg.

(Pozn. Autora: Zkratka UA, definovaná dodatkem X, významově odpovídá běžně používané zratce UAV)

Bezpilotní systém (UAS)

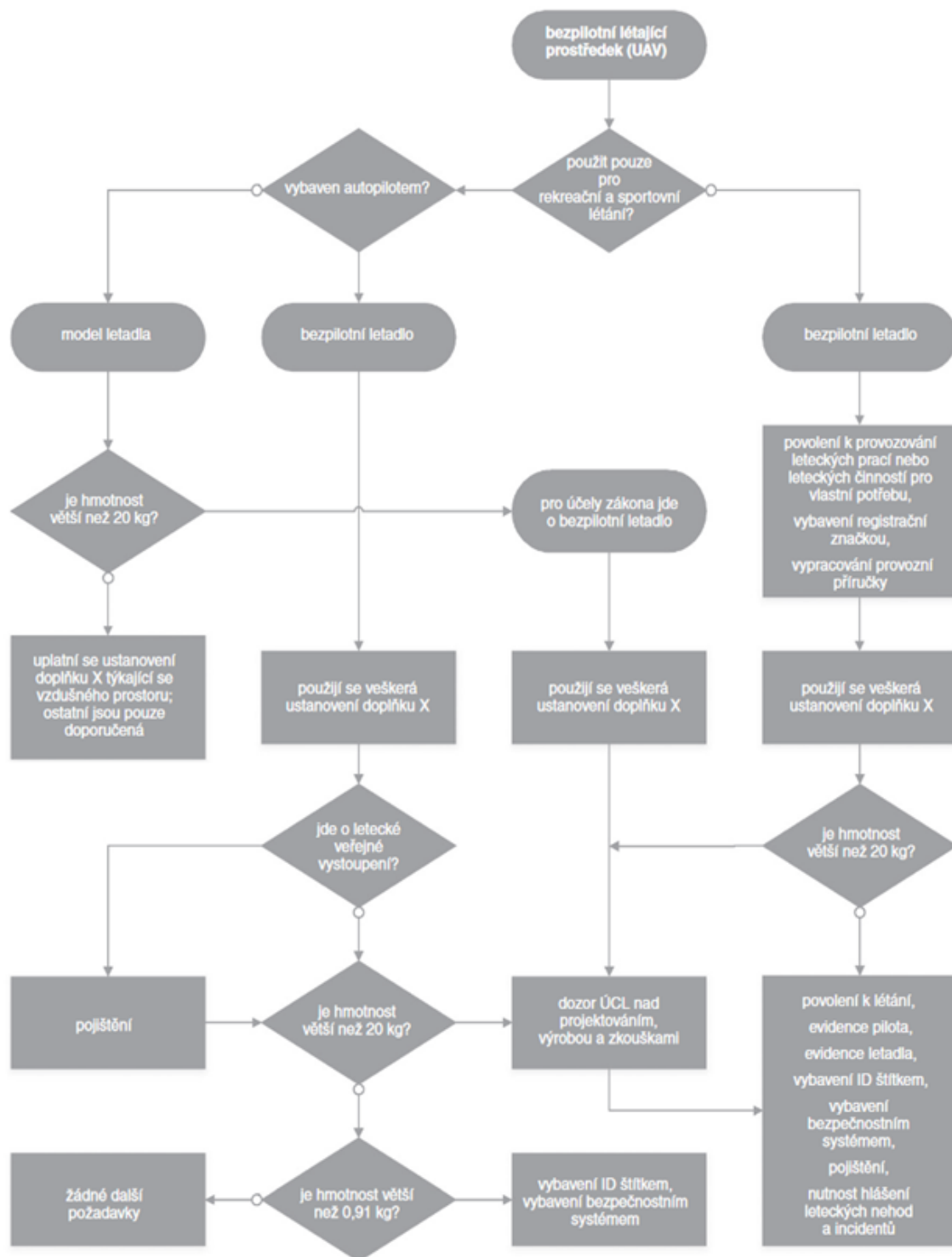
Systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bezpilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému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

Autonomní letadlo

Bezpilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení letu.

Model letadla

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



Obr. 30 Klasifikace bezpilotních prostředků (AUTOMA 1/2016 [24])

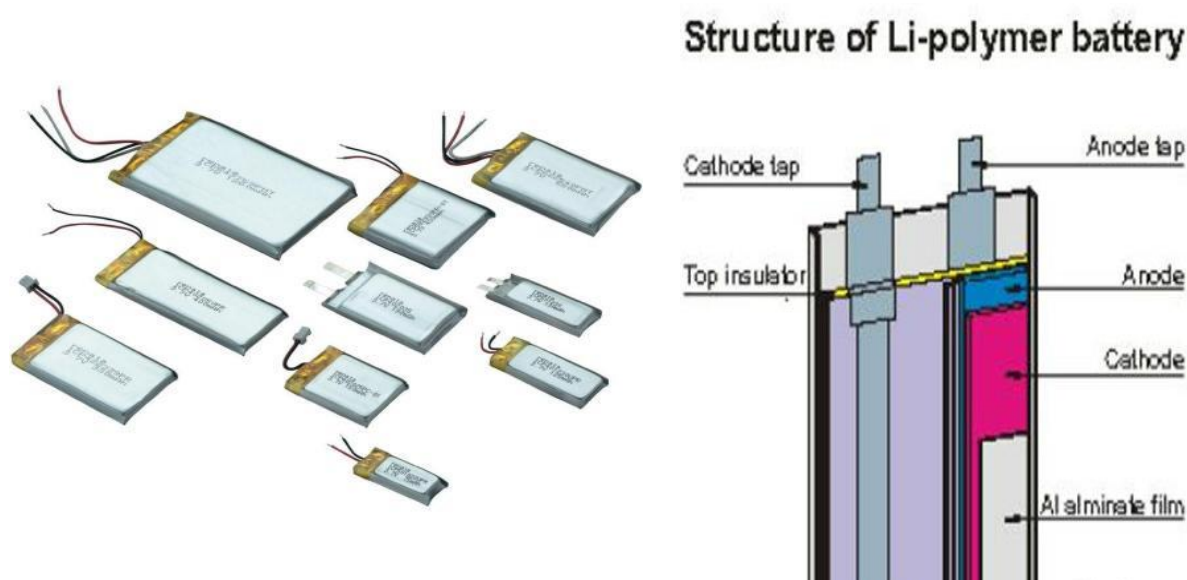
3.1. Rozvoj civilních bezpilotních prostředků

Historický vývoj UAV, kterým se zabývala předchozí kapitola, je pevně spjatý s jejich vojenským využitím. Díky tomu již byly zásadní typy vojenských UAV zmíněny. Autor by se v této kapitole rád zaměřil na bezpilotní létající prostředky, které jsou určené k civilnímu použití.

Během posledních deseti let došlo mezi civilními UAV k ohromnému rozvoji. Stalo se tak především díky miniaturizaci palubní elektroniky a vývoji moderních Lithium-Iontových a Lithium-Polymerových akumulátorů. Tyto akumulátory jsou vyvíjeny primárně pro různé smartphony, tablety, note/net/ultra-booky a jiná osobní elektronická zařízení.

Li-Pol akumulátory jsou dnes schopny poskytovat kapacitu a proudovou zatížitelnost, srovnatelnou s Ni-Mh a Ni-Cd akumulátory, při mnohem nižší hmotnosti. [25]

Každý článek Li-Pol má navíc vysoké nominální napětí (3,7V). Díky tak vysokému napětí je možné v některých aplikacích používat monočlánky, což vede k další úspoře hmotnosti. Jejich nejnovější konstrukce (NanoTech) jsou navíc schopny, při dodržení správného postupu nabíjení, dlouhodobě snášet vysoké nabíjecí proudy (až 5C). LiPol akumulátory jsou proto ideální pro použití v létajících modelech a bezpilotních letounech.



Obr. 31 Monočlánky LiPol s kapacitami od 150mAh, do 3500mAh a schéma vnitřní konstrukce LiPol akumulátoru (Elektro TZB [25])

Pro vývoj civilních bezpilotních prostředků je také velmi významná masovost výroby komponentů palubního vybavení. Především díky rozvoji osobní elektroniky v posledních letech se z dříve velmi nákladných elektronických součástí stává běžně používané vybavení, které je možné pořídit s minimálními náklady. Díky tomu se cena palubní elektroniky za posledních 15let, kdy se autor věnuje funkční modelařině, snížila velmi rapidně.

V civilním sektoru se v dnešní době setkáme především s UAV ovládanými dálkově, pomocí radiostanice, případně stabilizovanými pomocí tlakového senzoru výšky a přijímače GNSS signálu. Zcela autonomní drony jsou dnes vzhledem k legislativním omezením využívány především vojensky.

Konstrukce dronů s pevným křídlem je v civilní sféře spíše vyjímečná a obtížně se stanovuje hranice, která tyto prostředky odděluje od modelů letadel. Mezi civilními drony se nejčastěji můžeme setkat s konstrukcemi, které ke generování vztlaku využívají pouze tahu motorů. Tato kategorie bezpilotních prostředků se souhrně nazývá koptéry (copter). Motory u těchto strojů neslouží pouze ke generování vztlaku, ale UAV také stabilizují.

Díky řídicí elektronice (vybavené miniaturními gyroskopickými senzory), je pak možné změnou tahu jednotlivých motorů měnit směr letu a provádět mnohdy složitou vzdušnou akrobacii.

Koptéry se dále dělí podle počtu pohonných jednotek (PJ). Nejznámější jsou quadrokoptéry (čtyři PJ), ale můžeme se setkat také s hexakoptérou (šest PJ), oktokoctérou (osm PJ) a dalšími n-koptéry.

Vzhledem k tomu, že odvětví dronů aktuálně zažívá obrovský boom, brzy se jistě dočkáme mnohem rozmanitějších konstrukcí.

3.2. Rozdělení civilních bezpilotních prostředků podle použití

Kritérií, podle kterých můžeme rozdělovat civilní bezpilotní létající prostředky, je velmi mnoho. Koncepce, Hmotnost, Nosnost, Vytrvalost... UAV se dále dělí na autonomní a dálkově ovládané.

Jako nejzákladnější kritérium pro rozdělení bezpilotních prostředků se jeví účel, ke kterému byly zkonstruovány.

Vzhledem k prostorovým možnostem této práce zmiňuje autor v následujících pěti kapitolách pouze několik nejzajímavějších možností jejich praktického využití.

Šestá kapitola pak shrnuje několik úkolů, které by v budoucnosti mohly drony plnit.

Seznam následujících kapitol

- **Pátrání a záchrana (SAR)**
- **Vědecké využití**
- **Doručování**
- **Letecké snímkování**
- **Rekreační využití**
- **Nejnovější koncepce**

3.3. Pátrání a záchranna (SAR)

Létající bezpilotní prostředky v současnosti umožňují bezpečnější, ekonomičtější a díky jejich mobilitě mnohdy také rychlejší formu letecké podpory během pátrání a záchran.

Díky miniaturizaci umožňuje nesené vybavení snímání velkých ploch a těžko přístupných míst pomocí televizních, termovizních, případně noktovizních kamer v reálném čase. UAV tak umožňují například záchranu trosečníků na moři, vyhledávání obětí lavin, horolezců, případně paraglidistů na těžko přístupných místech,...

K rychlému rozšíření bezpilotních prostředků pro potřeby SAR vedly především jejich podstatně nižší pořizovací a provozní náklady oproti konvenčním prostředkům leteckého průzkumu (helikoptéry, letadla).

Bezpilotní systémy jsou navíc při plnění těchto úkolů velmi operativní, protože mohou být přenášeny například v batohu a vypuštěny i v terénech, které by byly pro konvenční prostředky nepřístupné. Další výhodou využití bezpilotních prostředků během SAR je jejich nízká hluková stopa, díky které nenarušují záchranné práce tolik jako konvenční stroje. [26]



Obr. 32 Nasazení UAV při lavinových záchranných pracích (Aerialtronics [26])

Využití bezpilotních prostředků během pátrání a záchrany se ovšem neomezuje pouze na vyhledávání trosečníků a obětí neštěstí. UAV jsou v současnosti schopné poskytnout zachraňovaným také základní pomoc a prostředky pro přežití.

V podmínkách záchrany na moři to mohou být záchranné kruhy, samonafukovací čluny (dinghy), případně balíčky se základními potřebami pro přežití a usnadnění dohledání trosečníků (fosforeskující značkovací barvy, voděodolné světlice, potraviny pro přežití...).

Současné bezpilotní prostředky, používané pro tyto úkoly záchranými složkami ve Švýcarsku a v Itálii, bývají často řešeny jako voděodolné a za určitých podmínek také vodotěsné. Některé typy v současnosti testovaných UAV jsou dokonce schopny provozu pod hladinou, jako bezpilotní ponorky. Uvidíme tedy, jaká využití přinese další vývoj těchto prostředků.



Obr. 33 Záchrana pomocí UAV nad vodní hladinou a snímek létajícího dronu, schopného provozu pod vodou (dronelife.com, popularscience.com [27], [28])

3.3.1. Úprava rekreačních dronů a modelů pro využití v SAR

Zajímavý projekt realizovala skupina studentů King Low Heywood Thomas School of Stamford, US, ve spolupráci s firmou Flying Robots LLC.

Zatímco pořizovací náklady na speciální drony pro SAR se pohybují kolem stovek tisíc korun, vyvinul tento tým společnými silami příslušenství pro záchranu tonoucích, jehož pořizovací náklady jsou velmi nízké. Toto zařízení může být jednoduše připevněno pod širokou škálu sériově vyráběných rekreačních quadrokoptér, případně RC vrtulníků.

Tento počín má pracovní název Project Riptide (Riptide = Silný mořský proud) a v současnosti sbírá finanční podporu na serveru kickstarter.com.

„Riptide is a life saving drone accessory that can deliver an automatically inflating life preserver to a swimmer in trouble in seconds.“ [29]

Tento způsob shozu záchranného prostředku by mohl pomoci snížit nebezpečí, kterému při vykonávání svojí profese čelí plavčíci. Silné mořské proudy totiž často představují nebezpečí i pro ně samotné.

„Trained lifeguards rescue more than 10,000 swimmers a year from riptides. However, a rip current is also a danger to the savior. These lifeguards are taking an enormous risk. This can be especially true if a rescue is required on a frozen lake, pond or river.“ [29]



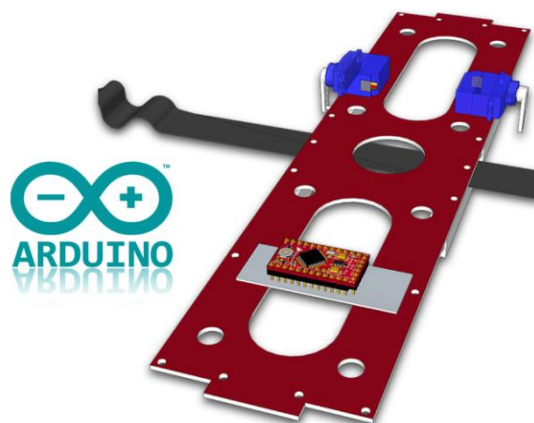
Obr. 34 Riptide připevněný pod rekreační quadrokoptéru (kickstarter.com [29])

Konstrukce nosiče Ryp tide je velmi primitivní a šikovný modelář by něco podobného dokázal vyrobit s naprosto minimálními časovými i finančními náklady.

Celková hmotnost zařízení s připnutým samonafukovacím záchranným prostředkem je přibližně 400g. To v praxi znamená, že může být podvěšen pod většinu středně velkých quadrokoptér poháněných střídavými motory.

Příprava tohoto zařízení k letu zabere cca 30 sekund, po jejichž uplynutí je dron schopen dopravit záchranný prostředek nad plavce v nouzi. Odhad a zaměření pozice zachraňovaného je ze břehu velmi komplikovaný. K určení pozice zachraňovaného a správnému shozu může být použita malá kamera s přenosem obrazu pomocí wifi. [29]

Odhoz samonafukovacího záchranného zařízení je potom proveden pilotem, pomocí stisku tlačítka. Jako aktuátory odhozu jsou použita dvě serva, která běžně slouží k ovládání náklonu kamery.



Obr. 35 Platforma Ryp tide pro připevnění a dálkový odhoz složeného samonafukovacího člunu (dronelife.com, popularscience.com [27], [28])

3.4. Vědecké využití bezpilotních prostředků

3.4.1. Výzkum divoce žijících zvířat

Bezpilotní prostředky se díky svým vlastnostem výborně hodí pro pozorování volně žijících zvířat. Jedním z příkladů může být výzkum chování velryb.

Vědci z mořského institutu při Oregon State University studují pomocí dronů dlouhodobé chování kytovců. Díky této technologii se jim podařilo nafilmovat, jak se krmí největší tvor naší planety – plejtvák obrovský.



Obr. 36 Krmící se plejtvák obrovský (Oregon State University [30])

Plejtvák obrovský měří ke třiceti metrům a může vážit až 200 tun. Aby tuto hmotu rozpohyboval, potřebuje na to velké množství energie. Je neuvěřitelné, že největší tvor, který kdy žil na naší planetě, se živí jedněmi z nejmenších obyvatel moří. Totiž drobnými korýši, souhrnně nazývanými kril. Denně musí pozřít odhadem na 40 milionů těchto tvorečků. [30]

Díky pozorováním uskutečněným pomocí UAV se ukázalo, že lov krilu je překvapivě sofistikovanou činností a s ohledem na hmotnost kytovce, vyžaduje podrobné plánování. Vědci z mořského institutu při Oregonké univerzitě dokázali díky analýze záběrů pořízených z dronu určit, že rychlost přiblížení plejtváka k jeho kořisti se mění v závislosti na velikosti hejna krilu. Průměrně se pohybuje okolo 10km/h. Ve chvíli když otevře svou ohromnou tlamu, dojde k výraznému zpomalení jeho pohybu, které je v průměru kolem 3km/h. [30]

Mořští biologové právě způsob pastvy plejtváků velmi pečlivě sledují a analyzují. Z analýzy získaných dat zjistili, že když před sebou plejtvák uvidí hejno krilu, nejprve odhadne jeho velikost. Pokud není velikost hejna dostatečná, nestojí velrybě za vynaložené úsilí. [30]

Podle údajů zveřejněných na internetových stránkách Oregonské univerzity, umožnily pořízení kvalitních dat a záběrů až drony. Tyto materiály potom vedly k lepšímu pochopení sofistikovanosti tohoto chování.

“It’s hard to get good footage from a ship, and planes or helicopters can be invasive because of their noise. The drone allows us to get new angles on the whales without bothering them.” [30]

Vezmeme-li v úvahu hmotnost kytovce, která se pohybuje kolem 200 tun, je jasné, že opětovné urychlení jeho těla na běžnou cestovní rychlost (cca 30km/h) bude vyžadovat ohromné množství energie. Každá „pastva“ na hejnu krilu tedy musí být dostatečně energeticky výnosná na to, aby se plejtvákovi vůbec vyplatila. [30]

3.4.2. Opylování pomocí dronů

Se zajímavým způsobem využití bezpilotních prostředků přišli vědci z National Institute of Advanced Industrial Science and Technology in Japan. Je jím opylování květin a stromů pomocí dronů.

Člověk svou činností velmi zasahuje do fungování ekosystémů a porušuje tak extrémně složité vazby v nich. Tyto vazby se vyvíjely po miliony let a lidé byli zatím schopni odhalit jen jejich velmi nepatrné procento.

Jednou ze základních vazeb v živočišné říši je spojení rostliny a jejího opylovače. Současných úbytek hmyzu, který je schopný opylovat rostliny, je tedy jedním ze závažných ekologických problémů současnosti.

90% rostlin, které se rozmnožují pomocí květů a přibližně 30% rostlin, které jsou člověkem přímo pěstovány ke konzumaci, závisí při své reprodukci na opylovačích. [31]

„Pollinators around the world are in trouble: A recent report puts 40% of the smallest ones—like butterflies and bees—at risk of extinction.“ [31]

Jen v roce 2016 uhynulo v USA 42% divokých včelích kolonií. Tento úhyn je dán kombinací několika faktorů. Nejdůležitějšími jsou: nadměrné používání pesticidů, změna klimatu, ztráta přirozeného životního prostředí a patogeny přenášené blechami.

Žádná technika přenosu pylu, během níž se člověk snažil simulovat opylování hmyzem, nepřinesla zatím uspokojivé výsledky.

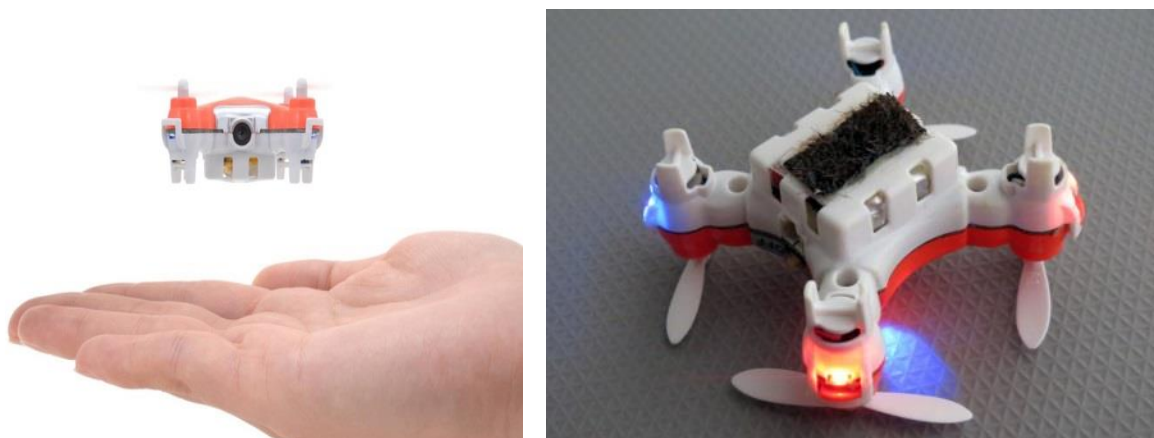
„To combat an environmental catastrophe waiting to happen, people have been trying to find pollinating replacement techniques for humans. Some solutions include manually pollinating flowers with a brush or using spray machines.“ [31]

Problém klesající populace opylovačů přitáhl pozornost Japonských přírodovědců a chemiků. Jejich výzkum se zaměřil na možnost využití nejmenších dronů, jako umělých opylovačů.

Cílem jejich výzkumu by měla být konstrukce hejn malých dronů, které budou schopny autonomně opylovat různé druhy rostlin. Nejde jim při něm o úplné nahrazení přírodních opylovačů, snaží se pouze zmírnit dopady jejich vymírání, které se člověku zatím nedaří zpomalovat.

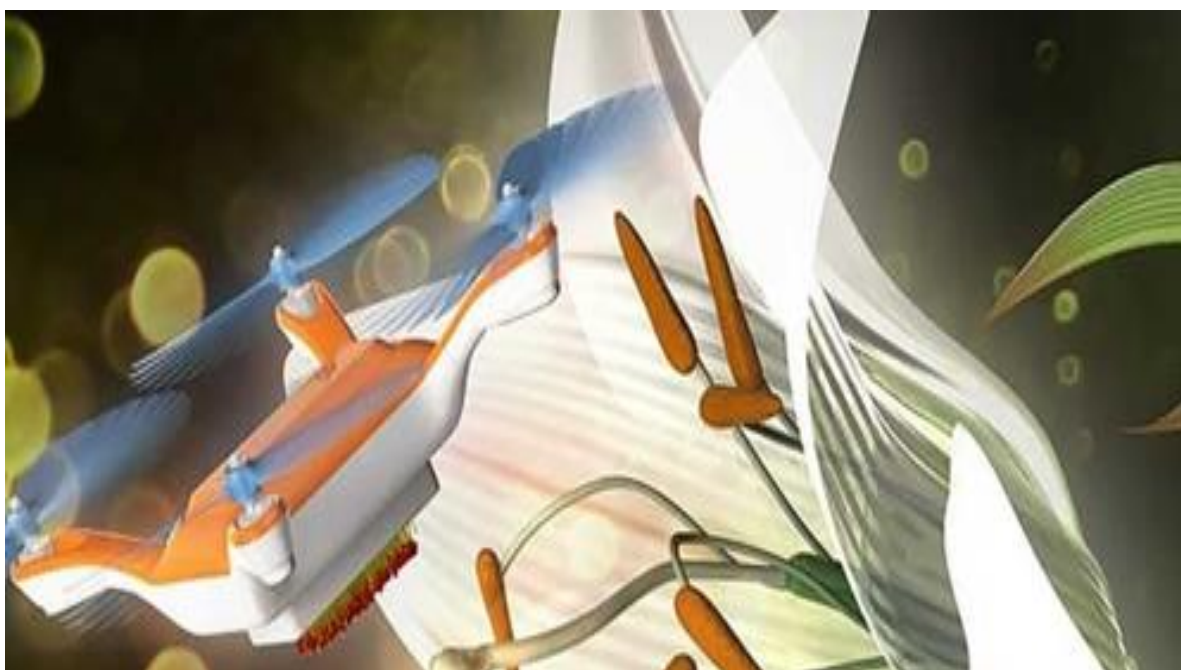
Praktické testy během tohoto výzkumu byly prováděny s jednou z nejmenších rekreačních quadrokoptér Cheerson CX-10. Pořizovací cena této miniaturní quadrokoptéry se v současnosti pohybuje kolem 12dolarů.

Na tohoto drona byl připevněn proužek chlupů, vyrobený z koňských žíní. Tento pruh byl vědci napuštěn lepkavým gelem (ILG - Ionic Liquid Gel), který by měl zajistit opylení, bez nebezpečí kontaminace pylových zrněk.



Obr. 37 Opylovací drony (sciencemag.org [31])

„With enough practice, the scientists were able to maneuver the remote-controlled bot so that only the bristles, and not the bulky body or blades, brushed gently against a flower’s stamen to collect pollen“ [31]



Obr. 38 Vizualizace opylování lilie pomocí dronu (www.sciencemag.org [31])

3.5. Doručování

3.5.1. Přeprava transplantační krve

Zavádění moderních technologií do běžného života, bývá většinou spojováno s ekonomicky a technicky vyspělými zeměmi. Zástupci Rwandy, malé země ve střední Africe, se však vzhledem k rozsáhlým vzdálenostem mezi osídlenými oblastmi rozhodli, uvést do praxe převoz transplantační krve pomocí dronů.

Za tímto účelem kontaktovali v roce 2014 firmu Zipline International Inc., se sídlem v San Francisku, která se specializuje na doručování pomocí dronů. Tato firma dodala potřebnou technologii a vycvičila místní personál. V červnu 2015 začala provozovat dodávky transplantační krve pomocí bezpilotního letounu. [32]

Tento bezpilotní letoun je poháněn dvojicí elektromotorů s vrtulemi v tlačném uspořádání, které mu zajišťují dolet až 120km. Většina jeho letu probíhá autonomě, za využití satelitní navigace. Letoun má udávanou vzletovou hmotnost 10kg, při užitečném zatížení 1,6kg. Užitečné zatížení je shazováno na padáku z vnitřní "pumovnice". Malý kontejner typicky obsahuje 1l transplantační krve. K odhozu užitečného nákladu slouží pneumatický systém, využívající nádoby se stlačeným vzduchem. [32]

„Partnering with the Government of Rwanda, Zipline serves 21 hospitals nation-wide. We provide instant access to lifesaving blood products for 8 million Rwandans.“ [32]



Obr. 39 Bezpilotní letoun pro přepravu transplantační krve (zipline.net [32])

3.5.2. Létající mobilní defibrilátory

Jednou z posledních inovací ve využití dronů pro záchranu lidského života je projekt létajících defibrilátorů.

Koncept tohoto systému byl vyvinut Alecem Momontem, tehdy ještě studentem Delft University of Technology v Nizozemsku. Jeho projekt zvítězil v jednom z ročníků soutěže Drones For Good v UAE. Firma, kterou z peněz získaných v soutěži založil, se specializuje na aplikaci nejmodernějších technologií do praxe. [33]

„With Drones For Good I set out to change the negative perception of drones. The idea has been very warmly welcomed all over the world and reached over 200 million people. One of the concepts that embodies this idea is the "Ambulance Drone" - a high speed emergency network of drones that save lives.“ [33]



Obr. 40 Simulované poskytnutí první pomoci pacientovi (alecmomont.com [33])

"Ambulance Drone" nese na palubě jednoduše použitelný defibrilátor, který je schopen doručit ve zlomku času, oproti klasickým záchranným složkám. Čas je při tom pro pacienta, umírajícího na infarkt myokardu, naprosto kritický.

„Effectiveness diminishes by 10 percent for every minute that passes by before the implication of the defibrillation.“ [33]

Momont na svých stránkách dále zmiňuje, že zatímco běžné ambulanci trvá příjezd na místo zásahu v průměru 15minut, létajícímu defibrilátoru by k tomu měl stačit zlomek času.

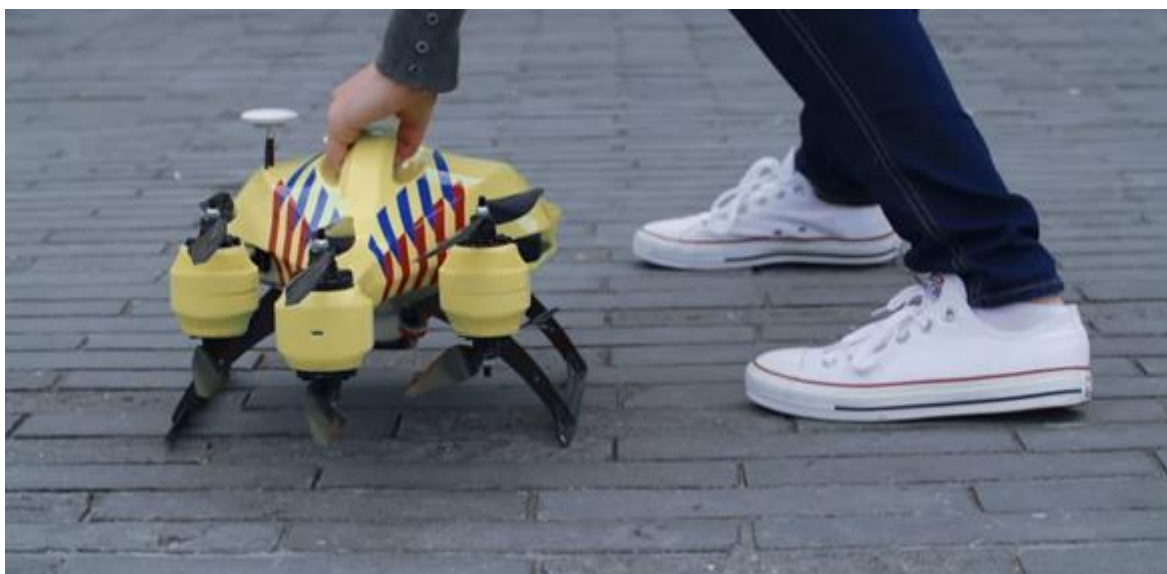
„The time taken to receive a person with severe cardiac arrest is often a deciding factor between the life and death. If the person is untrained then it became tricky to operate public defibrillators. He decipher the situation and came out with an idea of removing this difficulty by constructing a drone specifically for the scenario.“ [33]

System, založený na létajících defibrilátorech, by měl fungovat následovně. Po tom, co se pacient, případně osoba poblíž pacienta, vykazujícího symptomy infarktu dovolá na tísňovou linku, je operátorem lokalizován. Následně je vyslán "Ambulance Drone", jehož přelet na místo události probíhá autonomně.



Obr. 41 Složený létající defibrilátor (alecmomont.com [33])

Přistání prostředku na místě zásahu potom provede operátor pomocí údajů z palubních kamer. Prostředek po přistání automaticky složí ramena s motory podél trupu. Je tak připraven k přenosu k pacientovi.



Obr. 42 Složený létající defibrilátor připravený na přenesení k pacientovi (alecmomont.com [33])

Operátor bezpilotního prostředku celou záchrannou akci sleduje z řídicího střediska a její průběh může korigovat. Navíc pomocí implementovaných kamer, reproduktoru a mikrofonu je schopen přímo komunikovat se zachraňovaným, jeho pomocníkem a případně jejich okolím. [33]

Může tak velmi efektivně řídit průběh záchrany pacienta a opravovat případné chyby, jichž se účastníci záchrany dopouštějí.

3.5.3. Spedice

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

Následující společnosti se dlouhodobě zabývají vývojem konceptů a specializovaných bezpilotních létajících prostředků pro autonomní doručování. Některé z nich jsou zatím ve stádiu vývoje a prvních letových zkoušek, zatímco jiné už v některých odlehlých oblastech poskytují tyto služby prakticky pravidelně.

Zřejmě největšího pokroku v tomto odvětví zatím dosáhla společnost DHL. Její bezpilotní systémy jsou už v současnosti schopny začlenění do běžného provozu a v některých částech světa už dokonce poskytují pravidelné expediční služby.



Obr. 43 Quadrokopty testované jako stroje pro expediční účely [34]

3.5.3.1. Společnost DHL

Na vývoj systému autonomního doručování zásilek pomocí dronů se tato společnost začala zaměřovat v roce 2010. V roce 2013 představila DHL tento koncept veřejně, když její Parcelcopter první generace provedl dodávku léků ve městě Bonn z jednoho břehu Rýna na druhý.

Společnost DHL získala jako první v Evropě oprávnění pro autonomní lety doručovacích dronů v roce 2014. Na tomto základě započala s pilotním projektem pravidelné dodávky léků a drobného zboží na ostrov Juist v Německu, jehož vzdálenost od pobřeží je cca 10 km. Tento pilotní projekt byl prvním v Evropě, během něhož operovalo bezpilotní letadlo bez přímého vizuálního kontaktu pilota a při plnění skutečného úkolu. Projekt dostal pro tyto účely vyhrazenou speciální bezletovou zónu. [35]

V roce 2016 dokončila DHL tři měsíce trvající test třetí generace plně automatizovaného a velmi komplexního doručovacího systému, který na rozdíl od předchozích dvou generací nevyužívá pro doručování autonomní quadrokoptéry, ale dvoumotorové bezpilotní konvertoplány s otočnými křídly.

Oproti druhé generaci se zvýšila hmotnost užitečného zatížení, které je tento stroj schopný unést. Zatímco u druhé generace Parcelcopteru byla PL omezena na 1,2 kg. Třetí generace je schopná unést zásilku o maximální hmotnosti 2kg. Zároveň se také přibližně zdvojnásobila rychlost letu. [35]



Obr. 44 Parcelcopter druhé a třetí generace (DHL [35])

DHL PARCELCOPTER

GLOBALLY UNIQUE STAGES OF DEVELOPMENT IN TECHNOLOGY AND LEVEL OF PERFORMANCE

PARCELCOPTER 3.0

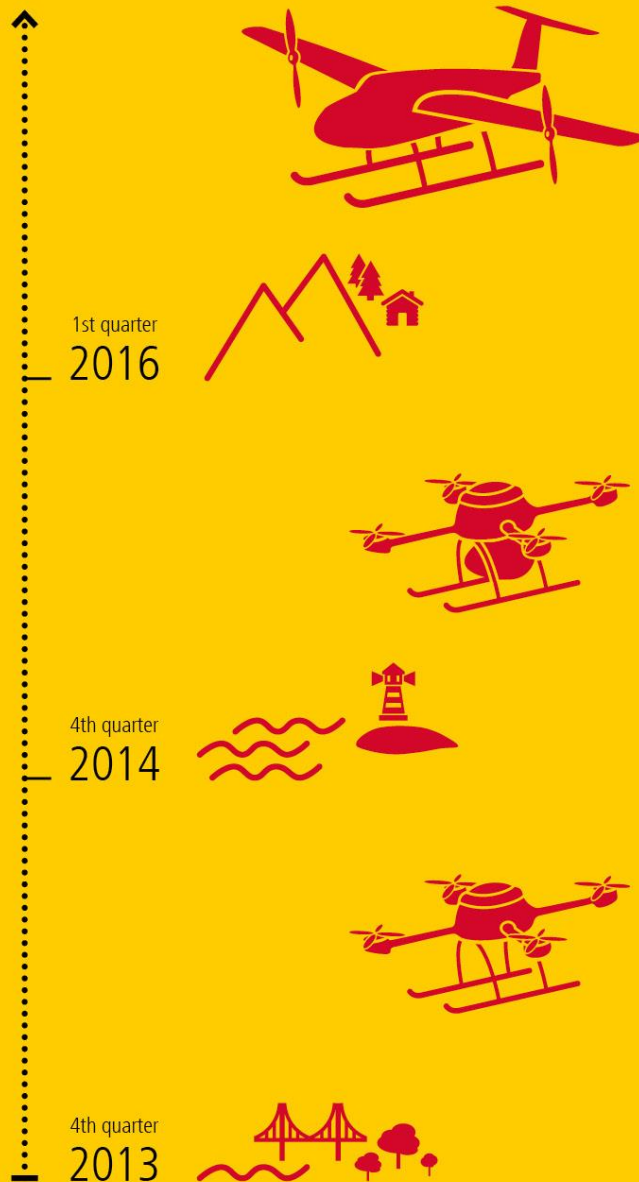
Aircraft: Tiltwing Aircraft
Dimension: 2,200 mm
Payload: up to 2 kg
Airspeed: approx. 70 km/h
Control system: autonom
Flying area: Mountainous region
Location: Reit im Winkl/Winklmoosalm
Flight distance: 8.3 km
Altitude difference: approx. 500 m

PARCELCOPTER 2.0

Aircraft: Quadcopter
Dimension: 1,030 mm
Payload: up to 1.2 kg
Airspeed: approx. 43 km/h
Control system: autonom
Flying area: open sea
Location: Norddeich/Juist
Flight distance: 12 km
Altitude difference: none

PARCELCOPTER 1.0

Aircraft: Quadcopter
Dimension: 1,030 mm
Payload: up to 1.2 kg
Airspeed: approx. 43 km/h
Control system: manual
Flying area: River crossing
Location: Bonn
Flight distance: 1 km
Altitude difference: none



DHL Parcel Germany – Status: 01/2016

Obr. 45 Vývojové fáze Parcelcopteru společnosti DHL (DHL [35])

3.5.3.1.1. Systém Parcel Copter 3

Systém PC3 funguje v kombinaci s poštovní schránkou ve speciálním heliportu, který zároveň slouží pro uložení transportních kontejnerů se zásilkami. Tento systém dokáže automaticky naložit zásilku na bezpilotní prostředek a poté ji z něj znovu vyložit. Doručená zásilka je pak připravena k vyzvednutí adresátem ve výdejní schránce, která je také součástí heliportu

Tento systém je určen především k obsluze vzdálených a špatně přístupných oblastí. Během testovacího provozu bylo dle DHL úspěšně splněno 130 doručení s vykládkou a nakládkou zásilky. Každá cesta byla dlouhá přibližně 8 km a trvala 8 minut, při průměrné rychlosti 70 km/h. Při běžném způsobu doručení, zabere tato cesta v zimě přibližně 30 minut. Parcel Copter 3 se během těchto testů musel potýkat s nepříznivými povětrnostními podmínkami a nadmořskou výškou 1200m AMSL. [35]

Konstrukčně je Parcel Copter 3 řešen jako konvertoplán s vertikálním vzletem a přistáním. Po vzletu přechází otočením křídla s rotory do režimu letounu s pevnou nosnou plochou.



Obr. 46 Parcel Copter 3 (DHL [35])

3.5.3.2. Google

Firma Google investovala od roku 2012 nemalé finanční prostředky do vývoje bezpilotních letounů pro doručování zásilek. Výsledkem jejich vývoje bylo představení konceptu bezpilotního prostředku, který nese název Project Wing v roce 2014. Většina technických údajů tohoto prostředku je nicméně tajena a Google zatím na veřejnost neventiloval žádné bližší údaje technického charakteru, které by se týkaly tohoto projektu. [36]

Projekt WING vznikl v tajnosti ve vývojovém centru firmy Google, zvaném X Labs. Původně byl určen pro rychlé doručování defibrilátorů pacientům s podezřením na infarkt myokardu. [38]

„The original concept behind Project Wing — which has been in development for more than two years — was to deliver defibrillators to heart attack sufferers within two minutes.“ [36]

Tento cíl byl ovšem během vývoje letounu opuštěn, kvůli špatné kompatibilitě takového prostředku se stávajícím způsobem uspořádání nouzové linky 911 a návazných záchranných složek. [38]

Pozornost konstruktérů se tedy přesunula do sféry každodenních doručovacích služeb, poskytování humanitární pomoci během živelných katastrof a doručování zásilek do těžko přístupných míst.



Obr.47 Project Wing představený Googlem v roce 2014 (businessinsider.com [36])



Obr. 48 Řada prototypů UAV Project WING (pocket-lint.com [37])



Obr. 49 Spouštění zásilky na navijáku, zatímco prostředek je ve visu, během prvního autonomního doručení v roce 2014 (Google Project Wing [38])

V lednu 2016 si Google nechal patentovat automatický systém doručování zásilek do mobilního zařízení, které provádí jejich konečné doručení po zemi. UAV v tomto patentu tedy plní pouze funkci jakéhosi mezičlánku mezi skladem zboží a mobilním pozemním prostředkem, jakýmsi „automatickým pošťákem“.

„The drones would lower packages to the ground using a winch. A patent filed October 2014 outlines how robots on wheels could then take these packages and deliver them.“

[38]

Doručení uskutečněné podle tohoto patentu by tedy mohlo probíhat následovně:

- 1) UAV přistane na střeše skladu a vyzvedne zásilku
- 2) UAV se spojí s centrálou, která mu předá informace o současné poloze mobilního pozemního prostředku, který se aktuálně vyskytuje nejbližší adresátovi
- 3) UAV se spojí s daným pozemním prostředkem, doletí na jeho pozici a předá mu zásilku
- 4) Mobilní pozemní prostředek provede doručení zásilky adresátovi

V současnosti ovšem není jasné, zda se Google chystá tento systém uvést do praxe v podobě, v jaké je patentovaný.

Začátkem srpna 2016 nicméně dostal projekt WING podporu od Bílého domu. Vláda USA se tak snaží urychlit vývoj civilní a komerční aplikace dronů a na podporu tohoto odvětví se rozhodla vyhradit okolo 35 000 000 dolarů. FAA už dokonce ve vzdušném prostoru USA vyčlenila šest oblastí, které jsou určeny právě pro testování dronů. Těm je zde povoleno létat i mimo přímý vizuální kontakt. **[38]**

Google se dále zabývá vývojem elektronického vybavení pro bezpilotní prostředky, které by službám ATC a okolnímu provozu poskytovalo podobné výstupy, jako odpovídače sekundárního radaru ve skutečných letadlech.

3.6. Letecké snímkování

Letecké snímkování je v současnosti asi nejrozšířenějším způsobem používání civilních bezpilotních prostředků. Pole využití leteckých snímků pořizovaných drony je velmi široké a díky nižším provozním nákladům, už tyto prostředky ve velké míře nahradily běžně používaná letadla, případně vrtulníky. Na druhou stranu, s ohledem na v ČR platnou legislativu, jsou bezpilotní prostředky schopné pořizovat snímky maximálně do výšky 300m AGL (viz. doplněk X).

3.6.1. Profesionální firmy

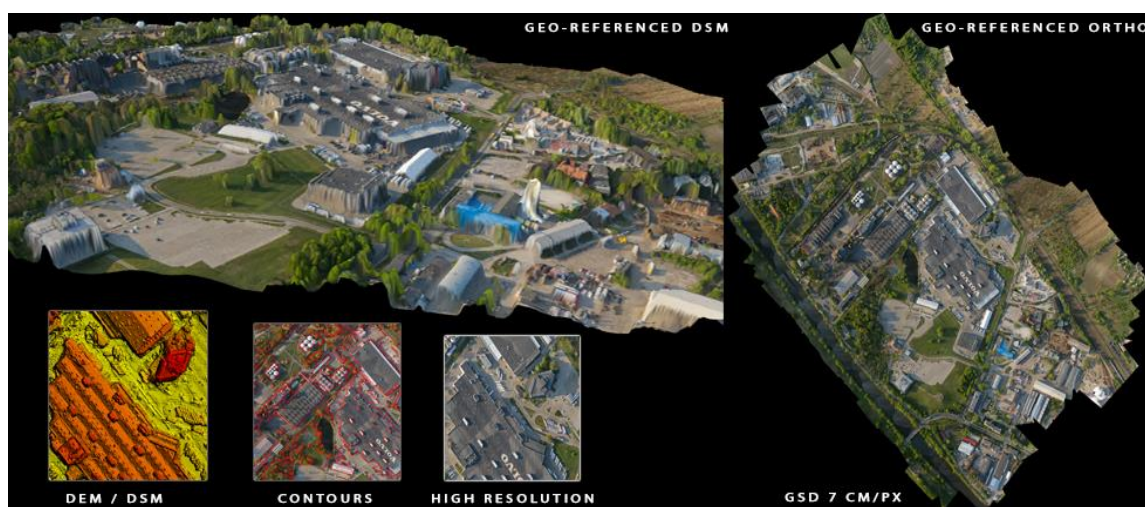
Profesionální firmy často využívají bezpilotní prostředky pro zajištění následujících leteckých prací.

3.6.1.1. Výškové inspekce

V této oblasti drony často nahrazují vysokozdvizné plošiny, případně vrtulníky. Bepilotní prostředky jsou bezpečnější a často také efektivnější alternativou pro provádění inspekci v těžko dostupných lokalitách (např.: větrné elektrárny, vedení vysokého napětí, vysílače...). Výstupem takové inspekce běžně bývají fotografie a 4K videa z TV kamer. Případně foto a video výstupy ze speciálních termokamer, které mohou sloužit například k analýze tepelně-izolačních vlastností budov.

3.6.1.2. Geo služby

Letecké mapování, kontrola dodržování územního plánu, 3D mapy, ortofoto...



Obr. 50 GEO služby - ortofoto, tepelná anlyza... (landofdrones.com [40])

3.6.1.3. Letecké video

Profesionální firmy jsou už několik let schopné s pomocí UAV natočit špičkové letecké záběry. Využívají k tomu speciálních dronů, jejichž pořizovací náklady se pohybují ve stovkách tisíc korun. Jejich provozní náklady jsou ovšem minimální. Ve srovnání s pořizovacími a provozními náklady vrtulníku, jsou to pak zanedbatelné částky.

„Naše videa vypadají stejně, jako ta natočená z helikoptéry. Pouze samotná výroba je desetkrát levnější.“ [40]

3.6.1.4. Fotografie

Letecké fotografování díky dronům získalo nový rozměr. Profesionální stroje jsou schopné unést nejmodernější “zrcadlovky” a s jejich pomocí pořizovat fotografie, které jsou díky nižším vibracím mnohdy kvalitnější, než jaké je možné pořídit z vrtulníku.

Na následujícím obrázku je profesionálně používaná okto-koptéra SkyhawkRC-F900, vybavená zatahovacím podvozkem (pro nerušený záběr do všech směrů). Gimbal se třemi stupni volnosti v podvěsu nese profesionální fotoaparát. Hříbovitá anténa, která nápadně vyčnívá z její konstrukce, je přijímač GNSS signálu. Pořizovací cena tohoto stroje (bez gimbalu a fotoaparátu), se pohybuje kolem 150 000 Kč.



Obr. 51 Profesionální oktokoptyra SkyhawkRC-F900 (aliexpress.com [41])

3.7. Rekreační využití

V posledních několika letech se objevují UAV, určená pouze pro zábavu.

Trendem mezi modely letadel a rekreačními bezpilotními létajícími prostředky, jsou v současnosti většinou hotové "sady". Tyto sady jsou dodávány již od výrobce zcela naprogramované a připravené k letu. Často bývají prodávány včetně vysílače.

V případě strojů určených výrobcem pro letecké snímkování a FPV, bývají vybaveny kamerovou výstrojí a různými zařízeními pro přenos kamerového signálu v reálném čase. Pořizovací náklady na takové sady hotových modelů se pohybují od několika stokorun do desítek tisíc. Záleží především na typu dronu, jeho výkonech a kvalitě použitých komponentů.



Obr. 52 Komerčně dostupné rekreační a poloprofesionální modely (Hobby King[39])

Skutečnost, že je v současnosti široce dostupné takové množství sofistikovaných létajících “hraček“ s sebou bohužel přináší mnoho potenciálních rizik. Navíc může vyvolávat negativní pohled veřejnosti, na létání s dálkově řízenými stroji.

Pokud si například úplný laik, bez předchozích zkušeností, pořídí jako první létající stroj vysoce výkonný dron. Nedostane se mu žádného poučení od prodejce, protože například nakoupil přes internet. Návodů nevěnuje dostatečnou pozornost, případně upozornění v něm obsažená ignoruje. S prostředkem létá v blízkosti osob a majetku. Často si navíc ani neuvědomuje, že se dopouští protizákonného jednání.

Tento způsob chování logicky dříve, nebo později, povede k ohrožení zdraví a majetku třetích osob. Případně také k právním postihům vůči takovému jedinci. Co je ovšem horší, vyvolává takové chování špatné veřejné mínění a vede ke zpříšňování předpisů, které ovšem ve finále omezují především uvědomělé uživatele.

Tento příklad je pochopitelně nejhorší možnou variantou chování a autor věří, že většina majitelů těchto strojů by se něčeho podobného nedopustila. Nicméně bohužel už se s takovým přístupem ve své modelářské praxi setkal.

Na druhé straně existuje ještě poměrně silná skupina “pravověrných modelářů“, kteří si své stroje z různých důvodů raději staví od základu sami, pouze s využitím profesionálně vyráběných komponentů palubní elektroniky. Případně využívají za základ pro stavbu svých strojů stavebnice a polotovary, které mají v nabídce modelářské firmy.

Následující kapitoly zmiňují několik zajímavých způsobů rekreačního využití dronů.

3.7.1. Rekreační letecké snímkování

Současná generace nejdražších rekreačních dronů určených pro AP, už je schopna profesionálním strojům velmi dobře konkurovat. Příkladem mohou být špičkové výrobky firmy DJI, které jsou právem považovány za vrcholné představitele rekreačních a poloprofesionálních UAV. Jejich pořizovací ceny ovšem těmto kvalitám odpovídají

Jedním z nejlepších rekreačních dronů současnosti je stroj DJI Mavic Pro. Jeho pořizovací cena se pohybuje okolo 32 000 Kč.

„DJI Mavic Pro je malý, přesto výkonný dron. Kompaktní schránka uchovává vysoce komplexní technologii, která z Mavic Pro dělá doposud nejsofistikovanější létající kameru DJI. 24 výkonných výpočetních jader, zcela nový systém pro přenos s dosahem až 7 km, 5 optických senzorů a 4K kamera s tříosým stabilizovaným závěsem čekají na váš povel, stačí stisknout tlačítko nebo poklepat na displej.“ [42]



Obr. 53 DJI Mavic Pro (obchodsdrony.cz [42])

Jedna z nejzajímavějších technologií, kterou má tento UAV implementováno, je výrobcem nazývána Flight Autonomy. Jedná se o systém, který díky 5 optickým senzorům, dokáže autonomně rozpoznávat překážky až do vzdálenosti 15m. Díky tomu je dron může obletět, případně se před nimi zastavit a viset na místě. [42]

Díky vestavěným sensorům je také schopen lépe udržovat svou polohu v prostoru. Tato poloha je běžně stabilizována pomocí satelitní navigace. Pokud se tedy dron dostane do místa bez příjmu signálu ze satelitů, není schopen přesného polohování pomocí GPS. Díky vyhodnocení signálu z předních a spodních optickými senzory, je toho však schopen. Mavic tak může přesně viset a pohybovat se i uvnitř budov, případně na místech bez příjmu signálu GNSS. [42]

Další zajímavou funkcí je tzv. Active Track. V tomto módu je Mavic schopen následovat člověka, jehož tvář byla při iniciaci rozpoznána. Je tedy možné odložit vysílač a využívat drona pro dnes tolik populární selfie záběry, během různých aktivit.

“Nepotřebujete filmový štáb když používáte Mavica, protože vše co potřebujete je ActiveTrack. Stačí označit toho, koho chcete natáčet a ActiveTrack se postará o zbytek, můžete tak natáčet jako profesionál.” [42]

Některé módy dokonce umožňují ovládání drona pouze pomocí gestikulace rukou.

„Když je Mavic ve vzduchu a vy jste v záběru, vše co potřebujete pro pořízení momentky je jednoduché gesto. S Mavicem v módu Gesta si tak můžete pořídit unikátní selfie.“ [42]

Schopnosti rekreačních bezpilotních prostředků pro letecké snímkování se budou v následujících letech jistě stále více přibližovat schopnostem profesionálních strojů.

Jedním z cílů jejich výrobců je také miniaturizace těchto strojů, aby bylo možné je jednoduše přenášet v kapse a využít je tak prakticky kdekoli (s ohledem na legislativní omezení).

3.7.2. Létání FPV

FPV – First Person View (létání z pohledu první osoby) je trendem, který se mezi modely letadel a koptéry začal prosazovat přibližně od roku 2005. Do širokého povědomí se ovšem dostává až v posledních několika letech.

Přenos signálu z modelu se obvykle realizuje pomocí wifi. K jeho zobrazení potom stačí libovolný smartphone, případně tablet. Sofistikovanějším způsobem zobrazení jsou speciální brýle, které dovedou zobrazovat trojrozměrný obraz a umožňují tak pilotovi snazší orientaci v prostoru a odhad vzdáleností.

Následující obrázek ilustruje způsob pilotáže pomocí 3D brýlí a několik typů komerčně dostupných bezpilotních strojů pro FPV. Nejčastěji to bývají quadrokoptéry, můžeme se ovšem setkat také s modely letounů různé koncepce. Zajímavý je způsob výnosu obrazu do 3D brýlí. Některé systémy umožňují zobrazení telemetrických údajů, které získávají data od palubní řídicí jednotky. Zobrazení ve 3D brýlích potom připomíná HUD, používaný u skutečných letounů.



Obr. 54 FPV quadrokoptéra, samokřídlo, letoun a výnos do brýlí (Hobby King [39])

3.7.3. Závodění s drony

Od létání FPV byl už jenom krok ke vzniku nové kategorie, kterou jsou závodní drony. Rychlý sportovní dron je vybaven kamerou, podobně jako stroje pro FPV. Její obraz ovšem musí být přenášen s menším zpožděním, aby pilotovi umožňoval manévrování ve vysokých rychlostech (až 150km/h).

Během závodů jsou vytyčeny tratě, které obsahují povinné brány a pylony. Cílem potom samozřejmě je, proletět danou trať co nejvyšší rychlostí a porazit tak soupeře. Jedná se o velmi adrenalinový sport, který ale potenciálně může být také dost nebezpečný. Zvláště pak kategorie Unlimited, kde létají stroje s hmotností do 0,91kg. Důležité je proto pečlivé zajištění závodní trati a prostorů pro diváky.

Ovšem piloti těchto strojů také potřebují před závodem pravidelně trénovat. Málokdo má k dispozici uzavřenou a zabezpečenou závodní trať. Jedním ze způsobů, jak snížit nebezpečnost této kategorie, je snížení hmotnosti závodních strojů. Díky miniaturizaci elektroniky a kamerového vybavení, je dnes možné postavit závodní koptéry s hmotností okolo 20g. S těmito stroji (označovanými Micro racers) je pak možné trénovat reflexy prakticky kdekoliv.



Obr. 55 Micro závodní drony (oscarliang.com [43])

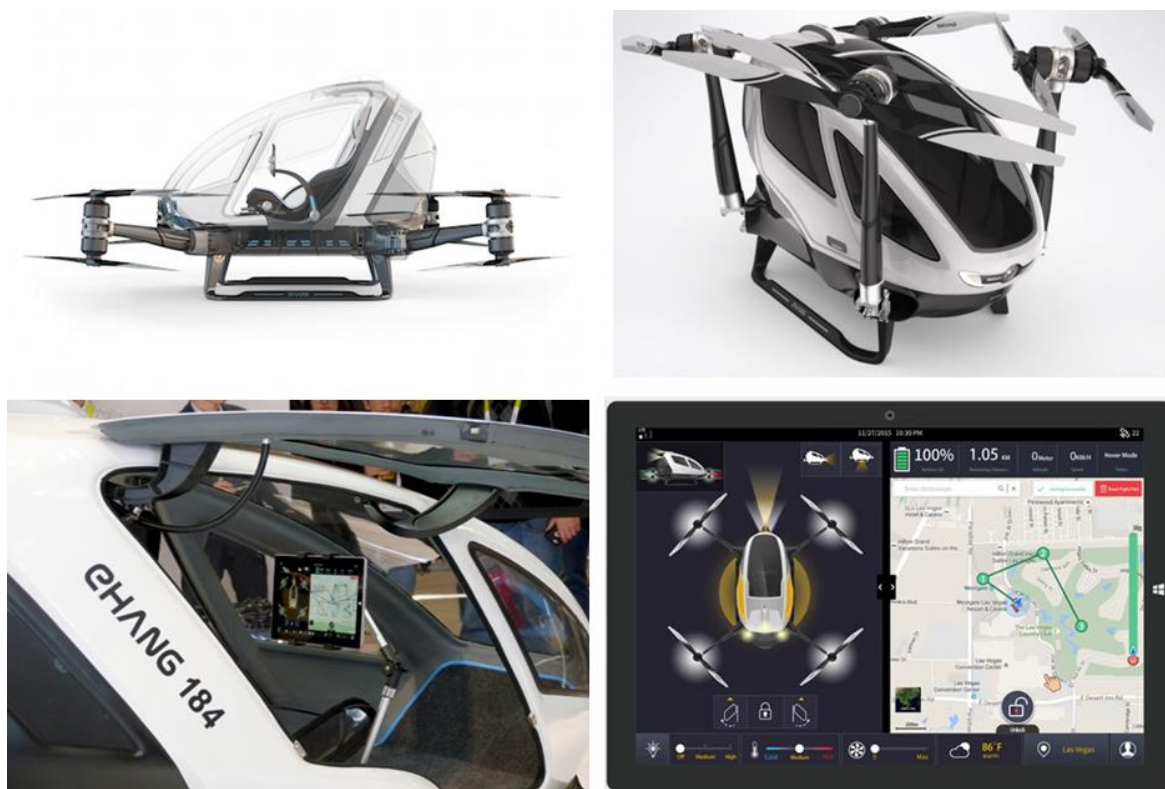
3.8. Nejnovější koncepce

3.8.1. Přeprava osob

Čínský výrobce dronů, společnost Ehang, představil dron pro osobní přepravu. Na veletrhu spotřební elektroniky CES 2016 v Las Vegas, přivezl prototyp oktokopty, nesoucí název Ehang 184.

Společnost stroj označuje jako Personal Flying Vehicle (PFV) a sériová verze by měla být schopná unést jednu dospělou osobu (max 100 kg). Její dolet (při MTOM 184kg) by měl činit 16 km a vytrvalost letu by měla být až 23 minut. Maximální cestovní rychlost by se měla pohybovat kolem 100km/h. [44]

„The prototype model at CES 2016 features a carbon fiber epoxy composite body and aluminum alloy frame with four arms and eight electric propellers to offer 142 hp of effective lifting power. the battery pack holds 14.4 kWh of energy and takes as long as four hours to charge.“ [45]



Obr. 56 Bezpilotní prostředek pro osobní dopravu Ehang 184 (ehang.com [45])

Řízení stroje by mělo být plně automatické. Volbu trati bude možné zadávat pomocí dotykového displeje. Cestující si tak jednoduše naprogramuje, kam si přeje letět. Autopilot s integrovaným satelitním navigačním systémem, se pak postará o zbytek. Displej během letu funguje jako pohyblivá mapa a dále může zobrazovat údaje o rychlosti, výšce, aktuální poloze, energetické zásobě v bateriích, proudových odběrech motorů... [44] Nicméně vzhledem ke koncepci prostředku, by tyto údaje byly spíše informativní povahy.

„The 12-inch touchscreen display simplifies destination selection with an automated flight system that will take over and manage tasks such as air traffic communication, obstacle avoidance, and navigation. The onboard computer will consistently select the quickest and safest path between the current location and the destination.“ [45]

Výrobce Ehang na svých stránkách tvrdí, že E184 je konstruován jako plně zálohovaný prostředek. Jeho koncepce “dvojitě quadroptéry“, by mu měla propůjčovat vysokou bezpečnost. Díky ní by totiž měl být schopen bezpečného letu a vynuceného přistání i po vysazení jednoho z motorů.

V případě jakékoliv poruchy, by měl dron aktivovat systém FAIL SAFE. Začít se vznášet na místě a na základě analýzy okolí, pomocí palubních televizních a termovizních kamer, vyhledat bezpečné místo pro přistání.

Tento koncept má před sebou ještě velmi dlouhou cestu do reálného provozu a stav, v jakém je zatím prezentován, nevzbuzuje v autorovi příliš důvěry.

3.8.2. Biologická ochrana letiště

Vzhledem k ohrožení provozu které představují ptáci, pro vzletající a přistávající letadla, mají mezinárodní letiště zajištěnou biologickou ochranu.

Tato ochrana cílí na snížení pravděpodobnosti výskytu ptactva v perimetru letiště. Snižuje se tak pravděpodobnost střetu letadel s ptáky (bird strike). K odhánění ptáků z okolí letiště se dnes většinou používají pyrotechnické prostředky, akustické metody (pouštění nahrávek hlasů dravých ptáků) a sokolníci se zvláště vycvičenými dravci.

„Česká a zahraniční letiště by před ptactvem a zvěří mohly v budoucnu hlídat drony využívající hlasy dravců. S nápadem, který vyhrál národní kolo soutěže European Satellite Navigation Competition 2015, přišel Ladislav Bartuška z katedry dopravy a logistiky Vysoké školy technicko ekonomické v Českých Budějovicích (VŠTE).“ [46]

Tato koncepce kombinuje některé dosavadní metody (například akustické odhánění ptactva) s mobilitou dronu. Speciální UAV by měl být vybaven softwarem pro částečně autonomní řízení, v reakci na pohyb ptactva v jeho okolí. Díky technologii GNSS by měly být drony schopny spolupracovat navzájem v rámci zabezpečeného prostoru, aniž by došlo k ohrožení letového provozu. [46]

„Každý bezpilotní prostředek bude mít navíc na palubě kameru, která zároveň umožní monitorovat ostatní bezpečnostní parametry v okolí letiště. Lze tak zamezit i narušení letového provozu jinými civilními drony.“ [46]

Další funkcí, kterou by tyto drony mohly zajišťovat, je zabezpečení perimetru letiště před pozemním narušitelem.



Obr. 57 Koncept hexakoptéry pro odhánění ptactva (Deník Právo 9.11. 2015 [46])

3.8.3. Záchrané práce v náročném interiéru

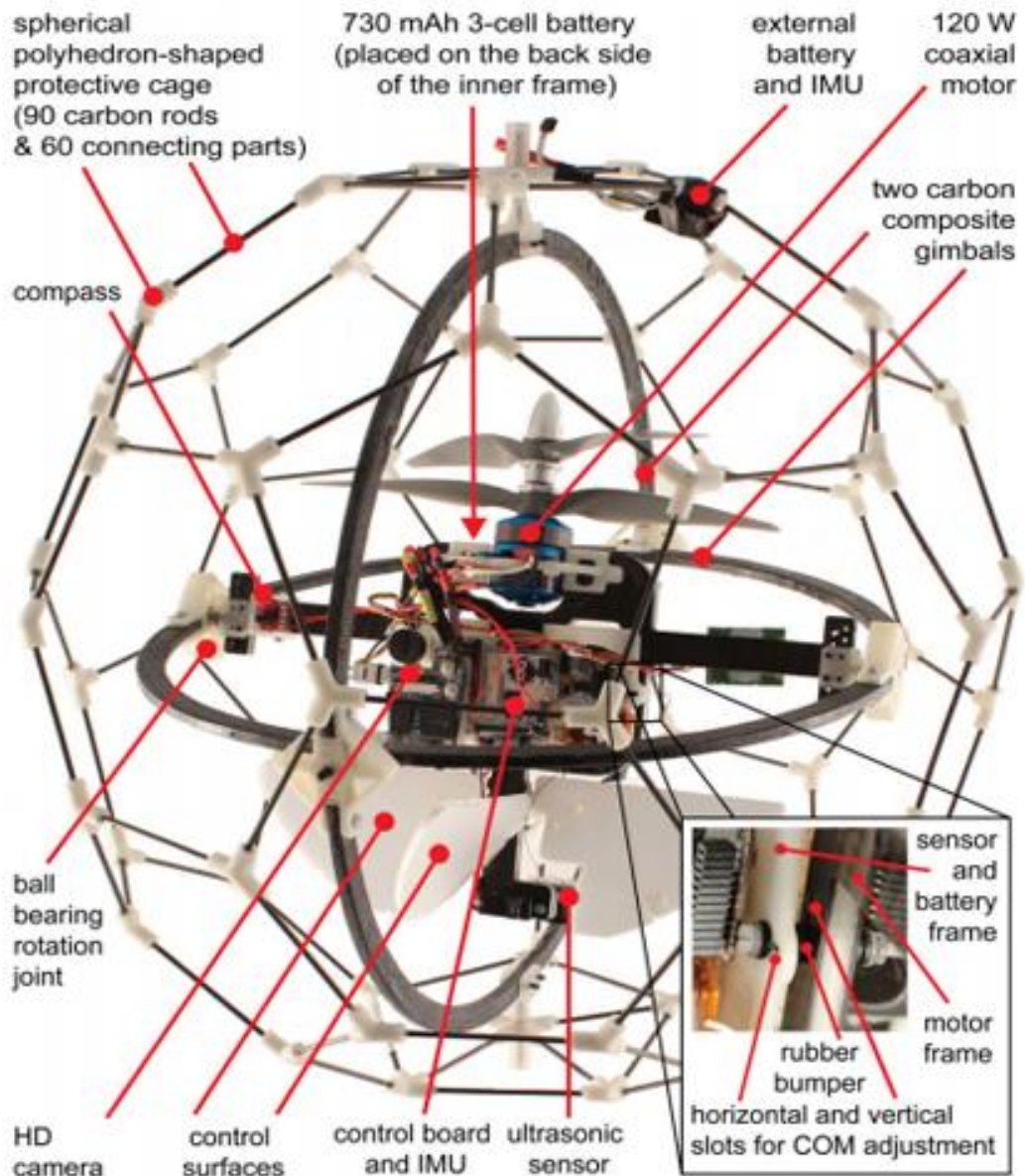
Unikátní konstrukce dronu pro SAR, výrobek Švýcarské firmy Flyability, vyhrála hlavní cenu v soutěži Drones for Good contest 2015, konané ve Spojených Arabských Emirátech. UAV Flyability využívá unikátní coaxiální dvoumotorové konstrukce, která je umístěná v kardanově rámu s kulovou mříží, tvořící jeho ochranný obal. [47]

„Like other drones, Gimball offers incredible maneuverability, but the design here is unique. Surrounded by a geodesic cage which makes Gimball look a little like a flying gyroscope, the rugged framework keeps the drone itself safe from collisions whilst also protecting humans in the vicinity.“ [47]

Mezi unikátní vlastnosti tohoto dronu, které jsou dány jeho koncepcí, patří schopnost operovat v interiéru i exteriéru. Díky ochranné kleci je schopen pohybu ve stísněných prostorách a ve velmi členitém terénu, který by byl pro ostatní prostředky zcela nepřístupný. Klec ho navíc činí velmi odolným proti nárazu a prakticky neumožňuje zranění osob, které by s ním během záchranných operací mohly přijít do kontaktu.



Obr. 58 Let prostředku Gimball skrz ledovou průrvu (designboom.com [47])



Obr. 59 Konstrukce dronu Gimball (designboom.com [47])

4. Předpisová základna:

Vzhledem k současnému značně dynamickému vývoji tohoto odvětví musí být tvůrci předpisů, týkajících se bezpilotních prostředků, schopni velmi pružně reagovat.

Předpisová základna pro provoz dronů zahrnuje :

- Mezinárodní letecké předpisy
- Zákon o civilním letectví s příslušnými prováděcími vyhláškami
- Předpisy související s využitím rádiového spektra
- Zákon o ochraně osobních údajů (pokud je dron vybaven kamerou/fotoaparátem)

S ohledem na prostorové možnosti této práce se autor v dalších kapitolách zaměří především na jeden z doplňků k předpisu L2–Pravidla létání.

Je jím doplněk X – BEZPILOTNÍ SYSTÉMY.

Tento dokument totiž představuje nejzásadnější legislativní rámec pro létání s drony.

4.1. Doplněk X - BEZPILOTNÍ SYSTÉMY

Následující kapitola cituje Doplněk X [23], pro vyšší přehlednost textu byly vynechány klasické citační znaky.

Kapitola předkládá souhrn několika nejzásadnějších částí tohoto doplňku, číslování kapitol a obrázků je zachováno dle originálu. Pro zvýšení přehlednosti jsou nejdůležitější zásady pro praktické létání zvýrazněny tučně.

3. Bezpečnost

3.1 Let bezpilotního letadla smí být prováděn jen takovým způsobem, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti létání ve vzdušném prostoru, osob a majetku na zemi a životního prostředí.

4. Dohled pilota

S výjimkou, kdy ÚCL povolí jinak, musí být bezpilotní letadlo provozováno v přímém dohledu pilota, tj. takovým způsobem a do takové vzdálenosti, aby:

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

5. Odpovědnost

5.1 Za provedení bezpečného letu, včetně předletové přípravy a kontroly, je odpovědná osoba, která bezpilotní letadlo dálkově řídí (bez ohledu na úroveň automatizace systému řízení letu) nebo v případě modelu letadla s maximální vzletovou hmotností do 20 kg, který není dálkově říditelný, osoba, která jej vypustila do vzdušného prostoru (pro účely tohoto doplňku dále jen „pilot“).

5.5 Za zachování letové způsobilosti bezpilotního systému je odpovědný jeho vlastník.

6. Ukončení letu

6.1 Bepilotní letadlo musí a model letadla s maximální vzletovou hmotností 0,91 kg až 20 kg by měl pilotovi umožnit za okolností, které by mohly vést k ohrožení dle ust. 3, zasáhnout do průběhu letu nebo let ukončit.

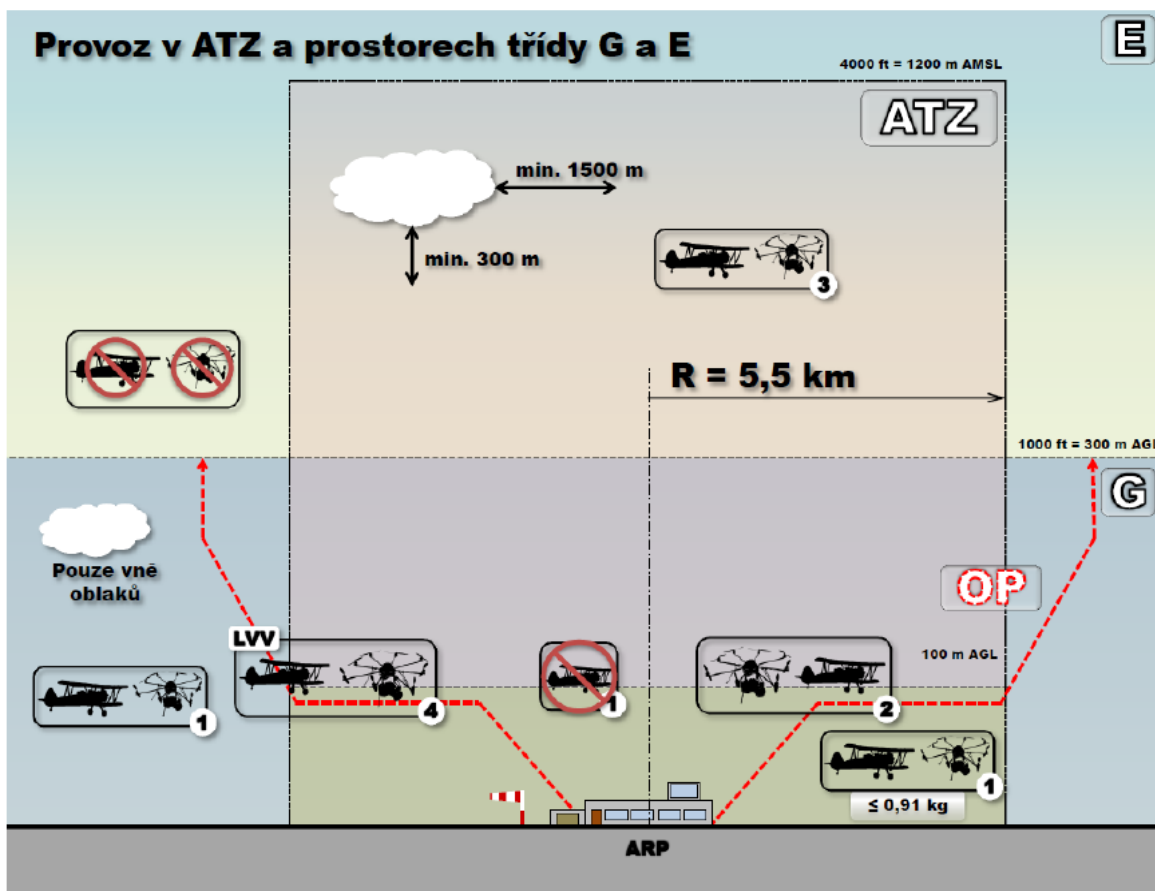
6.4 Použití automatických systémů řízení letu nezbavuje pilota odpovědnosti za bezpečné provedení celého letu.

7. Prostory

7.1 Nepovolí-li ÚCL jinak, smí být let bezpilotního letadla a/nebo modelu letadla prováděn jen v následujících prostorech:

a) ve vzdušném prostoru třídy G (viz obrázek 1);

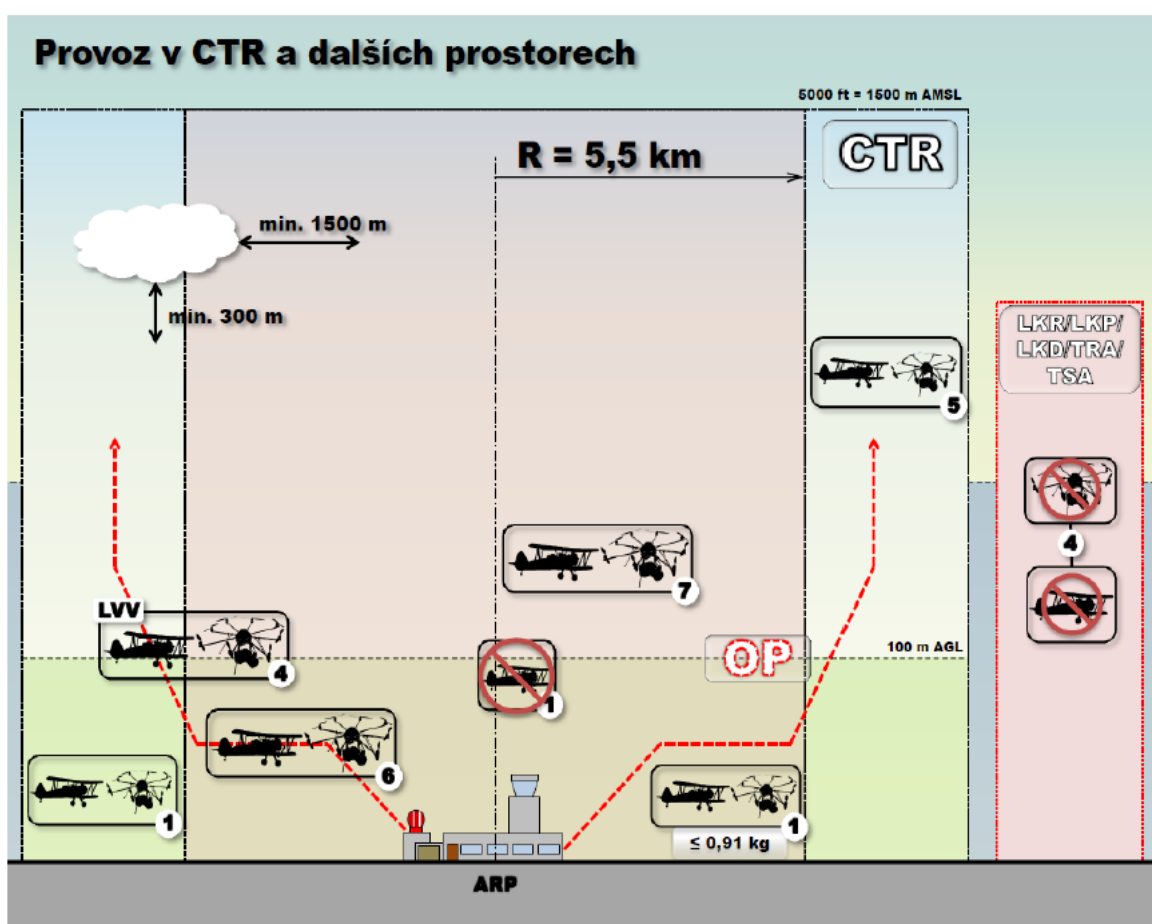
b) v letištní provozní zóně (ATZ) neřízeného letiště na základě splnění podmínek stanovených provozovatelem letiště a na základě koordinace s letištní letovou informační službou (dále jen AFIS), se stanovištěm poskytování informací známému provozu nebo s provozovatelem letiště, není-li AFIS nebo poskytování informací známému provozu zajištěno. Nad vzdušným prostorem třídy G lze v ATZ lety provádět jen pokud se poskytuje AFIS nebo je zajištěno poskytování informací známému provozu. Let bezpilotního letadla anebo modelu letadla s maximální vzletovou hmotností do 0,91 kg může být prováděn v ATZ i bez koordinace, avšak pouze do výšky 100 metrů nad zemí a mimo ochranná pásma daného letiště (viz obrázek 1)



Obrázek 1

Obr. 60 Provoz v ATZ a prostorech G a E (Doplněk X [23])

c) v řízeném okrsku (CTR a MCTR) letiště do výšky 100 metrů nad zemí, s výjimkou povolení příslušného stanoviště řízení letového provozu a v horizontální vzdálenosti větší než 5 500 m od vztažného bodu řízeného letiště, s výjimkou, kdy tak povolí ÚCL nebo v případě leteckých prací a leteckých veřejných vystoupení na základě koordinace s příslušným stanovištěm řízení letového provozu a provozovatelem letiště. Let bezpilotního letadla a/nebo modelu letadla s maximální vzletovou hmotností do 0,91 kg může být prováděn v řízeném okrsku bez koordinace i v menší vzdálenosti od letiště, avšak pouze do výšky 100 metrů nad zemí a mimo ochranná pásma daného letiště (viz obrázek 2).



Obrázek 2

Obr. 61 Provoz v CTR a dalších prostorech (Doplněk X [23])

7.3 Minimální výšky letu, se pro lety bezpilotních letadel a modelů letadel neuplatňují.

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

8. Ochranná pásma

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

9. Meteorologická minima

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

11. Shazování nákladu

Bezpilotní letadlo nesmí být použito ke shazování předmětů za letu, kromě leteckých veřejných vystoupení a soutěží, včetně příprav na ně, jsou-li přijata přiměřená opatření proti ohrožení dle ust 3.

12. Pohyb pilota

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

16. Další podmínky pro provoz bezpilotního letadla

Při provozu bezpilotního letadla musí být dodrženy následující podmínky, pro přehlednost uvedené v Tabulce 1 (Pozn. Autora: červeně je zvýrazněný sloupec týkající se dvou níže zmiňovaných modelů)

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

Obr. 62 Tabulka shrnující požadavky pro provoz dronů v ČR (Doplněk X [23])

4.2. Shrnutí omezení a zásad pro létání s drony, plynoucích z doplňku X

Pokud využíváme UAV pro rekreační účely, je pro nás kritická hmotnost 0,91 kg. Nad touto hmotností musí být dron vybaven systémem pro bezpečné ukončení letu, tedy funkcí Fail Safe. Níže popisované modely do této kategorie spadají a jsou vybaveny základním systémem Fail Safe.

Maximální výška letu UAV je (mimo TMA, CTR, ATZ...) **300m AGL**, tedy prostor třídy G.

V průběhu vzletu a přistání se bezpilotní prostředek nesmí přiblížit k osobě, která není účastníkem jeho provozu, na méně než **50 metrů horizontálně**. Za letu musí být dodržena bezpečná vzdálenost od osob a staveb (nad MTOM vyšší než 7kg, dále definováno).

Definována je také minimální vzdálenost od oblačnosti **1500m horizontálně a 300m vertikálně bez ohledu na hmotnost dronu**.

Před létáním je velmi důležité zjistit, jaká výšková omezení platí v oblasti, kde s dronem chceme létat. Pro piloty je to naprostá samozřejmost, ale většina rekreačních modelářů nemá nejmenší tušení o existenci prostorů jako jsou TMA, CTR, ATZ, TSA, P...

Ke zjištění omezení v daném místě může posloužit platná letecká mapa ICAO 1:500 000, tu ale asi většina modelářů nevládní. V praxi tedy lépe internetový portál AisView, který navíc poskytuje údaje o aktivaci/plánované aktivaci jednotlivých prostorů.

Podle názoru autora je aktuální předpisová základna, týkající se provozu UAV, nastavena správně. Trochu horší je to s informovaností široké modelářské veřejnosti.

Tento stav se pokouší změnit ÚCL prostřednictvím svojí osvětové kampaně. Její součástí je také zveřejnění seriálu natočeného AirZone TV. Jedná se o seriál krátkých klipů, které nenáročnou formou vysvětlují danou problematiku. Jejich zpracování je na velmi dobré úrovni a určitě mohou přispět k celkové osvětě na téma drony, a to nejen mezi jejich provozovateli, ale také mezi širokou veřejností.

5. Vývoj a konstrukce modelu letadla pro AP „Letoun“:

5.1. Zkušenosti autora s konstrukcí modelů letadel

Stavbě a létání s modely letadel se autor věnuje už od dětství. Postupně se od jednoduchých házedel a modelů na pohon gumovým svazkem, dopracoval až k RC modelům letadel. Během 15 let jich navrhnul, zkonstruoval a postavil několik desítek.



Obr. 63 Ukázka několika létajících modelů postavených autorem (Autor)

5.2. Zkušenosti autora s leteckým fotografováním

Autor získal svou první pilotní licenci (GLD) v roce 2009. Od roku 2014 je držitelem licence PPL(A) a také licence ULL(A). V současnosti aktivně létá s celkově 12 typy motorových letounů, historických letounů a s jejich replikami. Velmi záhy se začal zajímat o letecké fotografování a pořizování videí s leteckou tematikou pomocí akčních kamer.

Akční kamery SJ4000 a SJ4000wifi, které autor používá pro snímkování z modelů, jím byly primárně pořízeny pro natáčení videí a pořizování leteckých fotografií ze skutečných letounů. Jejich malé rozměry a nízká hmotnost (bez příslušenství cca 60g) však umožňují i jejich využití v dronech.

Zkušenosti s leteckým fotografováním posloužily autorovi jako základ, pro návrh a konstrukci dále popisovaných speciálů.



Obr. 64 Letecké fotografie pořízené autorem za použití SJ 4000 (Autor)

5.3. Motivace pro konstrukci tohoto modelu

Hlavní motivací ke konstrukci speciálního modelu pro letecké snímkování byla snaha pořizovat kvalitní záběry míst, která z různých důvodů není možné vyfotografovat ze skutečného letadla. Pořizování fotografií z modelu má navíc, oproti fotografování z letounu, výhodu daleko větší mobility a je také podstatně ekonomičtější.

5.3.1. První pokusy se snímkováním z modelů

Prvním pokusy s montáží akční kamery (SJ 4000 WIFI) na model letadla začal autor podnikat v roce 2014. Kameru postupně připevnil na několik svých modelů, jejichž pohon měl potřebný tah, aby zvýšenou zátěž unesl. Důležitým předpokladem byla také dostatečná nosná plocha modelů, aby zvýšené plošné zatížení nehrozilo nadměrným zhoršením jejich letových vlastností.

Nejlepších výsledků bylo dosaženo u polomakety vysokovýkonného motorizovaného větroně Arcus E, jehož stavebnici vyrábí česká modelářská firma RCM Pelikán.

Skutečný větroň Arcus E je vybaven pomocnou pohonnou jednotkou. Tvoří ji elektromotor, umístěný spolu s vrtulí na zatažitelném pylonu. Odtud také písmeno E v názvu větroně. Podobně jako předloha je i její model poháněn elektromotorem na sklopném pylonu.



Obr. 65 Stavebnice modelu Arcus E, (www.pelikandaniel.com [48])

Tento motorizovaný větroň je autorovým třetím modelem postaveným ze stavebnice. Jeho letové vlastnosti byly pro něj velmi příjemným překvapením. Proto se také rozhodnul pro využití modelu jako platformy k pokusům s leteckým snímkováním.

Model má velký rozsah rychlostí letu a na ztrátu rychlosti a následné překročení kritického úhlu náběhu reaguje velmi klidně a naprosto čitelně. Nemá snahu svévolně přecházet do vývrtky a je schopen ji samovolně vybírat během jedné otočky po spuštění pák vysílače. Jeho pilotáž by měl zvládnout i mírně pokročilý pilot modelů.

Výborné letové vlastnosti tohoto modelu mimo jiné umožnily pořízení následujícího snímku. Autor v ten den neměl k dispozici žádného fotografa, a tak levou rukou pilotoval model do průletu a druhou fotografoval. Model i autor tuto akci přežili bez úhony.



Obr. 66 Arcus E s vysunutým motorovým pylonem (foto a pilotáž autor)

Model Arcus E je především díky uspořádání pohonu poměrně vhodný i pro zájemce o letecké snímkování. Po montáži akční kamery SJ 4000, která má spolu s ochranným krytem a montážní přírubou hmotnost přibližně 170g, se letová hmotnost modelu zvýšila na 1070g.

Plošné zatížení tak vycházelo cca na 37g/dm². Zatímco původní hodnota byla 31g/dm². To tedy znamená zvýšení plošného zatížení o téměř 20%.

Kvůli vyššímu plošnému zatížení se samozřejmě mírně zvýšila minimální rychlost, klesla stoupavost v motorovém letu a kvůli nárůstu škodlivého odporu se také zvýšilo minimální opadání a zkrátila se vytrvalost letu.

Na bezpečnost letu modelu však tyto změny neměly výrazný vliv, pouze se zkomplikovala jeho pilotáž při nízkých rychlostech a zvýšily se požadavky na velikost plochy pro provedení manévru na přistání a uspořádání překážek kolem ní.

Během provozu tohoto modelu jako stroje pro letecké fotografování bylo odzkoušeno několik variant montáže kamery, tyto varianty jsou popsány níže. Dále následuje shrnutí zkušeností z provozu tohoto modelu jako platformy pro letecké snímkování.

Tabulka se základními údaji o modelu Arcus E [48]

| | |
|---------------------------------------|--|
| 2222 mm | |
| Délka | 1000mm |
| Letová hmotnost | 800-1025g |
| Plocha křídla | 28,6 dm ² |
| Motor | střídavý C2626 |
| Regulátor | 20 A součástí balení |
| <u>Sekvence</u> pro zasunutí podvozku | součástí balení |
| Počet <u>serv</u> | 7x mikro 9g + 1x 35g (pylon) |
| Ovládané prvky | otáčky motoru včetně jeho vysunutí/zasunutí |
| | křídélka |
| | směrovka |
| | <u>výškovka</u> |
| | brzdy |
| | zatažení podvozku |
| Akumulátor | <u>LiPol 3S cca 1200-1800 mAh</u> - není součástí balení |

5.3.2. Montáž na horní části trupu, pohled do přední polosféry



Obr. 67 Montáž kamery na trupu, pohled vpřed (Autor, Arcus E)

5.3.3. Montáž na trupu, pohled přes křídlo



Obr. 68 Montáž kamery na trupu, pohled přes křídlo (Autor, Arcus E)

5.3.4. Montáž pod trupem, snímání přední polosféry



Obr. 69 Montáž kamery pod trupem modelu (Autor, Arcus E)

5.3.5. Shrnutí zkušeností z provozu tohoto modelu

Létání s kamerou připevněnou na horní části trupu nepřinášelo žádné zvláštní požadavky na pilotáž, pouze bylo nutné počítat se zvýšeným opadáním modelu a vyšším plošným zatížením. Tyto faktory bylo nutné zohlednit během rozpočtu na přistání.

Při letech s kamerou instalovanou na trupu a snímající přes křídlo bylo nutné kompenzovat zatáčivý moment daný asymetrickým škodlivým odporem trupu, který kamera připevněná mimo osu modelu vyvozovala. Tento moment bylo třeba kompenzovat směrovým kormidlem a vhodnou pilotáží.

Montáž kamery pod trupem poskytuje ničím nerušené záběry. Z pohledu využití modelu jako prostředku pro letecké snímkování je tento způsob ideální. Na druhou stranu s sebou tento způsob montáže nese vyšší riziko poškození kamery a modelu při přistání.

V průběhu letových zkoušek s kamerou upevněnou pod trupem přistával autor většinou chycením modelu do ruky za trup. Jedná se o poměrně složitý a potenciálně nebezpečný manévr. Rozhodně ho nelze provozovat jako jediný možný způsob přistávání modelu. Pokud to konfigurace terénu dovolí, je možné provádět přistání pádem na minimální rychlosti např. do hlubokého sněhu, vzrostlé trávy, obilí, apod. Nicméně není to určitě dlouhodobě použitelný způsob montáže kamery na tomto typu modelu.

Další překážkou pro efektivní používání modelu Arcus E pro pořizování záběrů ze vzduchu jsou jeho rozměry a z nich plynoucí citlivost na poškození. V případě zatížení kamerou má model poměrně vysokou minimální rychlost. Díky aerodynamické jemnosti má navíc velkou tendenci vyplavávat v přízemním efektu. Tyto vlastnosti komplikují provádění rozpočtu na přistání a zvyšují zranitelnost modelu při přistávání do terénu.

Spolu s pevnou konstrukcí přední části trupu je navíc poměrně vysoké nebezpečí zranění, případně poškození majetku při nehodě.

Z těchto důvodů se autor rozhodl pro konstrukci speciálního modelu, který bude nadále používat pro letecké snímkování a jehož stavba tvořila praktickou část této diplomové práce. V konstrukci tohoto speciálu využívá autor své letité zkušenosti v oboru funkční modelařiny. Jeho cílem je postavit bytelný letoun, použitelný pro letecké snímkování ze středních a vyšších výšek (od 50m, do 300m AGL, viz. dodatek X).

5.4. Stanovení základních parametrů modelu “Letoun“

Tento model navrhnul a zkonstruoval autor na základě zkušeností s výše popisovaným motorovým větroněm Arcus E a s jeho provozem jako modelu pro letecké snímkování. “Letoun“ byl tedy zkonstruován především s důrazem na schopnost pořizovat kvalitní záběry ze vzduchu.

První fází konstrukce tohoto modelu byla rozvaha nad jeho základními aerodynamickými vlastnostmi. Autor při ní vycházel ze svých mnohaletých praktických zkušeností s létajícími modely letadel a z výpočtů zmiňovaných v publikacích a odborných časopisech, zabývajících se konstrukcí a aerodynamikou modelů letadel.

Jednou z nejkompexněji zpracovaných knih věnovaných této problematice je letitá publikace Letecké modelářství a aerodynamika od Ing. Hořeního a Ing. Lněničky.

„Řešení aerodynamiky modelu jako celku je poměrně obtížný úkol. Proto model (ale i skutečný letoun) často rozdělujeme na jednodušší části, jejichž charakteristiky lze snáze stanovit.“ [49]

5.5. Konstrukce modelu

5.5.1. Návrh základní koncepce

Vzhledem k tomu, že tento model je účelový a už od začátku byl autorem vyvíjen jako speciál pro letecké snímkování, je jeho konstrukce řešena co možná nejúčelověji. Podle několika zásadních, ale občas poněkud protichůdných požadavků.

Požadavky na konstrukci modelu

- **Stabilita**
- **Dostatečná nosnost užitečného zatížení**
- **Nerušený záběr nesených kamer**
- **Vysoká pasivní bezpečnost provozu**
- **Snadná přepravitelnost**
- **Rychlá příprava k letu**
- **Dobrá viditelnost modelu při letu ve větších výškách (do 300m AGL)**

Následující kapitoly týkající se aerodynamiky modelu byly zpracovány především na základě publikace *Letecké modelářství a aerodynamika*, Ing. Bohumil Hoření, Ing. Jaroslav Lněnička, Naše vojsko Praha, 1977 [49]

5.5.2. Aerodynamika nosných ploch

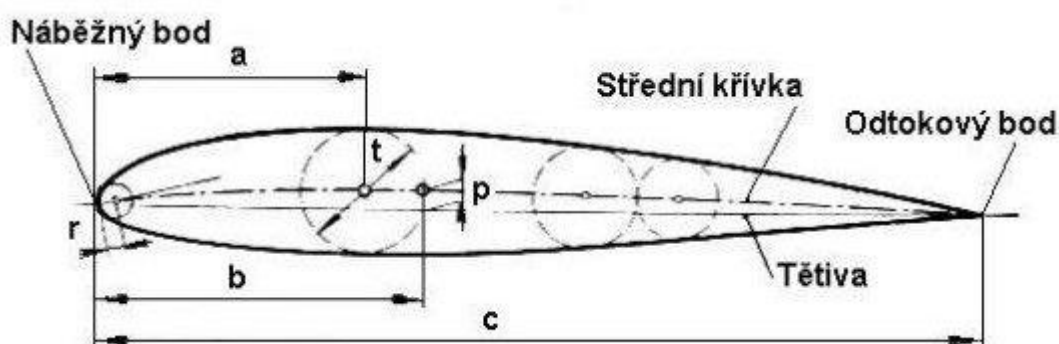
Rozhodující vliv na letové vlastnosti modelu letounu mají aerodynamické charakteristiky jeho křídla. Hlavním úkolem křídel (neboli nosných ploch) je vytvářet vztlak při co možná nejmenším odporu.

Prvořadým účelem křídla letounu je vytvořit při dopředném pohybu aerodynamickou sílu (vztlak), která bude působit kolmo na směr pohybu, tedy proti přitažlivosti Země. Tato síla překonáním gravitace umožní letounu jeho let. Aby křídlo svou funkci správně plnilo, musí mít ve směru obtékajícího proudu tvar křídlového profilu.

5.5.2.1. Profil křídla

Profil je uzavřená křivka, která tvoří vnější obrys křídla ve směru nabíhajícího proudu. Geometrický tvar profilu má rozhodující vliv na rozložení aerodynamických sil na křídle a tím také na výkony a letové vlastnosti letounu (modelu). Zkoumání profilů křídel je starší než letectví samo. Jejich výzkum vedl v průběhu rozvoje letectví k vytvoření rozsáhlé kolekce profilů, vhodných pro nejrůznější typy letounů a pro nejrůznější účely jejich použití.

Základní terminologie profilu křídla



Obr. 70 Profil křídla (e-magazín Akademie letectví [50])

5.5.2.2. Reynoldsovo číslo

Reynoldsovo číslo (Re) je bezrozměrná veličina, která dává do souvislosti setrvačné síly a viskozitu. Je jedním z podobnostních čísel, která se používají při zkoumání proudění tekutin (kapalin i plynů).

S jeho pomocí je možné určit, zda je proudění tekutiny laminární a nebo turbulentní. Čím je Reynoldsovo číslo vyšší, tím nižší je vliv třecích sil částic tekutiny na celkový odpor.

K rozlišení laminárního proudění od turbulentního se používá Reynoldsovo číslo dané vztahem

$$\text{Re} = \frac{v_s d}{\nu}$$

d - dynamický průřez trubice

v_s - střední hodnota rychlosti proudění kapaliny v daném průřezu

ν - kinematická viskozita tekutiny (vzduch = 1,5041E-05 m²/sec)

Zatímco pro nízké hodnoty Re platí, že proudění v mezní vrstvě je převážně laminární, při vysokých hodnotách **Re**, bývá toto proudění především turbulentní.

Hranice mezi těmito dvěma případy se označuje jako kritická hodnota Reynoldsova čísla. Tato hodnota je různá pro různé typy obtékaných těles a zjišťuje se experimentálně. Pro kouli obtékanou vzduchem se většinou kritické Reynoldsovo číslo uvádí jako 400 000. Aerodynamicky vhodně tvarované profily mívají kritické Re řádově menší. **[49]**

Pozn. Autora : (Kritická hodnota Re u profilu NACA 4412, který byl zvolen při aerodynamickém návrhu tohoto modelu, se pohybuje kolem 50 000- 70 000). **[51]**

Pro zajištění dobrých letových vlastností modelu je vhodné, aby se při svém letu v běžných cestovních rychlostech pohyboval v nadkritických Re.

5.5.2.3. Určení plošného zatížení a výpočet velikosti nosné plochy

Plocha křídla je jednou ze základních charakteristik letadla a zásadně ovlivňuje jeho letové vlastnosti. Stejně jako je tomu u skutečných strojů, tak i letové vlastnosti modelů jsou velmi závislé na ploše křídla a z ní vyplývajícím plošném zatížení. Na základě všeobecné dohody je plocha křídel skutečných letadel (i modelů) určována spolu s částí "skrytou" v trupu.

Při návrhu tohoto modelu byla plocha křídla vypočtena na základě zvoleného plošného zatížení. Tento výpočet je naznačen dále.

Plošné zatížení (Wing Load - WL) určuje poměr maximální vzletové hmotnosti MTOM ku ploše křídla S.

$$WL = \frac{MTOM}{S}$$

U velkých letadel se plošné zatížení běžně udává v kg/m², v modelářské praxi se používají jednotky g/dm². Ovšem pozor, plošné zatížení může sloužit ke srovnání mezi letadly (jejich modely), pouze pokud se za letu pohybují v podobných Reynoldsových číslech (Re).

Volba velikosti plošného zatížení a z něj vyplývající plochy křídla, byla provedena na základě empirických zkušeností autora.

Následující hodnoty plošného zatížení vycházejí z autorových praktických zkušeností a zhruba platí pro modely letadel o rozpětí křídel přibližně 1,5m a hloubce SAT (15 – 20)cm.

Plošné zatížení 10-25g/dm²

Pomalý model, který umožňuje dlouhou reakční dobou pilota. Tato hodnota plošného zatížení je charakteristická pro tzv. parkflyery, případně elektrovětroně a modely pro základní výuku létání. Takový model je vhodný do klidných podmínek, případně do mírného větru a citlivě reaguje i na slabé termické proudění.

Plošné zatížení 30-50g/dm²

Rychlejší model s vyšší přistávací rychlostí. Tato hodnota plošného zatížení odpovídá klasickým cvičným, případně akrobatickým modelům. Přináší lepší pronikavost proti větru a možnost bezpečně létat do větru o rychlosti cca 8m/s.

Plošné zatížení 60-100g/dm²

Rychlý model. Pilot musí věnovat zvýšenou pozornost udržení dostatečné rychlosti letu. S tímto plošným zatížením běžně létají polomakety a makety stíhacích letadel z období 2. světové války. O takových modelech se často prohlašuje, že se musí "držet na rychlosti".

Plošné zatížení 150-300g/dm²

S tímto plošným zatížením létají modely současných vojenských letounů s turbínovým pohonem. Tyto modely jsou velmi náročné na pilotáž.

Ideální plošné zatížení pro tento model by se mělo pohybovat kolem **30-40g/dm²**. Takové WL by mělo zajistit dostatečnou pronikavost proti větru, odolnost proti drobným turbulencím a dostatečně klidný letový projev. Ten je základním předpokladem, pro pořizování kvalitních záběrů.

Pro další výpočty byla tedy zvolena střední hodnota **WL = 35g/dm²**

Prvním údajem, který bylo nutné spočítat, byla velikost plochy křídla **S**.

Při plošném zatížení uvažovaném jako **35g/dm²** a při předpokládané maximální vzletové hmotnosti **MTOM = 1300g**.

$$WL = \frac{MTOM}{S} \dots S = \frac{MTOM}{WL} \dots S = \frac{1300}{35} = 37$$

Vycházela potřebná plocha křídel na **37 dm²**.

Určení Rozpětí křídel tohoto modelu vycházelo z požadavku na jeho dobrou viditelnost za letu ve větších výškách (rozpětí křídel 1800-2200mm).

S ohledem na výše zmiňované požadavky, bylo rozpětí křídel modelu stanoveno na 2m (tedy **20dm**).

$$SAT = \frac{S}{b} \dots SAT = \frac{37}{20} = 1.85$$

Pro dané rozpětí křídel tedy vychází hloubka střední aerodynamické tětiny **SAT = 1,85dm**, tedy 0,185m. (SAT = délka tětiny ekvivalentního obdélníkového křídla).

Hodnota SAT byla dále důležitá pro výpočet Re a volbu profilu křídla.

S ohledem na snížení aerodynamického odporu modelu a umožnění jeho co možná nejlepší pronikavosti proti větru bylo zvoleno použití lichoběžníkového půdorysného tvaru křídla.

Základní vzorec pro určení plochy lichoběžníkového křídla vypadá následovně:

$$S = (l_0 + l_1) / 2 * b$$

S - Plocha křídla

l₀ - Hloubka křídla u kořene

l₁ - Hloubka křídla na špičce

b - Rozpětí křídla (včetně části zakryté trupem)

Hloubka kořenového žebra křídla byla z pevnostních důvodů zvolena jako **l₀ = 2,5dm**

$$S = \frac{l_0 + l_1}{2} * b$$

$$l_1 = 2 * \frac{S}{b} - l_0 = 2 * \frac{37}{20} - 2,5 = 1,2$$

Po dosazení do výše uvedeného vztahu, vychází hloubka koncového žebra **l₁ = 1,2dm**, tedy 0,12m.

5.5.2.4. Volba ideálního profilu křídla

Prvním krokem bylo určení předpokládaného rozptylu Reynoldsových čísel, ve kterém se model bude s největší pravděpodobností za letu pohybovat.

K výpočtu těchto hodnot posloužil program Airfoil Tools [51]

Použití tohoto programu se autorovi velmi osvědčilo během návrhu jeho předchozích modelů.

| | | | | |
|--|--|-------------------|-----------------------------|-----------|
| Velocity | <input type="text" value="5"/> | m/s | 11.185 mph | 18 kph |
| Chord width | <input type="text" value="0.185"/> | m | 0.60696 ft | 7.2835 in |
| Kinematic Viscosity | <input type="text" value="1.4207E-5"/> | m ² /s | 1.529e-4 ft ² /s | |
| Reynolds Number | 65,109 | | | |
| <input type="button" value="Calculate"/> | | | | |

| | | | | |
|--|--|-------------------|-----------------------------|-----------|
| Velocity | <input type="text" value="20"/> | m/s | 44.739 mph | 72 kph |
| Chord width | <input type="text" value="0.185"/> | m | 0.60696 ft | 7.2835 in |
| Kinematic Viscosity | <input type="text" value="1.4207E-5"/> | m ² /s | 1.529e-4 ft ² /s | |
| Reynolds Number | 260,435 | | | |
| <input type="button" value="Calculate"/> | | | | |

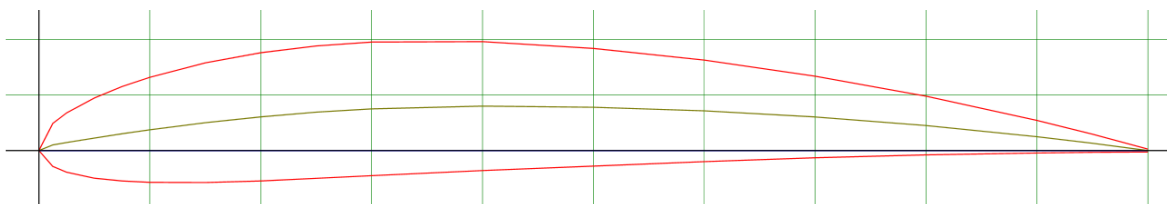
Obr. 71 Určení Re modelu (airfoiltools.com [51])

Jako ideální profil pro dané plošné zatížení, hloubku křídla a předpokládaný rozptyl běžných rychlostí letu, byl (na základě výstupů z programu Airfoil Tool) zvolen profil NACA 4412.

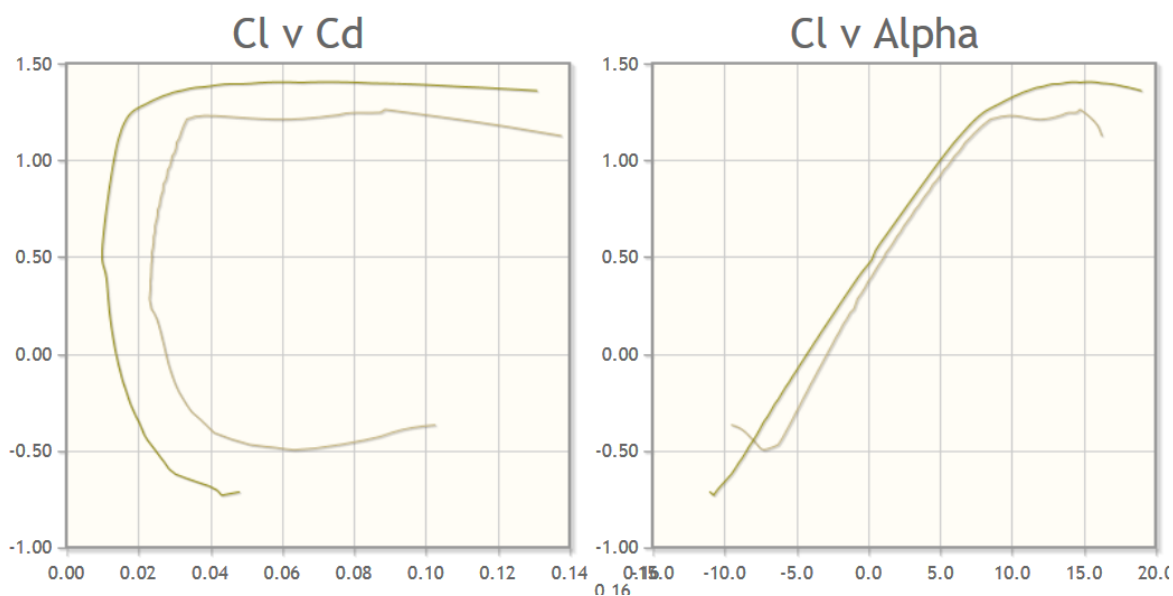
Tento profil by měl být v oboru daných rychlostí letu obtékán převážně nadkriticky.

Základní tvar profilu je vykreslen na následujícím obrázku. Následuje průběh vztlakové čáry a poláry. Tyto hodnoty platí pro rozptyl Re 50,000 až 200,000, což pro hloubku střední aerodynamické tělavy 185mm odpovídá rychlostem letu zhruba 5-20m/s.

Maximální násobek pro daný výpočet byl zvolen $N_{crit} = 5$. Vzhledem k určení modelu se během běžného létání nepředpokládá dosahování větších násobků zatížení.



| Plot | Airfoil | Reynolds # | Ncrit | Max Cl/Cd | Description |
|-------------------------------------|-------------|------------|-------|-----------------------------|----------------|
| <input type="checkbox"/> | naca4412-il | 50,000 | 9 | 33.4 at $\alpha=9.75^\circ$ | Mach=0 Ncrit=9 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | naca4412-il | 50,000 | 5 | 36.1 at $\alpha=8.5^\circ$ | Mach=0 Ncrit=5 |
| <input type="checkbox"/> | naca4412-il | 200,000 | 9 | 78.1 at $\alpha=7^\circ$ | Mach=0 Ncrit=9 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | naca4412-il | 200,000 | 5 | 76.6 at $\alpha=6^\circ$ | Mach=0 Ncrit=5 |



Obr. 72 Aerodynamické vlastnosti profilu NACA 4412 při daných Re a max násobcích $N_{crit} = 5$ (airfoiltools.com [51])

5.5.3. Volba uspořádání modelu

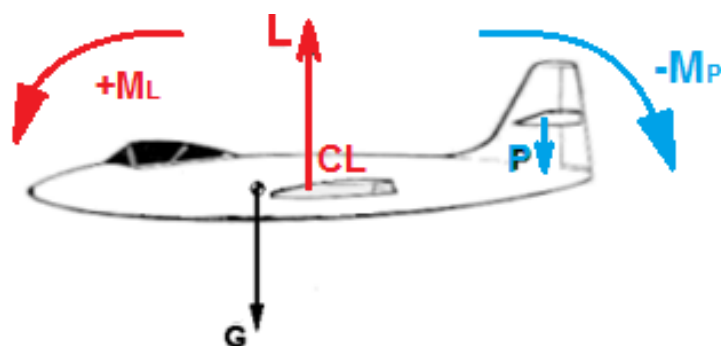
Vývoj letectví přinesl různá uspořádání letounů. Bezocasé (samokřídla), letouny s kachním uspořádáním (canard), tandemové dvouplošníky... Nicméně klasické uspořádání většiny letounů zachovává vodorovnou ocasní plochu umístěnou na zádi. Toto uspořádání bylo zvoleno i pro popisovaný model.

Aby byl letoun s klasickým uspořádáním přirozeně stabilní, bez využití pomocných prostředků umělé stability (Fly-By-Wire), musí se těžiště za letu vždy nacházet před působišťem aerodynamických sil na křídle.

Zatímco působišť aerodynamických sil se za letu mění (v rozmezí běžných letových úhlů náběhu se posouvá vpřed se vzrůstajícím úhlem náběhu a vzad s jeho zmenšováním). Poloha těžiště by měla u modelu s pohonem elektrickým motorem zůstat prakticky neměnná. Možnost posunu těžiště za letu přichází v úvahu u modelu s pohonem spalovacím motorem, u kterého spotřeba paliva může způsobovat drobné změny polohy těžiště.

„Velikost úhlu seřízení křídla vůči VOP je volena tak, aby ve všech ustálených režimech letu vznikala na VOP vyvažovací síla opačného směru než síla vztlaková na křídle.“ [49]

Vztlak L vůči těžišti vyvolává klopivý moment "těžký na hlavu", zatímco vyvažovací síla P na VOP vyvozuje aerodynamický moment "těžký na ocas". V ustáleném režimu letu jsou tedy oba momenty v rovnováze, jak názorně ilustruje následující obrázek



Obr. 73 Rovnováha momentů při rovnovážném ustáleném letu (kresba Autor)

5.5.4. Stabilita

Základním požadavkem při konstrukci tohoto modelu byla co možná nejvyšší směrová a stranová stabilita. Díky ní pilot nemusí tolik pozornosti věnovat samotné pilotáži a může se více soustředit na pořízování kvalitních záběrů.

Stabilitu modelu dělíme na podélnou a příčnou. Tyto dva typy stability jsou spolu ovšem velmi úzce svázány a vzájemně se ovlivňují.

5.5.4.1. Podélná STABILITA

Podélná stabilita letadla (modelu) závisí především na těchto faktorech

- Aerodynamické vlastnosti křídla
- Plocha VOP
- Profil VOP
- Rameno mezi VOP a křídlem
- Úhel nastavení ψ
- Poloha těžiště

5.5.4.1.1. Aerodynamické vlastnosti křídla

Aerodynamické a momentové vlastnosti křídla jsou popsány v předchozí kapitole.

5.5.4.1.2. Plocha VOP

Pokud konstruujeme účelový model letadla, měla by se plocha VOP pohybovat kolem 12% - 20% nosné plochy. [49] U tohoto modelu má plocha VOP velikost cca 17% nosné plochy.

5.5.4.1.3. Profil VOP

Profil vodorovné ocasní plochy by měl mít menší tloušťku než profil křídla kvůli zajištění účinného obtékání. Kvůli momentovým vlastnostem by měl mít také menší prohnutí střední čáry. Velmi často nemají profily VOP, zejména u řízených modelů letadel, prohnutí žádné. Používají se pro ně profily rovné desky.

5.5.4.1.4. Rameno mezi VOP a křídlem

Rameno mezi křídlem a VOP se u modelů většinou stanovuje na základě empirických vztahů. Jedno z těchto pravidel říká, že vzdálenost mezi čtvrtinovýmí body středních aerodynamických tětv křídla a VOP by neměla být menší než asi trojnásobek střední geometrické hloubky křídla. [49] U tohoto modelu činí tato vzdálenost přibližně pětinasobek střední geometrické hloubky křídla.

5.5.4.1.5. Úhel nastavení ψ

ψ představuje úhel mezi tětvou křídla a VOP. Volí se podle použitého profilu křídla. U tohoto modelu činí cca 3° (Doporučený úhel pro NACA 4412)

5.5.4.1.6. Poloha těžiště

Následující empiricky odvozené poučky slouží pro přibližné seřízení modelu a určení polohy jeho těžiště. Ve většině případů se v praxi přesná poloha těžiště modelu a jeho seřízení určuje až během fáze zalétávání. [50]

Symetrické profily

Obecně u těchto profilů vychází poloha těžiště do cca 25% hloubky střední aerodynamické tětvy křídla. Úhel seřízení těchto profilů bývá 0° .

Turbulentní profily s jednoduchými prohnutími střední čáry do cca 4%

Poloha těžiště by měla ležet cca ve 30% hloubky střední aerodynamické tětvy křídla. Úhel seřízení u tohoto typu profilů, by se měl pohybovat kolem $3,5^\circ$.

Turbulentní profily s jednoduchými prohnutími střední čáry větším, než cca 4%

Pro profily s větším prohnutím, než 4% může optimální poloha těžiště až kolem 50% hloubky střední aerodynamické tětvy křídla. Úhel seřízení u tohoto typu profilů křidel, bývá většinou přibližně 2° .

5.5.4.2. Příčná stabilita

„Při pohybu letadel jsou spolu svázány klonivé, klopivé a zatáčivé pohyby. Výsledným pohybem je pak pohyb stranový. Pro něj je důležitá velikost vzepětí nosné plochy, mohutnost SOP, úhel náběhu křídla, šípovitost nosné plochy a rozložení hmot letadla.“

[50]

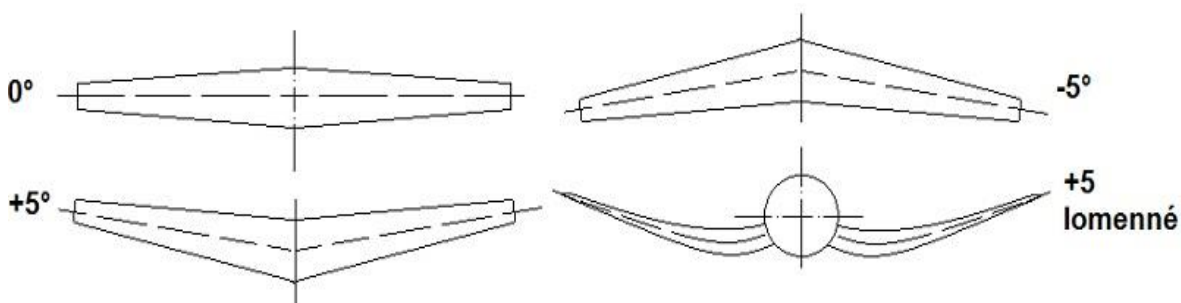
5.5.4.2.1. Vzepětí křídel

Jednou z vlastností nosné plochy, která má významný vliv na stranovou stabilitu, je vzepětí křídel. Tímto pojmem je míněn úhel, který vůči sobě svírají poloviny křídla, při pohledu ve směru podélné osy letounu.

Nejjednodušším případem vzepětí křídel je vzepětí nulové, které se obvykle používá v konstrukci akrobatických letounů.

Vzepětí křídel většiny letounů je řešeno jako lomená přímka. Lomení bývá zpravidla jednoduché v místě spojení polovin křídla, případně vícenásobné (centroplán). Složitější tvary vzepětí jsou zastoupeny různými křivkami (Minimoa, F4U Corsair...).

Tyto křivky bývají kombinovány s přímkovými částmi křídel. V následujícím obrázku jsou naznačeny některé nejpoužívanější formy vzepětí křídel.

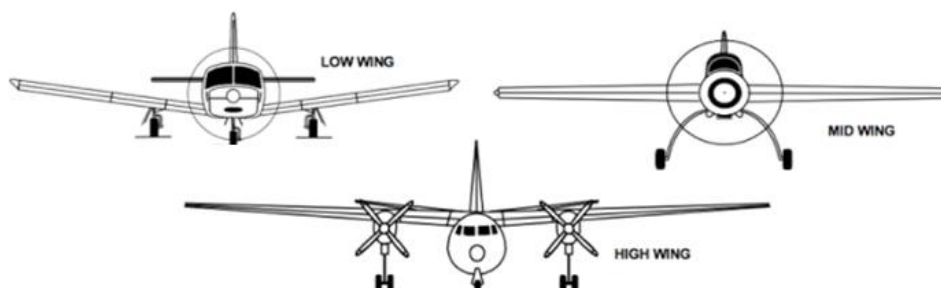


Obr. 74 Nejběžnější typy vzepětí křídel (kresba Autor)

Velikost vzepětí křídel závisí na mnoha faktorech a u modelů letadel se jeho velikost většinou určuje empiricky. Obvyklé hodnoty vzepětí křídel modelů se pohybují kolem +3° až +8°. [49]

5.5.4.2.2. Poloha křídla vůči trupu

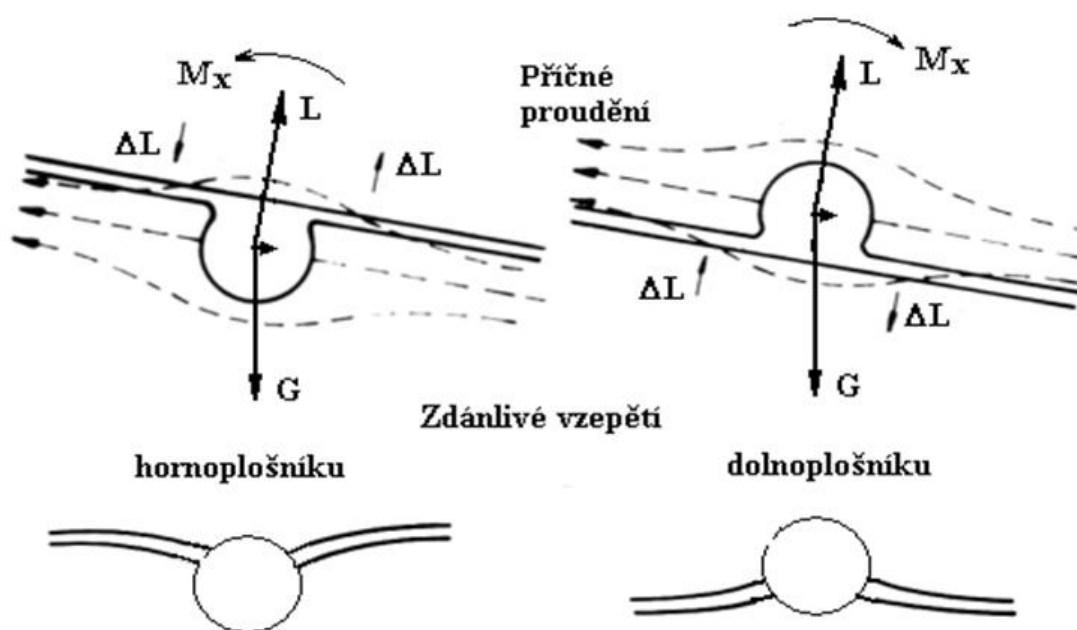
Na stabilitu letounu má dále vliv poloha křídla vůči jeho trupu. Letouny dělíme podle uspořádání na hornoplošníky (high-wing) , středoplošníky (mid-wing) a dolnoplošníky (low-wing).



Obr. 75 Typy uspořádání křídel vůči trupu (aviationclass.wordpress.com [52])

Poloha křídla ovlivňuje stabilitu letounu díky vlivu příčné složky proudění, která vyvolává tzv. zdánlivé vzepětí a díky vzájemné poloze křídla a těžiště v příčném řezu letounem.

Pokud dojde za letu k vybočení modelu, příčná složka rychlosti vybočeného letu vyvolává příčné proudění, naznačené čárkovanými proudnicemi. Tento příčný proud obtéká trup a je trupem dále deformován (viz. následující obrázek) [53]



Obr. 76 Vliv uspořádání křídla na příčnou stabilitu (Vliv uspořádání křídla... [53])

Z obrázku 76 je zřejmé, že příčné obtékání křídla hornoplošníku má účinek obdobný, jako obtékání křídla s kladným vzepětím. [53]

- Hornoplošné uspořádání tedy zvětšuje efektivní vzepětí. U kořene dolního křídla vzniká kladný přírůstek vztlaku, zatímco u kořene křídla opačného vztlak poklesne. Nerovnováha vztlaku na obou křídlech vyvolává klonivý moment M_x , který působí proti náklonu, který bočení letounu vyvolal a vrací letoun do vodorovné polohy.
- Dolnoplošné uspořádání má vliv destabilizující, letoun se chová jakoby křídlo mělo vzepětí záporné, vzniklý klonivý moment se snaží počáteční náklon zvětšovat.
- Středoplošník se chová indiferentně, boční obtékání u něj klonivý moment nevyvolává.

“Předpokládáme-li, že křídlo nemá vzepětí, je příčné proudění mimo oblast trupu rovnoběžné s křídlem a nemá na jeho obtékání ve směru letu z pohledu stability podstatnější vliv. Ovšem deformace příčného proudu v oblasti trupu již na obtékání křídla vliv má a tento vliv je stejný, jako by bylo obtékáno deformované křídlo (křídlo se zdánlivým vzepětím) nedeformovaným proudem.” [53]

Dalším prvkem, který má významný vliv na stabilitu letounu (modelu) a který je ovlivněn polohou křídla a trupu, je svislá vzdálenost působíště vztlaku a polohy těžiště letounu.

Požadavku na co možná nejvyšší stabilitu tedy nejlépe odpovídá uspořádání tohoto modelu jako hornoplošníku. Jeho těžiště by pak mělo být umístěno pokud možno co nejnižše, pod působíštěm vztlaku. Vzepětí křídel ve statickém stavu bylo zvoleno + 5°.

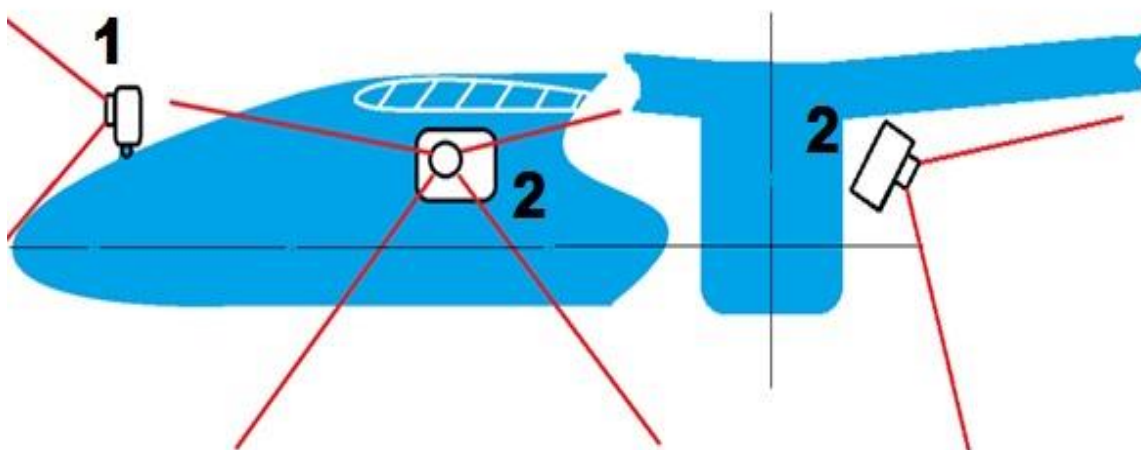
5.5.5. Nerušený záběr nesených kamer

Na základě zkušeností s provozem modelu Arcus vybaveným kamerami zvolil autor dva základní směry záběru nesených kamer. Je jím pohled do přední polosféry a snímání do boku a dolů, případně pouze dolů. Toto uspořádání kamer zajišťovalo během provozu modelu Arcus nejkvalitnější záběry snímaných lokalit.

Vzhledem k primárnímu určení modelu bylo velmi důležité, aby záběry kamer nebyly pokud možno ničím rušeny, z toho vyplývá několik konstrukčních schémat :

- Uspořádání pohonu s tlačnou vrtulí (točící se vrtule působí v záběru velmi rušivě)
- Zatahovací podvozek, případně jiná než klasická konstrukce podvozku
- Hornoplošné uspořádání (možnost montáže kamery pro boční snímkování a nerušené snímkování spodní polosféry)
- Minimální vibrace v provozu

Následující obrázek ukazuje montáž kamery 1 pro snímání přední polosféry a kamery 2 pro boční snímkování (ve svislém řezu odklon cca 40° od svislé osy modelu). Uložení kamery 2 umožňuje také její natočení do jiného sklonu vůči svislé ose modelu a pořizování záběrů spodní polosféry.



Obr. 77 Rozvaha o umístění kamer na budoucím modelu (Autor)

5.5.6. Vysoká pasivní bezpečnost provozu

Dalším požadavkem na model byla jeho co možná největší bezpečnost provozu a odolnost při vzletech a přistáních v "polních podmínkách". Tento požadavek ovlivnil především materiál použitý na jeho stavbu. (EPP)

Dále ovlivnil volbu uspořádání ocasních ploch do písmene T. Toto uspořádání totiž snižuje pravděpodobnost poškození ocasní části při přistání do terénu a usnadňuje transport modelu (odnímatelná VOP).

Z tohoto požadavku vychází také konstrukční uspořádání přistávacího zařízení ve formě jednostopého dvoukolého podvozku. Podvozek modelu je koncipován podobně jako podvozky větroňů.

Klasicky uspořádaný, případně tricyklový podvozek, by byl příliš náchylný na poškození a narušoval by pořizované záběry. Zatažitelný podvozek, o jehož konstrukci autor původně také uvažoval, by byl v provozu zbytečně komplikovaný a přidával by modelu na hmotnosti.

5.5.7. Snadná přepravitelnost

Model byl od začátku konstruován s důrazem na snadnou přepravitelnost.

Uspořádání konstrukce by mělo umožňovat jeho přepravu v zavazadlovém prostoru, případně na zadních sedadlech malého osobního automobilu. Snadný transport umožňuje využití modelu k pořizování leteckých záběrů v různých zajímavých lokalitách.

5.5.8. Rychlá příprava k letu

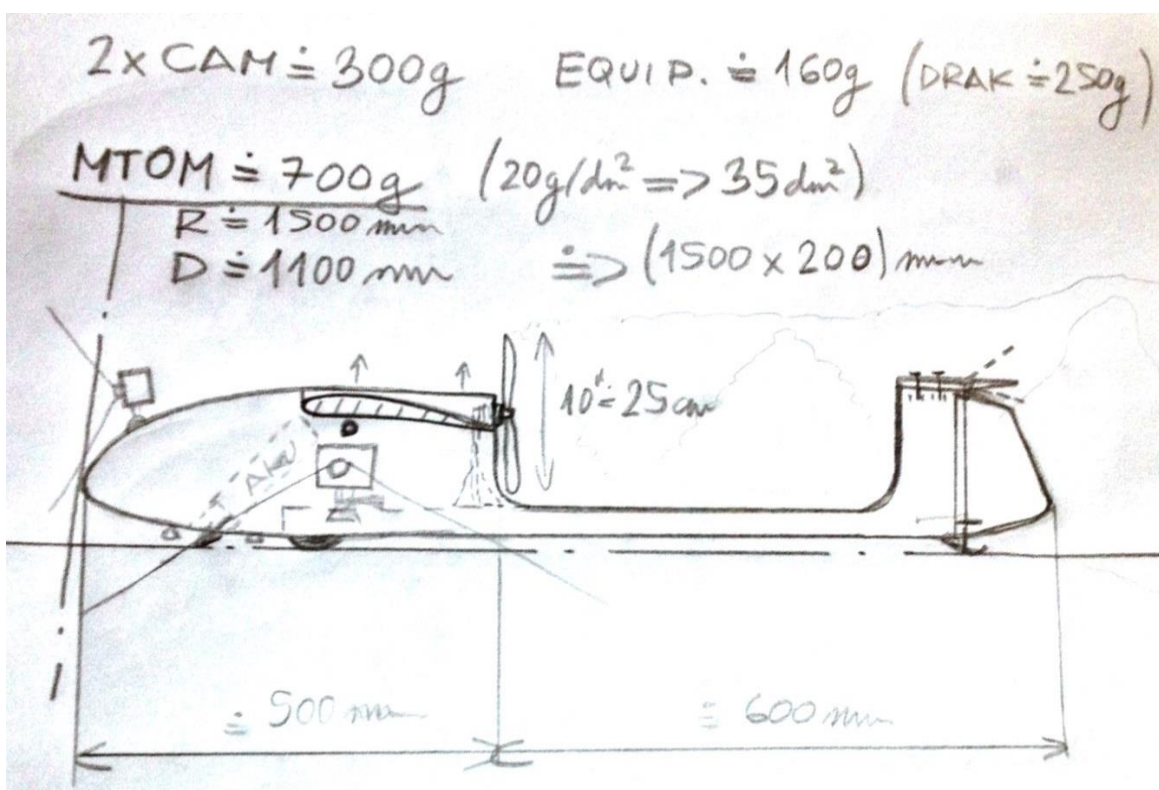
Dalším důležitým faktorem při úvahách nad koncepcí modelu byla snaha o minimalizaci času potřebného na přípravu k letu. Sestavení modelu by nemělo zabrat více než 3 minuty.

5.5.9. Zvolené uspořádání a materiál modelu

Z požadavků zmiňovaných v předchozím textu tedy vycházelo nejlépe uspořádání modelu jako hornoplošníku s tlačnou vrtulí, s jednostopým podvozkem a s ocasioními plochami uspořádanými do písmene T. Tvar modelu byl dále ovlivněn snahou o snížení pravděpodobnosti poškození použitých kamer při běžném provozu, ale také při případné havárii.

Materiál použitý na stavbu modelu je velmi porézní a výborně absorbuje energii při nárazu. Naproti tomu materiál kamer je tvrdý a při nárazu by mohl způsobit poranění, případně poškození majetku.

Předek trupu modelu je tedy navržen jako protáhlý zobák ze snadno deformovatelného EPP, které slouží jako deformační zóna. Kamera mířící dopředu a dolů je čumákem modelu částečně chráněna při přistání a při případném nárazu do kolmé překážky. Toto uspořádání nijak nebrání v pořizování kvalitních záběrů přední polosféry, jak je patrné z přiložené skicy.



Obr. 78 První skica s hmotnostní a rozměrovou rozvahou (Autor)

Ze skicy je dále patrný odnímatelný způsob uchycení vodorovné ocasní plochy, který má zajistit snazší transport. Dále prvotní hmotnostní a rozměrová rozvaha modelu. Tyto hodnoty se ovšem v průběhu vývoje modelu změnily.

Základním materiálem použitým pro stavbu modelu, je expandovaný polypropylen. Neboli EPP. Tento materiál se primárně používá především v automobilovém průmyslu, jako pohlcovač nárazů a vibrací. Mezi jeho další přednosti patří nízká hmotnost, tepelná a zvuková izolace, nárazuvzdornost, tvarová a chemická stálost, zdravotní nezávadnost při kontaktu s potravinami a odolnost chemikáliím.

Unikátní mechanické a chemické vlastnosti tohoto materiálu jsou průmyslově využívány v mnoha oblastech, jsou jimi na příklad:

- Automobilový průmysl (nárazníky, sedadla, výplně dveří, víka kufrů)
- Potravinářský průmysl (výroba nárazuvzdorných a chemicky stálých obalů)
- Výroba boilerů (tepelná izolace plášťů)
- Konstrukce klimatizací
- Výroba tepelných čerpadel
- Použití ve speciálních odvětvích průmyslu

5.6. Stavba modelu

Fotografie obsažené v každé z následujících kapitol ilustrují postup stavby a pracovní operace, které autor prováděl při konstrukci modelu. Některé stavební postupy zmiňované autorem mohou posloužit jako obecný návod ke stavbě podobného stroje.

Materiály, lepidla a polotovary používané autorem jsou většinou běžně dostupné v modelářských prodejnách.

5.6.1. Stavba trupu

Stavba trupu byla zahájena konstrukcí trupové gondoly, protože se jedná o tvarově nejsložitější díl modelu a jeho další části na ni konstrukčně navazují. Gondola je vyrobena především z desky EPP o tloušťce 10mm a hustotě 30g/dm^3 . Ke stavbě některých menších částí posloužila buková překližka 0,7 a 1,5mm (drobné výztuhy). Plastové desky PSH tloušťky 1,5mm (uchycení podvozkového kola) a smrkové lišty 5x5mm (montáž serv).

Nosník ocasních ploch tvoří konstrukce slepená ze smrkové lišty 3x12mm a tvarových lišt nařezaných z balzy tloušťky 4mm. Takto vzniklý nosník je ořezán a ohoblován do požadovaného průřezu, tmelen, broušen, lakován a následně potažen vláknitým materiálem Vlies.

Svislá ocasní plocha tvoří po slepení nedílnou součást trupu. Její konstrukce je kombinací klasických materiálů (balza, smrk, buková překližka) a potahu z EPP tloušťky 5mm.

Vodorovná ocasní plocha má jednoduchou deskovou konstrukci z EPP 10mm s balzovou výztuhou tvořenou lištou 10x10mm, obroušenou do konečného tvaru.

Finální povrchová úprava modelu je provedena syntetickými barvami.

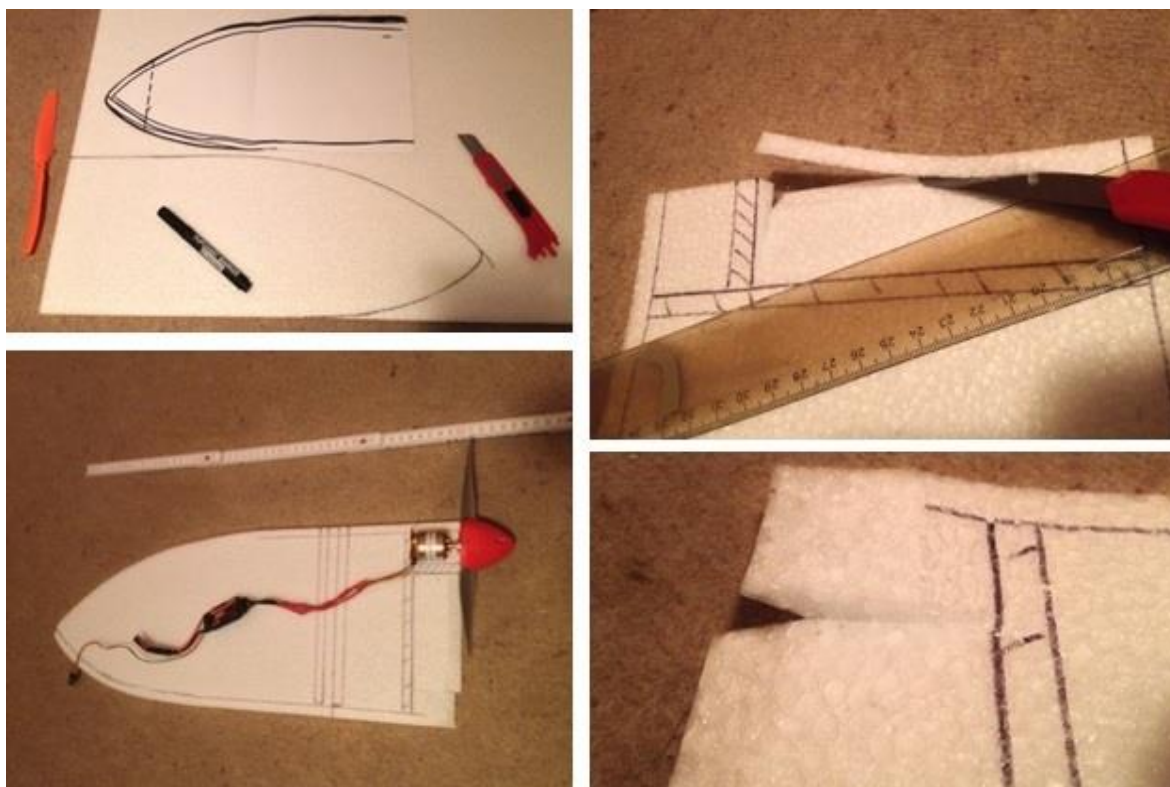
5.6.1.1. Trupová gondola

5.6.1.1.1. Vyřezání jednotlivých dílů

Hrubá stavba trupu začala vyřezáním bočnic, přepážek a dalších částí trupu z desek EPP tloušťky 5mm a 10mm.

K jejich opracování se autorovi nejlépe osvědčil obyčejný odlamovací nůž, na jehož čepeli je vhodné jemným smirkovým papírem vytvořit drobné “zuby”. EPP má jinak tendenci se vytrhávat a drolit. Řez pak nebývá zcela čistý.

Následující fotografie ukazují vyříznutí bočnic trupové gondoly a seříznutí úkosů, které jsou nutné pro vytvoření jejího aerodynamického tvaru v dalších fázích stavby.



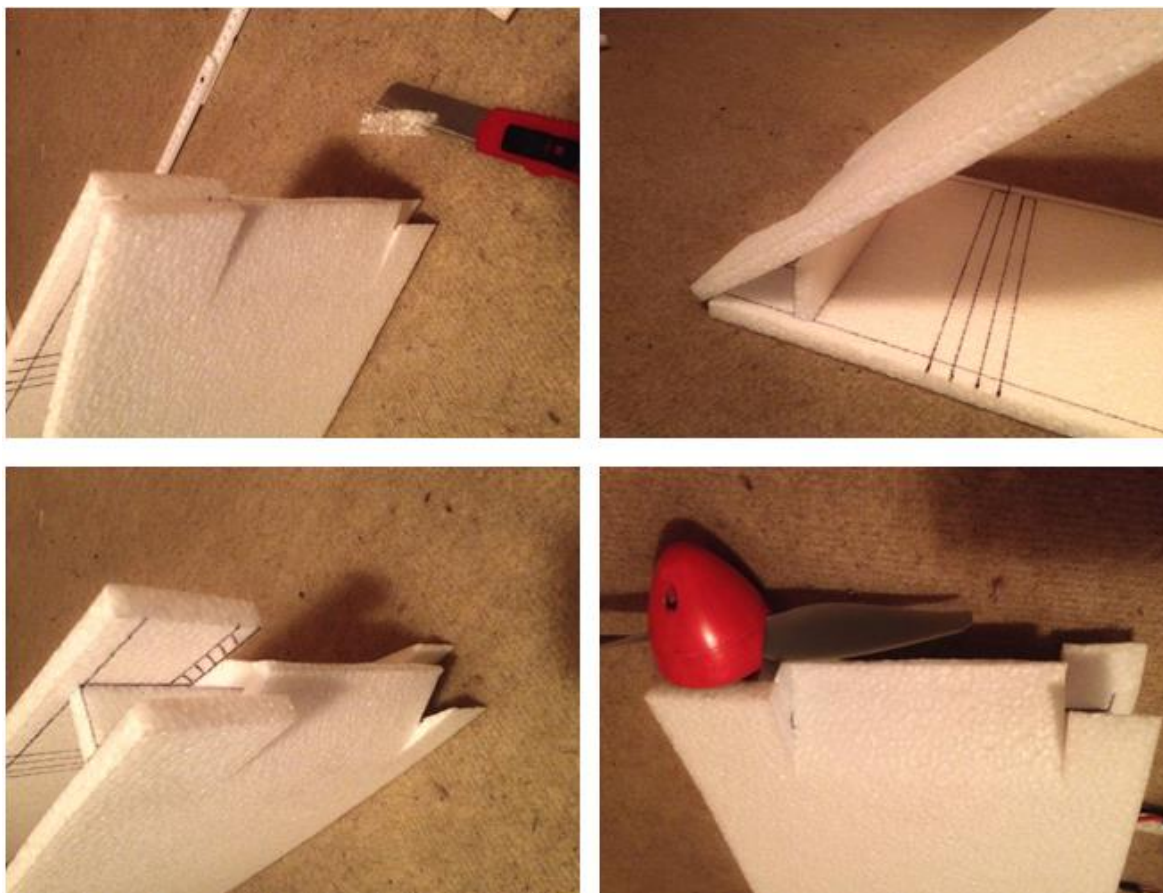
Obr. 79 Vyřezání bočnic trupové gondoly a příprava úkosů odtokové hrany (Autor)

5.6.1.1.2. Slepění bočnic trupu

Slepování bočnic trupu autor započal ve tvarově nejsložitějším místě trupové gondoly, kterým je aerodynamický přechod do lože motoru a nosníku ocasních ploch. Stavbu zde zahájil proto, aby se vyhnul tvarové deformaci tohoto uzlu během další stavby.

Prvním úkonem bylo slepení bočnic trupu v místě úkosů, připravených v předchozích stavebních krocích. Bylo nutné dbát na přesnost lepení, aby nedošlo k nežádoucímu zkroucení trupu.

Následně byla vlepena motorová přepážka, která je zároveň poslední trupovou přepážkou ve směru letu. Tato operace byla poměrně náročná na přesnost provedení. Motorová přepážka totiž v kombinaci s výše zmiňovanými úkosy dává zakončení gondoly její aerodynamický tvar. Navíc úhel jejího zalepení do trupu velmi ovlivňuje chování budoucího modelu v motorovém letu.



Obr. 80 Začátek lepení bočnic trupu (Autor)

5.6.1.1.3. Vlepení trupových přepážek

Stavba trupové gondoly pokračovala postupným vlepováním jednotlivých přepážek a jejího horního a dolního potahu.

V místě uchycení podvozkového kola a budoucího montážního otvoru (poklop pro výměnu akumulátorů a montáž palubní elektroniky) bylo přilepeno zesílení v podobě dvou smrkových podélníků 5x5mm a několika krátkých příček ze smrku 3x10mm.

Slepená trupová gondola byla poté zhruba ořezána a obroušena do hrubého tvaru. Následovalo její vytmelení velmi lehkým šlehaným tmelem a zabroušení do finálního tvaru.

Postup tmelení a broušení byl několikrát opakován, dokud nebyla kvalita povrchu dostatečná pro další zpracování. Hrubá stavba trupové gondoly byla tímto dokončena a autor se soustředil na stavbu nosníku ocasních ploch.



Obr. 81 Trupová gondola po hrubé kompletaci, přední část trupu po obroušení, střední části s vlepenými podélníky pro montáž akumulátorového poklopu (Autor)

5.6.1.2. Nosník ocasních ploch

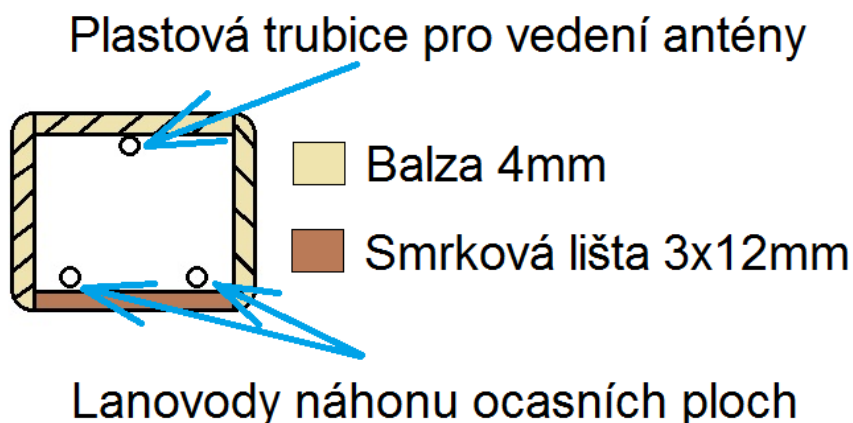
5.6.1.2.1. Hrubá stavba nosníku

Pro konstrukci nosníku ocasních ploch se autor z hmotnostních a pevnostních důvodů rozhodnul použít kombinaci balzových podélníků a smrkové lišty. Povrchová úprava je řešena potahovým papírem a lakováním.

Smrková lišta (3x12)mm zastává v konstrukci nosníku ocasních ploch funkci hlavního podélníku a slouží především k zachycení sil plynoucích z namáhání trupu na ohyb a na vzpěr. Tyto síly jsou největší především během startu a přistání. Aerodynamická zatížení působící na nosník za letu, jsou ve srovnání s nimi zanedbatelná.

Při dimenzování nosníku se autor tedy soustředil především na přenos zatížení vznikající při přistání, které je z pevnostního hlediska nejkritičtější fází provozu modelu.

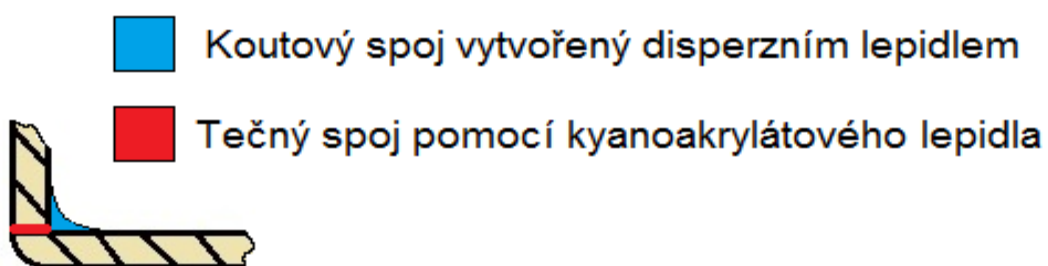
Bočnice nosníku jsou vyrobeny z balzy 4mm a konstrukci propůjčují vysokou tuhost v krutu při nízké hmotnosti. Díky malému průřezu a dostatečné stavební výšce, pro zajištění torzní tuhosti, mohl být nosník postaven bez přepážek. Tato skutečnost dále usnadňuje montáž lanovodů pro ovládání ocasních ploch a vedení antény přijímače.



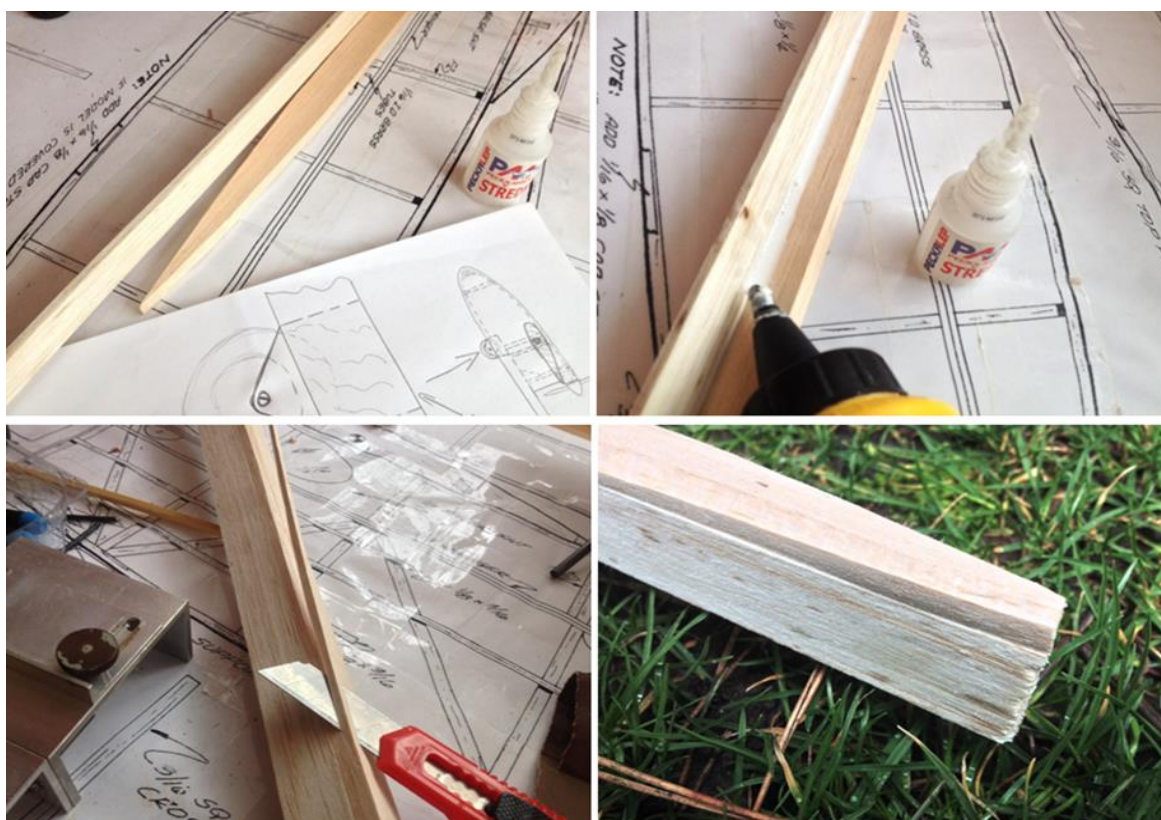
Obr. 82 Schématický řez nosníkem ocasních ploch

Anténa přijímače rádiového signálu je záměrně vedena v co možná největší vzdálenosti od lanovodů ocasních ploch, aby se tak zamezilo možnému rušení ovládacího signálu, které obvykle vzniká vlivem tření kovových částí lanovodů.

Stavbu nosníku ocasních ploch prováděl autor metodou dvojího lepení, kdy k rychlému a přesnému spojení částí "na tupo" slouží kyanoakrylátové kontaktní lepidlo. K vytvoření koutového spoje, který lépe odolává namáhání v krutu a na olupování, slouží pomalu tuhnoucí lepidlo disperzní. Použitou technologií lepení se nejen urychlí stavba, ale zvýší se také pevnost spoje.



Obr. 83 Schématické naznačení způsobu lepení nosníku ocasních ploch (Autor)



Obr. 84 Hrubá stavba nosníku ocasních ploch

5.6.1.2.2. Opracování nosníku a jeho vlepení do trupové gondoly

Část nosníku ocasních ploch (NOP), která je vlepena do trupové gondoly, plní zároveň funkci uložení podvozkového kola. Toto konstrukční řešení vytváří velmi pevný uzel. Umožňuje tak dobré roznesení zatížení od podvozku, do konstrukce modelu. Díky tomu může být hlavní podvozek modelu řešen jako neodpružený (pružení i disipaci energie při přistání zajišťuje pěnová pneumatika), což vede k úspoře hmotnosti a zjednodušení konstrukce.

Na následujících fotografiích je vidět úprava NOP pro vlepení uložení podvozkového kola a potah konce nosníku z EPP o tloušťce 5mm, který slouží jako tlumič nárazů a kmitů mezi oběma částmi trupu.



Obr. 85 Vyřiznutí lože pro hlavní podvozkové kolo, výroba uložení pro vlepení nosníku ocasních ploch do trupové gondoly (Autor)

K vlepení NOP do lože vytvořeného v trupové gondole posloužilo modelářské dvousložkové lepidlo EPOXY 1200. Toto lepidlo je ideální pro vytváření velmi pevných a částečně pružných spojů.

Finální fází vlepení nosníku ocasních ploch bylo přilepení aerodynamických přechodů gondoly, které byly připraveny během první fáze opracování bočnic. K přilepení těchto pevnostně nekritických částí posloužilo kyanoakrylátové lepidlo.

Před provedením finální povrchové úpravy dojde k vytmelení drobných spár mezi jednotlivými díly a vznikne tak aerodynamicky i pohledově čistý přechod.



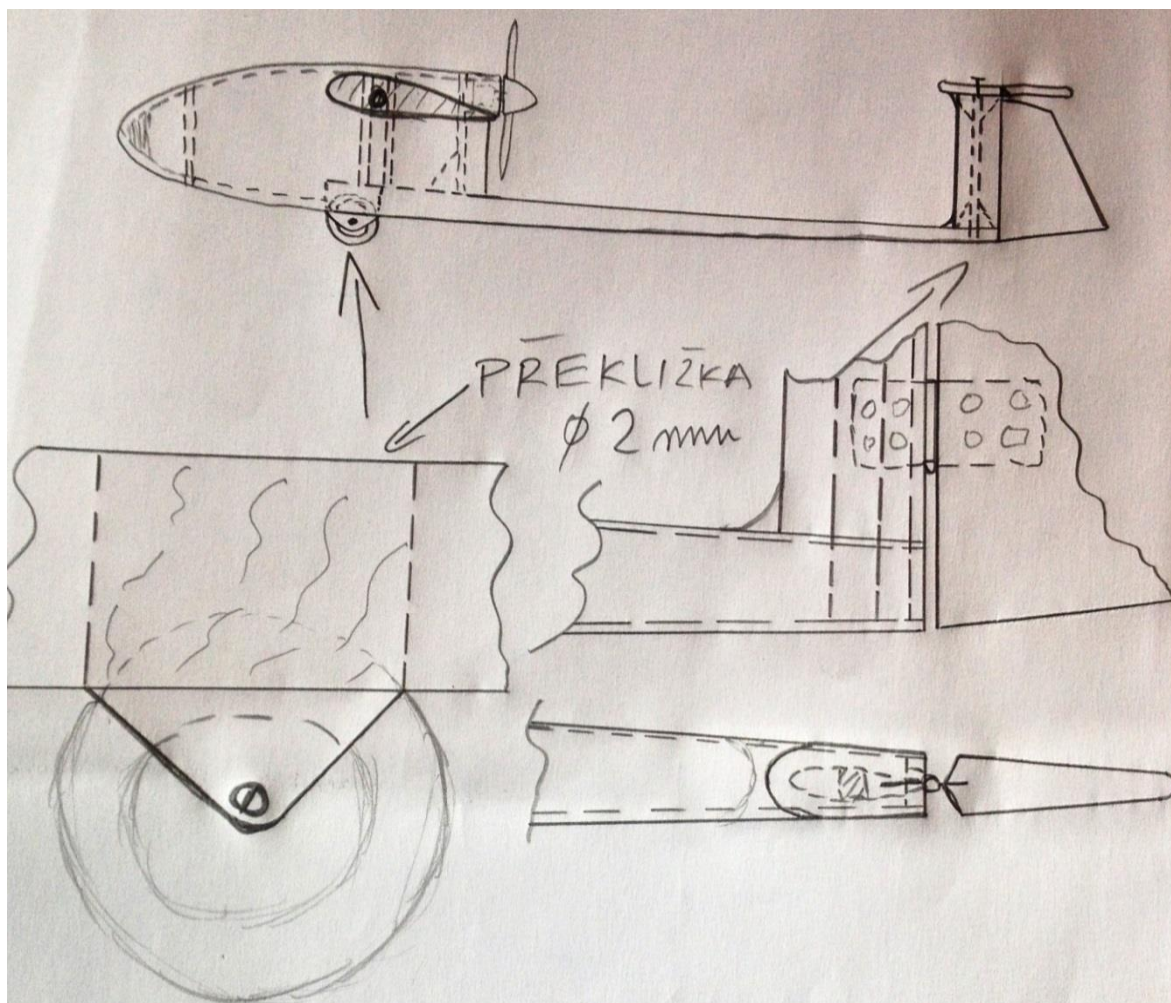
Obr. 86 Vlepení nosníku ocasních ploch do trupové gondoly (Autor)

5.6.1.3. Uchycení hlavního kola přistávacího podvozku

Vzhledem k předpokládané nízké vzletové hmotnosti modelu (cca 1300g) se autor rozhodnul pro neodpruženou montáž hlavního kola podvozku. Veškerá energie nárazu při přistání je tak pohlcena a disipována pěnovým materiálem “mechové pneumatiky“ hlavního kola. Toto řešení se autorovi plně osvědčilo u předchozích modelů se vzletovou hmotostí do 1,5kg.

Jak je patrné z přiložené skicy, zamýšlel autor původně pro výrobu uložení hlavního podvozkového kola použít příruby z letecké překližky se šroubem M2, tvořícím osu kola.

Letecká překližka ale nemá zcela homogenní vlastnosti ve všech směrech a především nepřenáší dobře bodová zatížení. Autor se tedy pokusil najít jinou alternativu k tomuto materiálu.



Obr. 87 Skica několika stavebních detailů, včetně způsobu uchycení hlavního podvozkového kola (Autor)

Po kratším váhání a výrobě několika zkušebních vzorků se autor rozhodnul pro uložení podvozkového kola v přírubách z plastické hmoty. Příruby pro uložení podvozku jsou tedy nakonec vystřiženy z desky PSH tloušťky 1,5mm, která bývá používána na výrobu výstražných tabulí.

Tento materiál má vysokou houževnatost, mechanickými vlastnostmi a hmotností se podobá letecké překližce shodné tloušťky. Na rozdíl od překližky, má ale homogenní vlastnosti ve všech směrech, disponuje vyšší mezí elasticity a lépe snáší bodová zatížení. Autor ho s oblibou používá pro výrobu ovládacích pák a u tohoto modelu se při letových zkouškách osvědčil i pro uložení hlavního kola podvozku.

Opracování tohoto materiálu se pomocí ostrých nůžek provádí podobně jednoduše, jako je tomu u letecké překližky shodné tloušťky. Materiál navíc, na rozdíl od překližky, nevyžaduje další povrchovou úpravu.



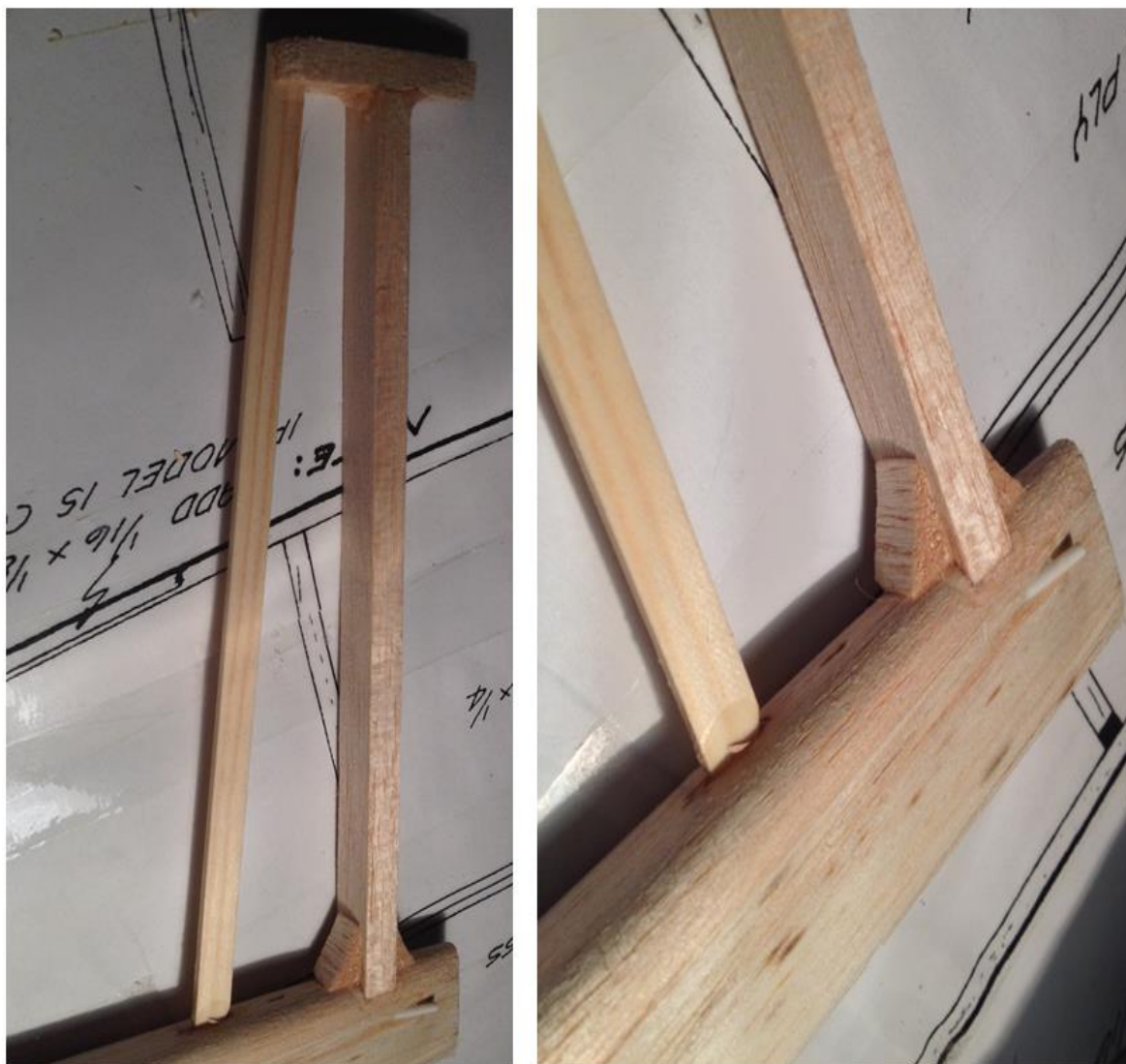
Obr. 88 Výroba uložení kola hlavního podvozku (Autor)

5.6.1.4. Konstrukce svislé ocasní plochy

Výhody uspořádání ocasních ploch do písmene T byly popsány v předchozích kapitolách. Jeho hlavní konstrukční nevýhodou jsou velké momenty, které působí na jeho uložení.

To musí zachycovat nejen stranová zatížení, vznikající pohybem směrovky, ale také momenty od vodorovné ocasní plochy a přídatná zatížení v krutu. Uložení svislé ocasní plochy tedy musí být správně dimenzováno tak, aby těmto zatížením odolalo.

Na druhou stranu musí mít ocasní část co možná nejnižší hmotnost, kvůli dodržení vypočtené polohy těžiště letounu. Konstrukce kýlovky je tedy u tohoto modelu řešena jako kombinace několika materiálů s výrazně rozdílnými mech. vlastnostmi.



Obr. 89 Nosná konstrukce svislé ocasní plochy (Autor)

Hlavní nosník tvoří balzový hranol (8x12)mm. Ten má dostatečný průřez pro zachycení ohybových a krutových momentů. Jeho uchycení do nosníku ocasních ploch je provedeno jako zapuštěné tak, aby byla zajištěna dostatečná kontaktní plocha. Pro vynesení posouvacích sil v uložení jsou použity balzové klíny.

“Zavětrování“ hlavního nosníku je provedeno pomocným smrkovým nosníkem (2x10)mm, který slouží zároveň jako velmi pevná náběžná lišta. Tento nosník je uložen “na koso“, aby tak byla co nejlépe využita jeho stavební výška. Kvůli zajištění co možná největší kontaktní plochy je také zapuštěn do nosníku ocasních ploch.

Uchycení vodorovné ocasní plochy je řešeno pomocí dvojice vrtů, které jsou zašroubovány do překližkovo balzového sendviče tvořícího lože VOP. Pro uchycení pantů, na kterých se pohybuje směrové kormidlo, slouží balzová lišta (3x15)mm.

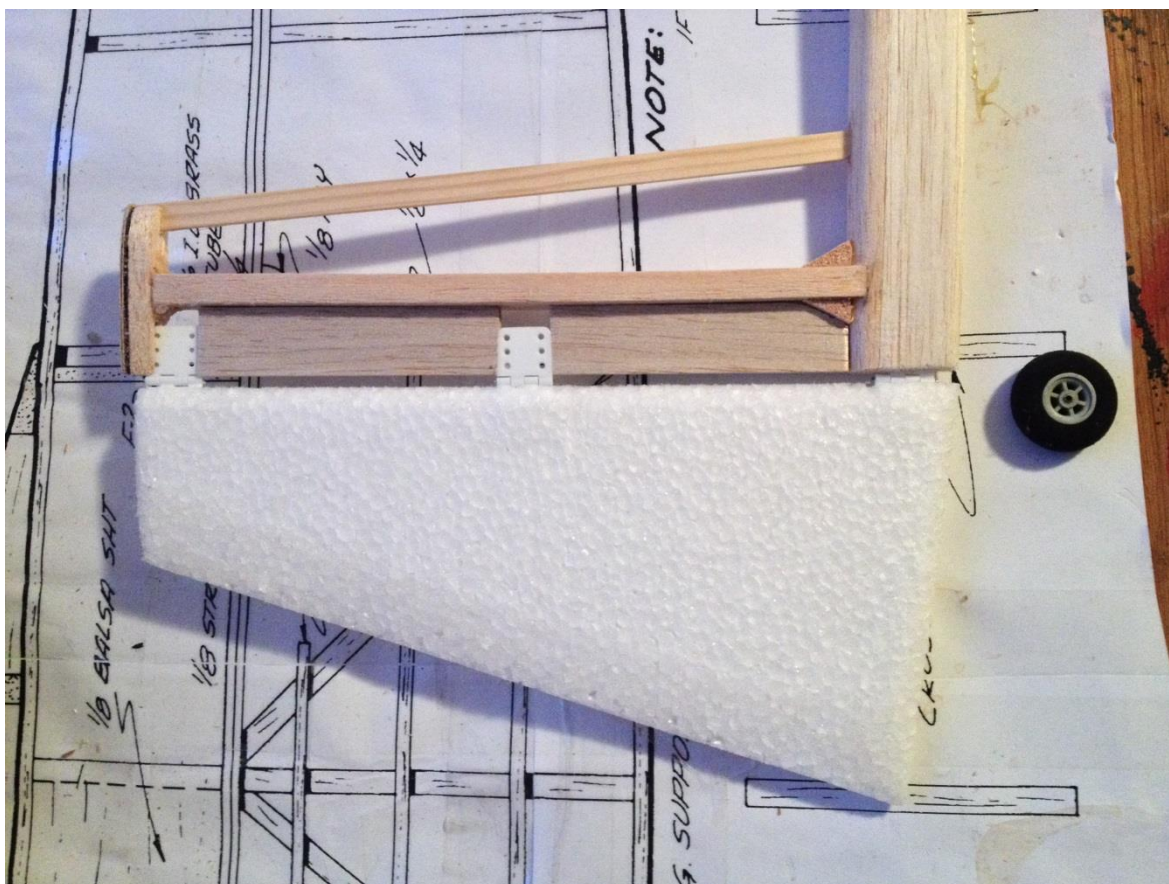


Obr. 90 Uchycení vodorovné ocasní plochy a směrového kormidla (Autor)

Konstrukce směrového kormidla je patrná z následujících fotografií a je velmi jednoduchá. Tvoří ji ořezaný a obroušený výřez z desky EPP tloušťky 12mm.



Obr. 91 Výroba směrového kormidla (Autor)

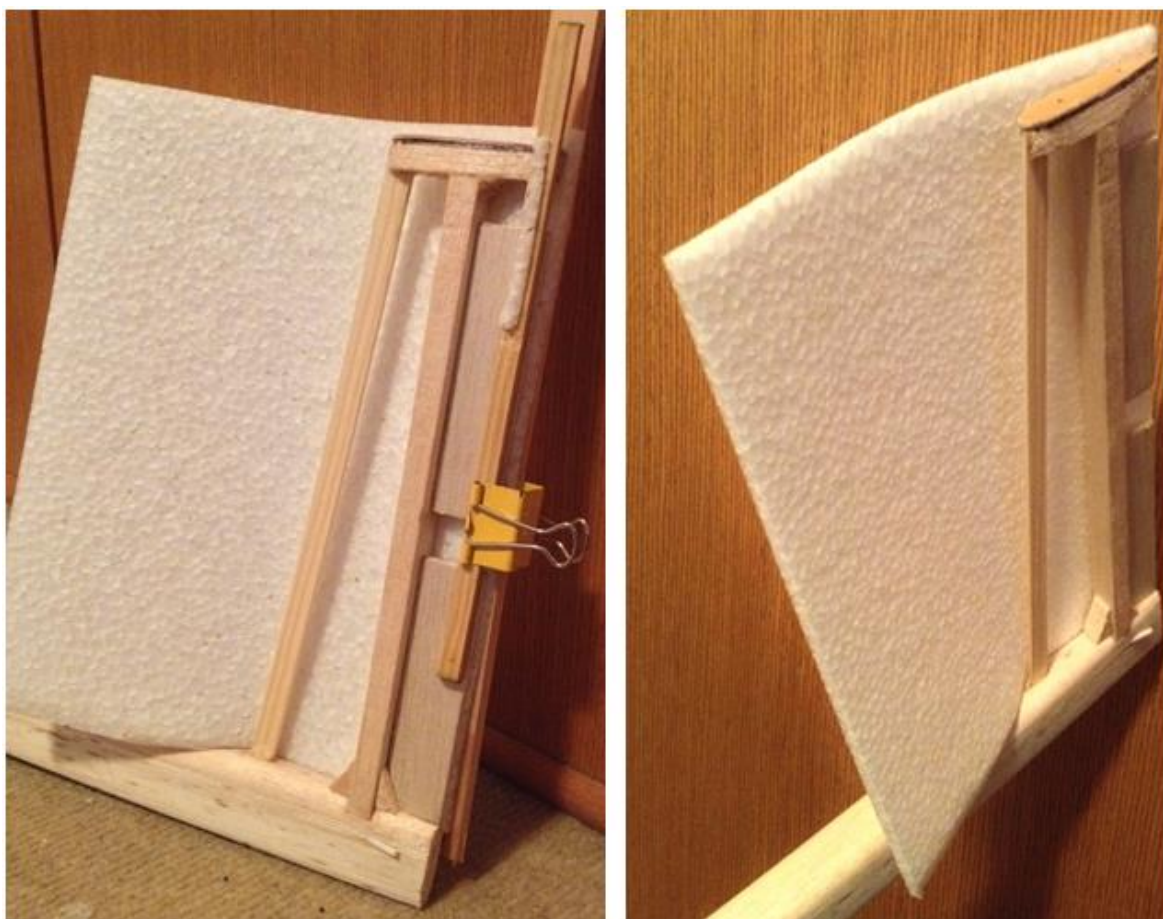


Obr. 92 Ukázka hotové konstrukce svislé ocasní plochy, před potažením kýlovky (Autor)

Potah pevné části svislé ocasní plochy (kýlovky) je ohnutý z dílu připraveného z 5mm tlusté desky EPP. Před jeho přilepením bylo konstrukcí kýlovky vyvedeno táhlo výškového kormidla.

Potah bylo nutné nejprve naohýbat do požadovaného tvaru. Ohnutí desky EPP je nejsnazší několikanásobným přetažením její vnitřní strany přes hranu stolu. Díky tomuto kroku ztratí materiál svou tvarovou stálost v požadovaném směru a sníží se pravděpodobnost praskání potahu během jeho ohýbání a lepení.

Samotné lepení potahu na kýlovku modelu probíhalo v několika stavebních krocích tak, aby nedošlo k jeho zborcení a aby byl materiál po celém obvodu rovnoměrně napnutý.



Obr. 93 Potahování svislé ocasní plochy (Autor)

5.6.1.5. Stavba vodorovné ocasní plochy

Konstrukce vodorovné ocasní plochy využívá za základ desku EPP tloušťky 10mm. Hlavní nosník VOP, který zároveň slouží ke spojení polovin výškového kormidla, tvoří opracovaná balzová lišta 10x10mm. Zpevnění střední části pro roznesení sil z uložení VOP, zabezpečuje trojúhelníková překližková deska tloušťky 1,5mm.

Postup stavby VOP by se dal shrnout takto:

- Vyřezání základního tvaru dílů z 10mm tlusté desky EPP
- Hrubé ořezání a dobroušení do aerodynamického tvaru
- Přilepení hlavního nosníku a jeho opracování
- Nalepení překližkové výztuhy pro uložení VOP
- Vydlabání montážních otvorů pro panty
- Zalepení pantů do stabilizátoru a výškovky

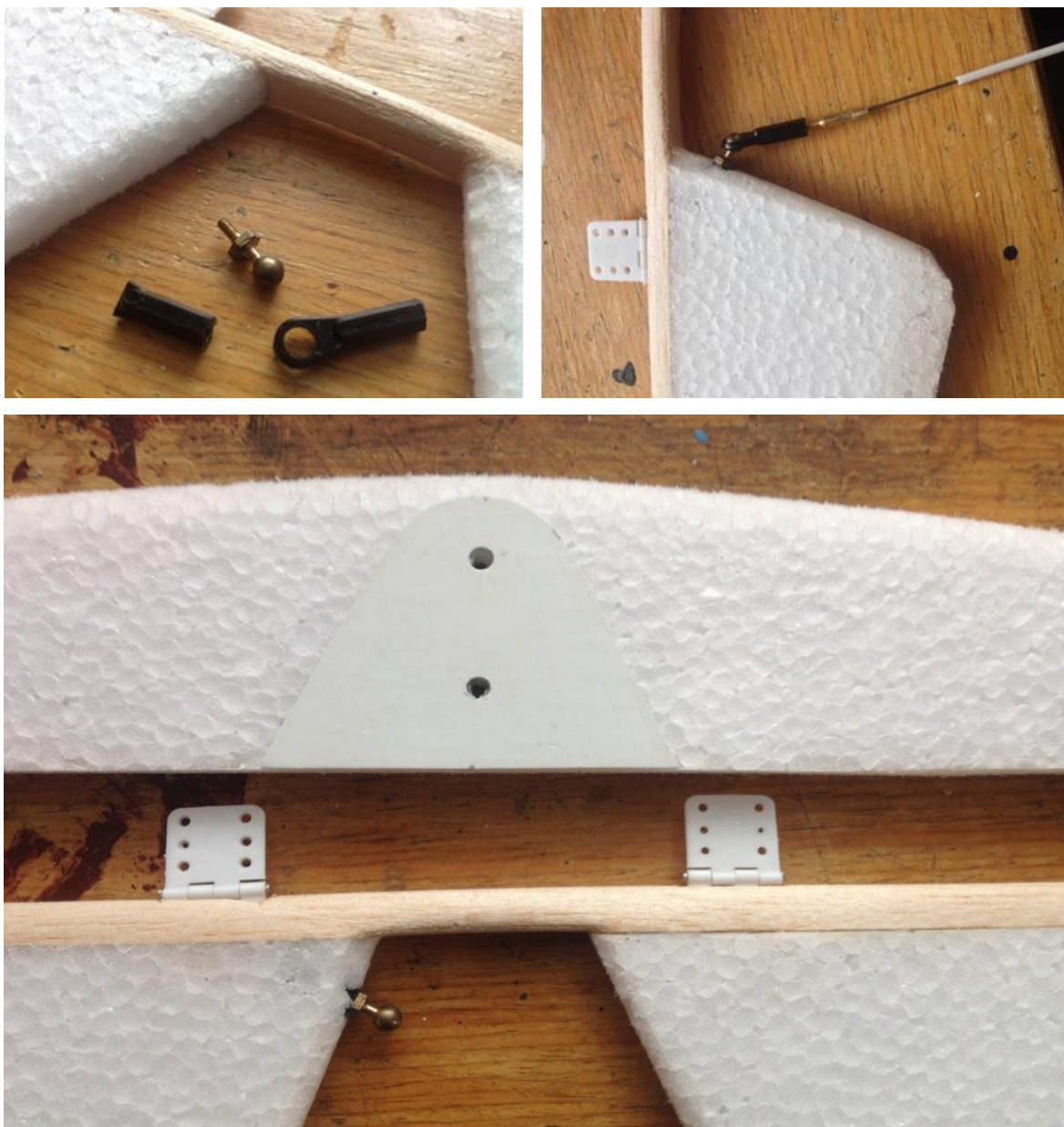


Obr. 94 Stavba vodorovné ocasní plochy (Autor)

5.6.1.6. Výroba náhonu ocasních ploch

Vodorovná ocasní plocha je u tohoto modelu řešena jako odnímací, z toho důvodu bylo nutné vyrobit náhon výškovky jako rozebiratelný.

Z několika různých možností se autor nakonec rozhodnul pro použití kulového čepu z mosazi a ovládací koncovka táhla s okem z elastomeru. Tato ovládací koncovka se běžně používá v automobilovém modelářství. Jako její hlavní výhodu autor vnímá možnost rychlé a jednoduché montáže, při sestavování před letem.



Obr. 95 Náhon výškového kormidla (Autor)

5.6.1.7. Potahování nosníku ocasních ploch

Pro zvýšení ohybové pevnosti a odolnosti povrchu nosníku ocasních ploch, vyrobeného z kombinace smrku a balzy (viz. kapitola 5.6.1.2.) se autor rozhodnul pro jeho potažení vláknitou tkaninou, která bývá prodávána pod obchodním názvem Vlies. Jedná se v podstatě o syntetickou náhradu potahového papíru, který patří ke klasickým modelářským materiálům.

Tato tkanina se na povrch modelu lepí pomocí hustého nitrolaku. Mezi její přednosti patří fakt, že je teplem smrštitelná. Následujícím krokem je tedy její vypnutí modelářskou žehličkou, případně horkovzdušnou pistolí, při teplotě cca 230°C. Vypnutý povrch je potom několikrát lakován naředěným vypínacím nitrolakem. Po vyschnutí každé jeho vrstvy, následuje vyběhnutí povrchu jemným smirkovým papírem, dokud nejsme s kvalitou povrchu dostatečně spokojeni.

Tato povrchová úprava balzy velmi výrazně zvýší její pevnost a odolnost na otláčení.



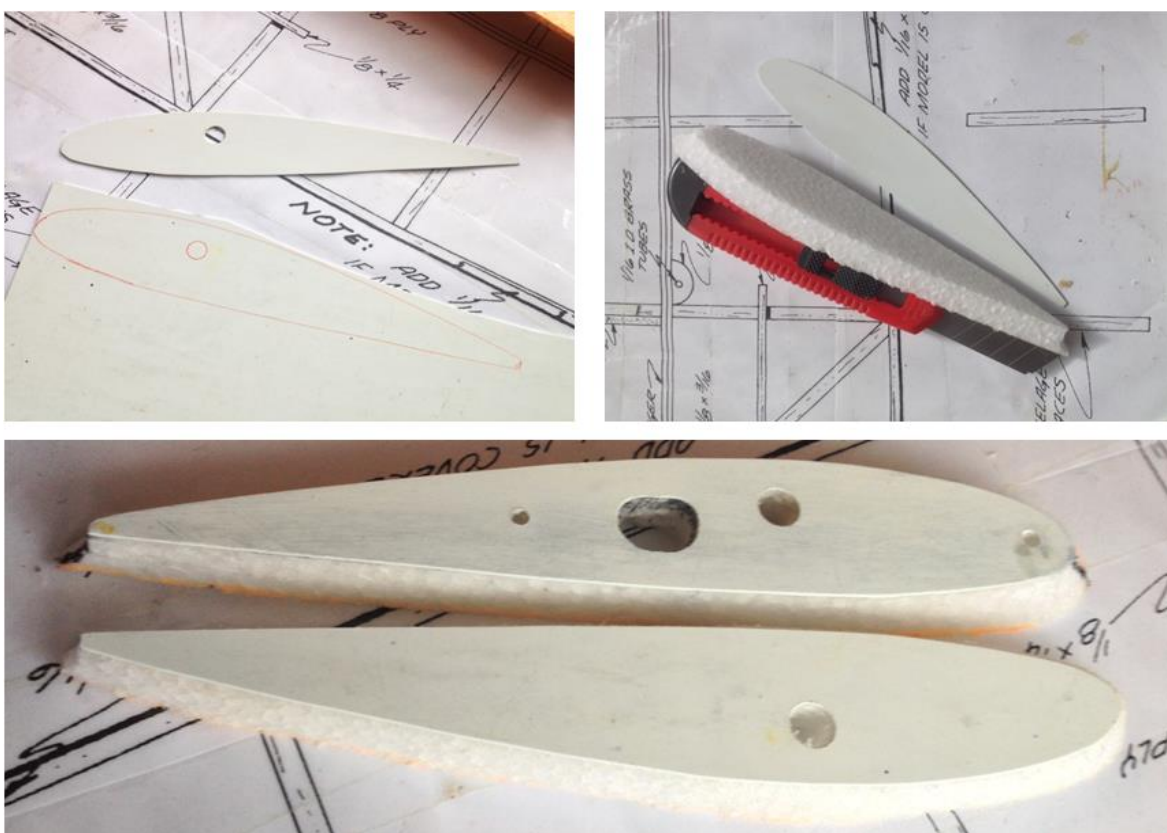
Obr. 96 Lepení potahu nosníku ocasních ploch (Autor)

5.6.1.8. Stavba centropoplánu

Vzhledem k poměrně úzké konstrukci trupové gondoly (z aerodynamických důvodů) a v poměru k ní velkému rozpětí křídel docházelo k přílišné koncentraci momentů působících na subtilní trup. Autor se tedy při stavbě rozhodnul pro rozšíření uložení křídel pomocí centropoplánu. Instalací centropoplánu došlo k lepšímu roznesení sil a momentů v uložení křídel a také se tím usnadnila jejich montáž v následném provozu.

Centropoplán tohoto modelu svou konstrukcí vytváří rozebiratelné spojení křídel a trupu. Jeho hlavní nosnou částí je uhlíková trubka o vnějším průměru 8mm, která je v trupu uložena jako průchozí a kvůli snažšímu transportu modelu je řešena jako vyjímatelná. Tato trubka funguje v centropoplánu jako hlavní nosník a přenáší především ohybová a smyková zatížení z křídel.

Další částí je aerodynamický přechod křídlo-trup, který vytváří vnější centropoplán a pomocí vystředovacích čepů z bambusu přenáší krutové momenty vznikající na křídlech.



Obr. 97 Výroba centropoplánu (Autor)

Lepení hotového centroplánu k trupu bylo jednou ze stavebních operací, které byly velmi náročné na přesnost provedení, a také na pevnost lepeného spoje. Tato operace byla kritická pro dodržení správné geometrie modelu.

K pevnostnímu lepení bylo použito polyuretanového lepidla, prodávaného většinou pod názvem Purex. Toto lepidlo se při vytvrzování chová podobně jako PU montážní pěna a výrazně zvětšuje svůj objem. Tento jev je možné ještě zvýraznit navlhčením lepených dílů. Tato vlastnost lepidla umožňuje vytvoření velmi pevného spoje.

Díky této vlastnosti se Purex příliš nehodí pro lepení dílů, které jsou náročné na přesnost ustavení. Při jeho vytvrzování totiž může vlivem nabobtnání snadno dojít ke vzájemnému posunutí lepených částí.

Vzhledem k této vlastnosti lepidla se autor rozhodnul použít techniku dvojího lepení. Jak je patrné z první fotografie, není PU lepidlo na vnějším centroplánu nanese až úplně k okraji dílu. V obvodovém pásu je ponechán prostor pro aplikaci CA lepidla. Toto lepidlo díky své krátké době tuhnutí (v řádu sekund) umožňuje přesné ustavení lepených dílů.



Obr. 98 Lepení centroplánu k trupové gondole (Autor)

5.6.2. Stavba křídel

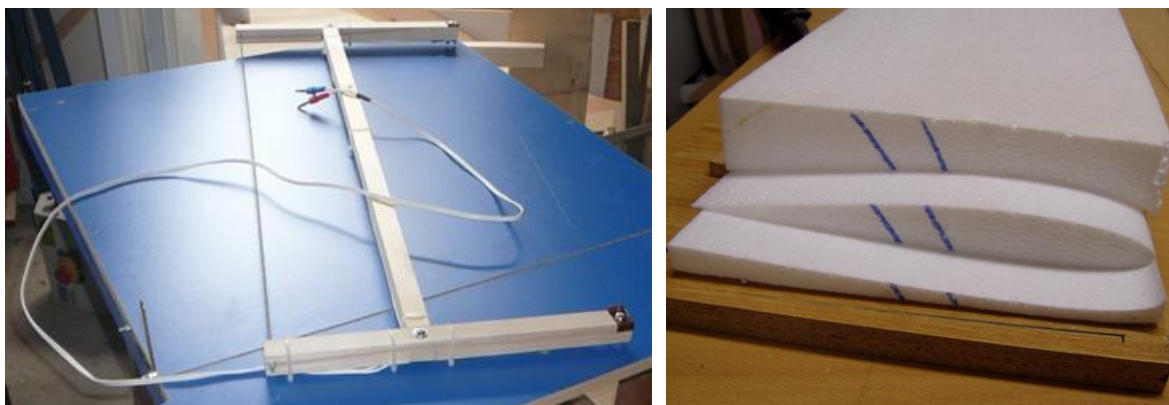
5.6.2.1. Vyříznutí polotovarů křídel

Hrubý tvar křídel je vyříznut z bloku EPP o hustotě 30g/l pomocí modelářské pily s odporovým drátem. Maximální délka bloku EPP pro řezání touto pilou je 500mm. Proto bylo nutné řezat křídla ve čtyřech samostatných dílech.

Princip práce s odporovou pilou je velmi jednoduchý, nicméně zvládnutí techniky řezání tak, aby výsledky měly uspokojivou kvalitu povrchu, vyžaduje určitou praxi. Samotná pila je tvořena rámem z nevodivého materiálu (dřevěné lišty), na kterém je napnutý odporový drát o průměru 1,8mm. Drát je napájen z trafostanice s měnitelným výkonem. Každý materiál pochopitelně vyžaduje jinou teplotu řezání, kterou je nutné pokusně odzkoušet.

Blok materiálu, ze kterého budeme řezat, je nutné pevně upnout k pracovní desce. Dále k němu připevníme plechové, případně kartitové šablony (žebra křídla). Je vhodné, vyznačit si na tyto šablony body s roztečí 50mm po celé hloubce profilu a očíslovat si je.

K samotnému řezání jsou potom potřeba dva lidé. Každý drží pilu z jedné strany bloku a plynule jí posouvá po profilu, zatímco hlásí dosažení jednotlivých označených bodů. Tímto způsobem lze po několika pokusech dosáhnout vyříznutí poměrně přesného polotovaru s dostatečnou kvalitou povrchu.



Obr. 99 Odporová pila a vyříznutý polotovar křídla (Autor)

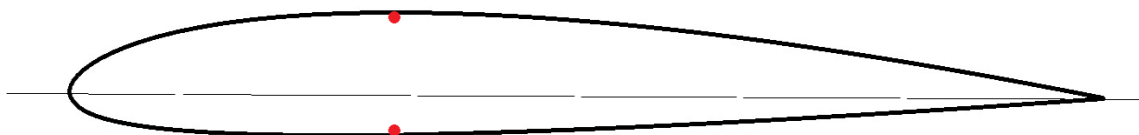
5.6.2.2. Spleení polotovarů křídel a vlepení pásnic nosníku

Prvním krokem stavby každé poloviny křídel bylo spleení vyříznutých polotovarů jejich čtvrtin (viz. kapitola 5.6.2.1.). Samotné polotovary křídel mají při své maximální konstrukční výšce 40mm poměrně vysokou tuhost v krutu, nicméně jejich pevnost v ohybu nebyla dostatečná a bylo je nutné vyztužit pásnicemi.

Tyto pásnice jsou tvořeny uhlíkovými dráty o průměru 1mm, které jsou zapuštěny do konstrukce křídla v místě největšího prohnutí.

Vlepení pásnic předcházelo vyříznutí drážky, hluboké cca 2mm, podél celého polo-rozpětí křídla. První uhlíková pásnice byla následně vtlačena do materiálu tak, aby nevyčnívala nad povrch, a zároveň nijak nedeformovala tvar křídla. Do drážky bylo následně nalito řídké CA lepidlo, které díky své nízké viskozitě dokáže vyvzlínat i do nejmenších spár mezi díly.

Při vlepování druhé pásnice bylo křídlo geometricky zkrouceno tak, aby na jeho konci vznikl "negativ" 3mm. Tato úprava zlepšuje chování modelu při přetažení.



Obr. 100 Vyříznutí drážky podél rozpětí křídel a zalepení uhlíkových pásnic (Autor)

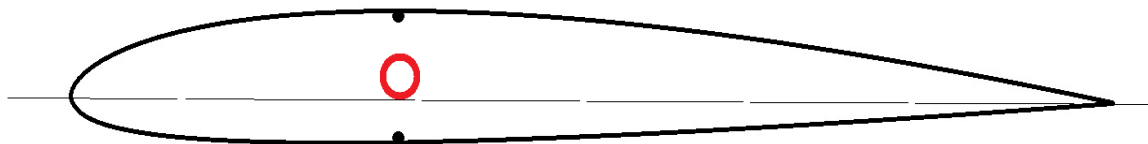
5.6.2.3. Vlepení duralového lože hlavního nosníku

Konstrukce křídla je v centroplánu vyztužena nosníkem tvořeným uhlíkovou kulatinou o průměru 8mm, který je možné zakoupit jako polotovár v modelářských prodejnách. Tento nosník slouží pro sestavení obou polovin křídla. Ke spojení jejich polovin s trupem a k přenosu ohybových a smykových sil, které na uložení křídla působí.

Jako lože uhlíkového nosníku, zalepené v křídle i v centroplánu, posloužily duralové trubky o vnitřním průměru 8mm. Tyto trubky je možné zakoupit v modelářských prodejnách. Po zkrácení na příslušnou délku, začištění hran a navrtání příslušných otvorů do křídla byly tyto trubky vlepeny polyuretanovým lepidlem mezi stojiny hlavního nosníku.

Polyuretanové lepidlo bylo pro tuto operaci zvoleno proto, že během tuhnutí zvětšuje svůj objem. Doslova tedy "prorůstá" vzduchovými mezerami mezi bublinami EPP. Vytváří tak v materiálu křídla jakousi síť.

Tato síť potom slouží k lepšímu roznesení sil, přenášených z uložení nosníku, do konstrukce křídla a snižuje tak bodové (přímkové) namáhání uložení hlavního nosníku.

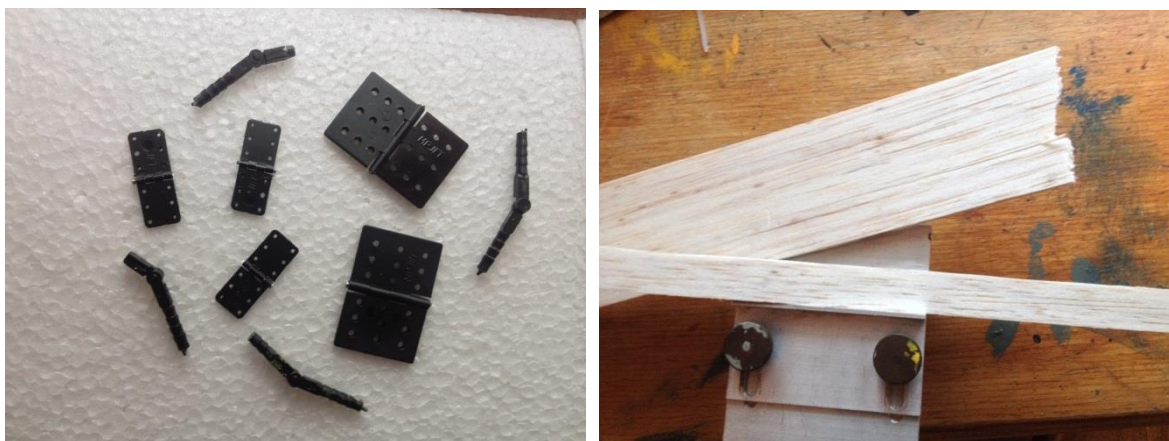


Obr. 101 Lepení uložení hlavního nosníku z duralové trubičky (Autor)

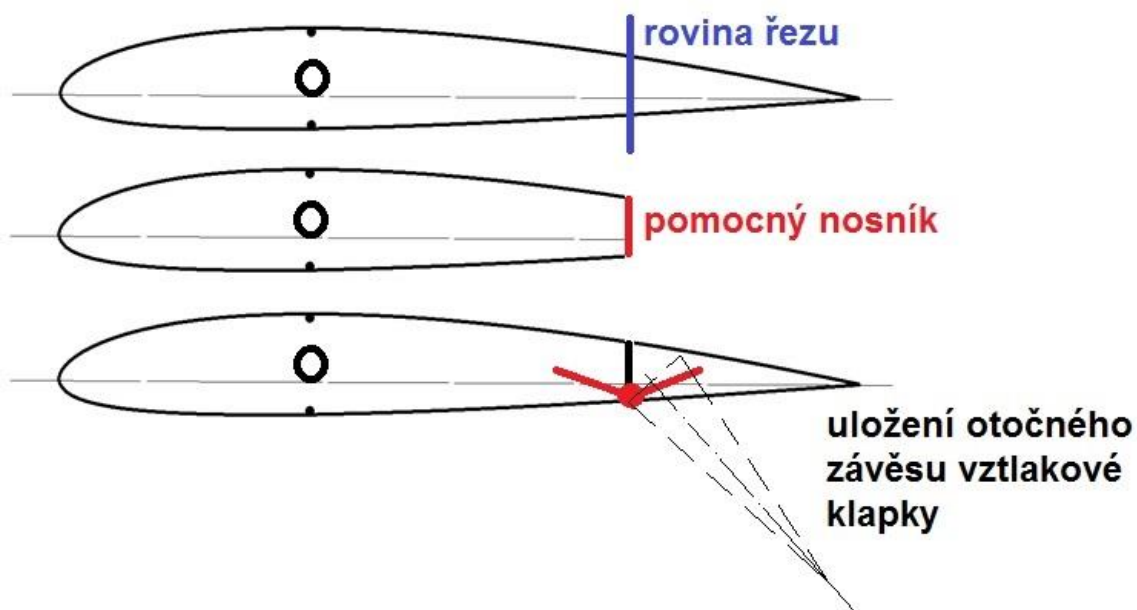
5.6.2.4. Výroba křidélek a vztlakové mechanizace

Další fází stavby bylo odříznutí křidélek a vztlakových klapek od slepených polotovarů křídel. K nově vzniklé odtokové hraně křídla byl následně přilepen pomocný nosník z balzy 4mm. Tento nosník byl vyříznut pomocí balzořezu a dobroušen tak, aby splynul s povrchem křídla.

Hlavním účelem pomocného nosníku je vytvořit pevnou montážní plochu pro zalepení pantů křidélek a vztlakové mechanizace, jak je dobře patrné z následujících obrázků.



Obr. 102 Použité modelářské panty a řezání pomocného nosníku (Autor)



Obr. 103 Uložení pomocného nosníku a pantů vztlakové mechanizace (Autor)

Pro uchycení vztlakových klapek byly použity ploché panty z termoplastu, které umožňují montáž klapek s minimální mezerou mezi nimi a křídlem v zasunutém stavu. Díky tomu není jejich uložení tolik ovlivněno prouděním kolem křídla. Tyto panty jsou dostupné jako příslušenství v modelářských prodejnách.

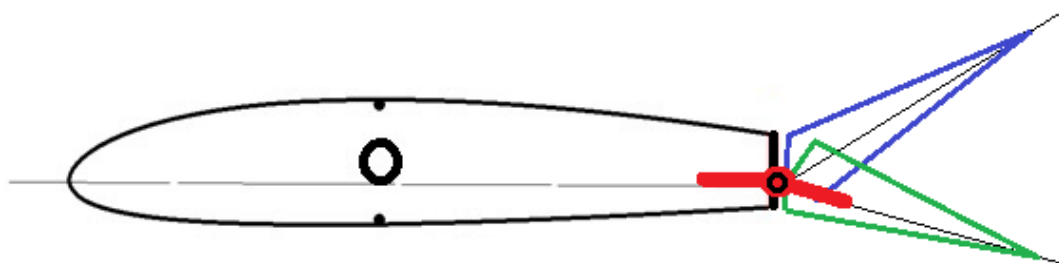
Uložení vztlakových klapek by mělo umožňovat jejich výchylku až do úhlu 50° od tětiny profilu, pro účinné brždění modelu při přistání na malém prostoru.

Uchycení křidélek oproti vztlakovým klapkám musí umožňovat výchylky v obou směrech. Dosedací plochy křidélek byly za tímto účelem dále opracovány do úkosů a zabroušeny tak, aby byl umožněn jejich volný pohyb v obou směrech. K upevnění křidélek slouží závrtné panty z termoplastu.



Obr. 104 Závrtný pant a část ovládací páky křídélka (Autor)

Následující obrázek ukazuje způsob montáže křidélek a také přibližnou velikost jejich výchylek. Výchylka křídélka vzhůru je přibližně dvojnásobná, oproti výchylce dolů. Tento způsob pohybu křidélek se nazývá diferenciace výchylek a využívá se ho pro potlačení jejich nechtěného zatáčivého vlivu.



Obr. 105 Uložení křídélka pomocí závrtného pantu (Autor)

5.6.2.5. Vypálení montážních otvorů pro uložení serv a vedení konektorů

K vytvoření montážních otvorů pro serva v křídlech z EPP se autorovi nejlépe osvědčilo jejich vypálení obyčejnou trafopáječkou s výměnným odporovým drátem a pracovní teplotou cca 200°C. Je možné si naohýbat různé tvary odporových drátů, a tím si výrazně usnadnit některé pracovní operace.

Vzhledem k toxicitě výparů vznikajících při této práci, je vhodné pracovat ve velmi dobře větrané místnosti a používat minimálně masku s respirátorem.



Obr. 106 Způsob vypalování montážních otvorů pro serva křidélek (Autor)

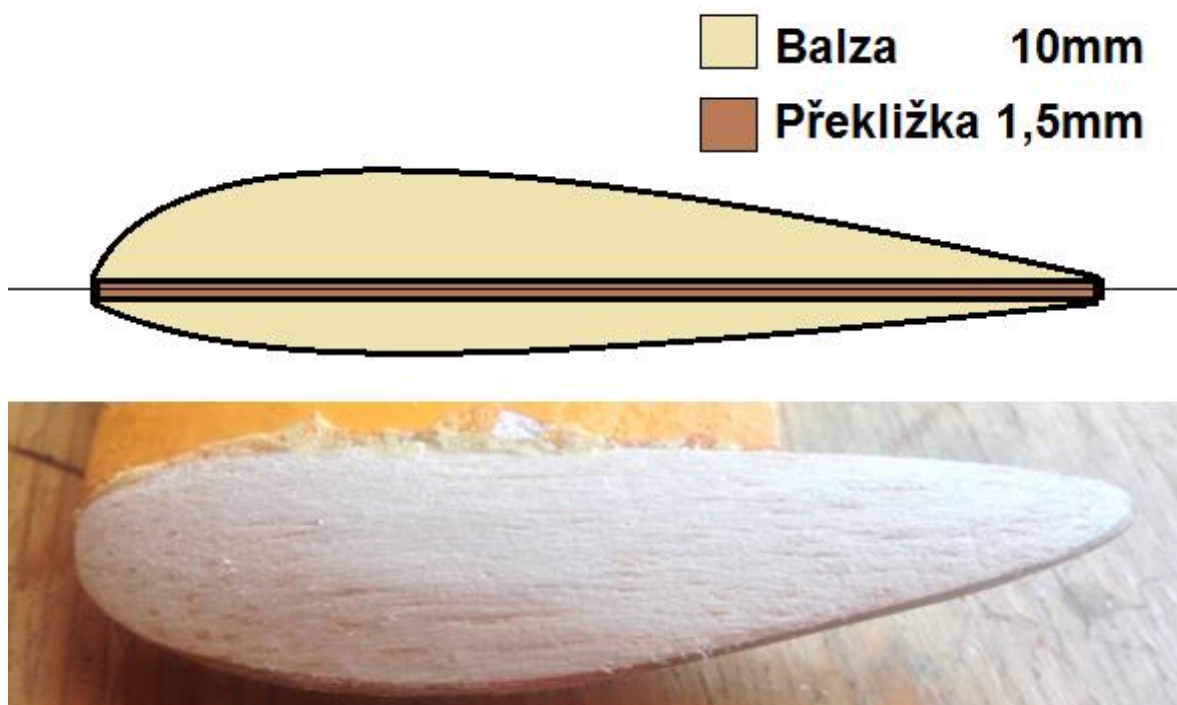
5.6.2.6. Výroba koncových oblouků křídel

Vzhledem ke skutečnosti, že model je vybaven pouze jednostopým přistávacím podvozkem, dochází při přistání ke sklopení na jedno křídlo. Za ideálních podmínek se křídlo "položí" na zem až po zastavení modelu. Podobně jako je tomu při přistání větroně.

Nicméně autor se ve snaze zvýšit odolnost modelu při přistání rozhodnul pro výrobu koncových oblouků křídel z kombinace překližky a balzy. Tato metoda výroby koncových oblouků se autorovi velmi osvědčila u předchozích modelů.

Pokud by totiž byly koncové oblouky vyrobeny z EPP, během provozu modelu by docházelo k jejich rychlému opotřebenosti. Pokud by pro jejich výrobu zvolil autor pouze balzu, byla by jejich hmotnost sice poněkud nižší (cca o 5g u jednoho), nicméně jejich pevnost by byla podstatně nižší.

Balza propůjčuje zvolené sendvičové konstrukci vysokou stavební výšku a tvarovou stálost při nízké hmotnosti. Zatímco třívrstvá letecká překližka o tloušťce 1,5mm jí dává vysokou pevnost v ohybu a zajišťuje koncovému oblouku správný tvar během broušení. Konstrukce je dobře patrná z následujícího obrázku.



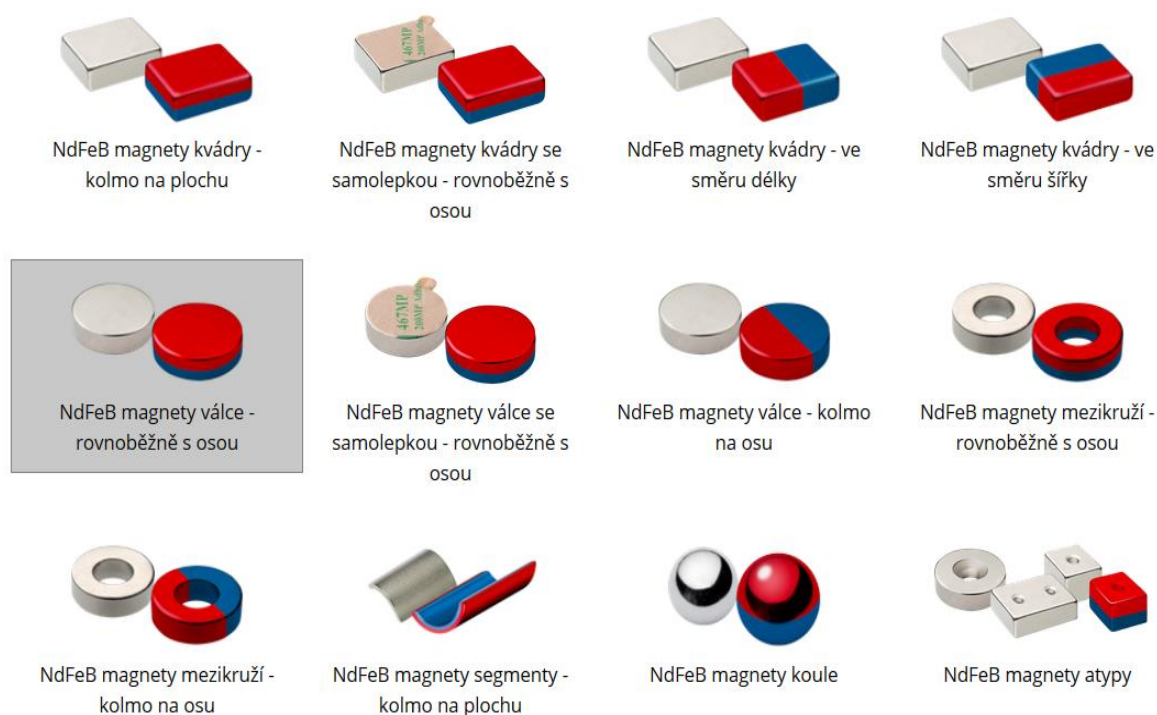
Obr. 107 Konstrukce koncových oblouků křídel (Autor)

5.6.2.7. Upevnění křídel a přenos sil do centrolánu

Pro usnadnění transportu modelu jsou křídla řešena jako dělená. Spojují se s trupem pomocí uhlíkového nosníku a distančních čepů v centrolánu. Zatímco hlavní nosník přenáší především ohybová zatížení a distanční čepy zachycují krutové momenty, bylo potřebné vyřešit také způsob surného zajištění křídla.

Autor nejprve zvažoval různá konvenční řešení tohoto problému. Nabízelo se surné uchycení křídel pomocí modelářské gumy, závrtných šroubů v křídlech, případně pomocí různých mechanických zámků.

V zájmu urychlení sestavení modelu před letem se autor nakonec rozhodnul pro poněkud nekonvenční řešení surného uložení křídla pomocí dvojice neodymových magnetů. Tyto magnety jsou na českém trhu prodávány v široké škále velikostí a s různými magnetickými vlastnostmi. Na jejich prodej se specializuje několik firem a internetových obchodů, takže je možné zvolit si ideální typ magnetů, pro požadovanou aplikaci.



Obr. 108 Nabídka magnetů různých tvarů, velikostí a polarizací (magsy.cz [54])

Nejdůležitějším parametrem při volbě vhodného magnetu pro uchycení křídel modelu je velikost síly, kterou je nutné vyvinout, pro jeho oddělení. Tedy odtrhová síla. Takto se nazývá síla, potřebná k odtržení magnetu od desky tloušťky 10 mm, vyrobené z oceli třídy 11.

Pro tento model se pro uchycení křídel ukázala ideální dvojice magnetů 15x4mm. Odtrhová síla neodymového magnetu 15x4mm je podle prodejce Magsy, u kterého byly magnety zakoupeny, přibližně 46N. Při spojení dvou neodymových magnetů 15x4mm dohromady je tedy možné předpokládat odtrhovou sílu přibližně 90N.

Taková síla se během letových zkoušek modelu ukázala jako naprosto dostatečná pro přichycení křídla o rozpětí 2m.

Odtrhová síla 90N zároveň dovoluje oddělení křídel, pokud během provozu dojde ke kontaktu s překážkou. Díky tomu se v případě havárie snižuje pravděpodobnost poškození nejen modelu, ale také zdraví a majetku třetích osob.

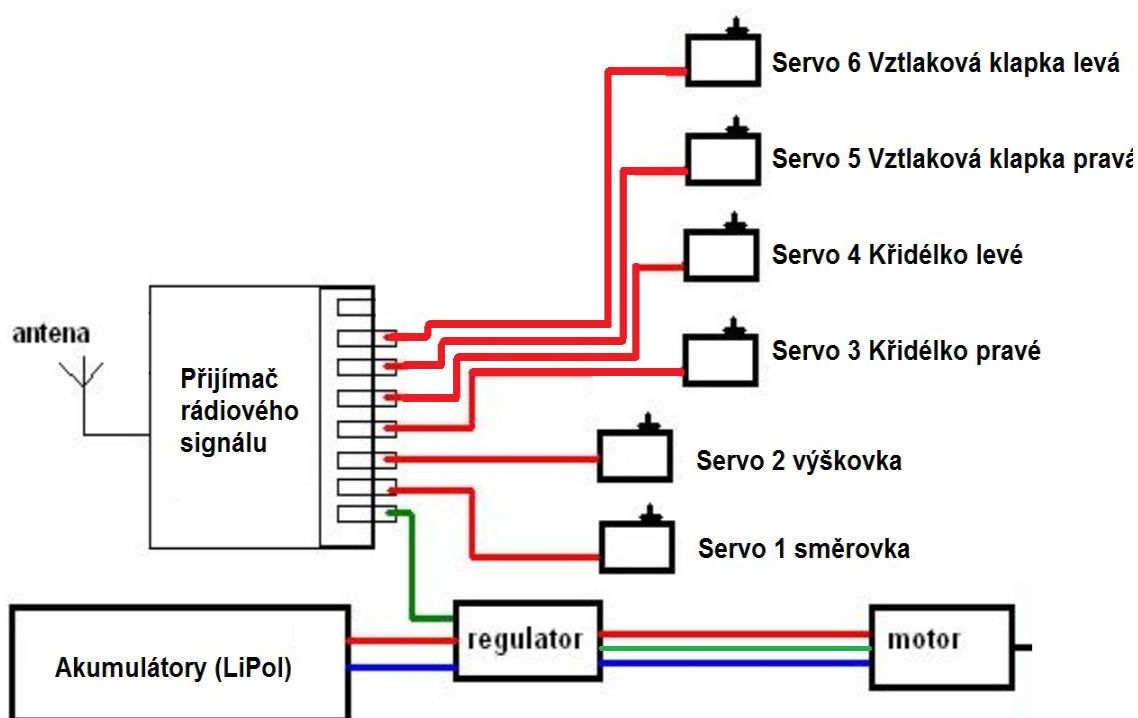
5.7. Montáž palubní elektroinstalace

5.7.1. Zapojení palubní sítě

Vzhledem k rozebiratelnému uložení křídel a stupni mechanizace, kterým je křídlo vybaveno, bylo nutné vyřešit způsob přenosu napájení a ovládacího signálu od přijímače k jednotlivým servům.

V modelu se celkově nachází šest serv, ke každému z nich vedou tři vodiče +, - a signal. Tyto vodiče jsou vedeny na poměrně značnou vzdálenost. Jejich celková délka u tohoto modelu přesahuje 3m.

K propojení jednotlivých serv s přijímačem posloužily třížilové vodiče s koncovkami pro opakovanou montáž a demontáž serv, vyráběné českou modelářskou firmou MP-JET. Tyto vodiče byly upraveny na patřičnou délku pájením. Palubní elektroinstalace je schematicky naznačena na následujícím obrázku.

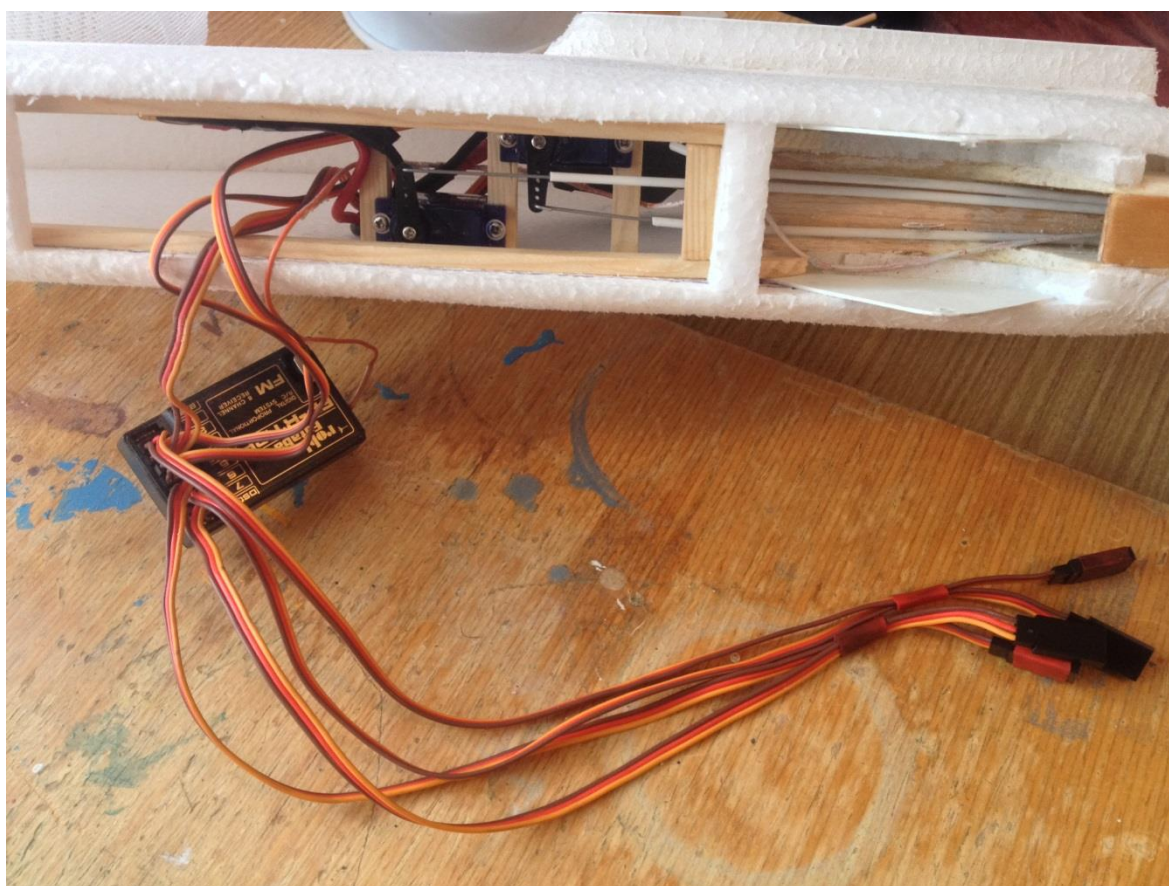


Obr. 109 Schéma palubní elektroinstalace (Autor)

Následující obrázek ukazuje přijímač radiového signálu, se zapojenými servy ocasních ploch a prodlužovacími vodiči, které slouží k napájení a přenosu řídicího signálu k servům v křídlech.

Délka každého prodlužovacího vodiče vedeného trupem je 30cm. Délka vodičů zalepených v křídle je 60cm u křídélkových serv a 30cm u serv vztahové mechanizace.

Celková délka potřebné kabeláže je tedy 320cm a její celková hmotnost včetně konektorů 87g. Tvoří tak přibližně 7% vzletové hmotnosti modelu (1300g).



Obr. 110 Osmikanálový přijímač radiového signálu Futaba s připojenými prodlužovacími konektory a servy ocasních ploch (Autor)

5.7.2. Montáž pohonné jednotky

Pohonná jednotka je tvořena střídavým elektromotorem s rotačním pláštěm ASTRIA BM 2217 1060kV a vrtulí GWS 1040, připevněnou pomocí duralové montážní příruby. Její součástí je také elektronický regulátor otáček SIMONIZ 20A. Všechny tyto díly jsou dodávány jako hotová modelářská elektronika.

Jejich spojení je provedeno připájenými zlacenými konektory o průměru 5mm, které autor s oblibou používá. Tyto konektory jsou vhodné pro maximální proudy do 30A, což je pro danou aplikaci zcela dostatečné.

Změřený proudový odběr s danou vrtulí byl špičkově 18A a 15A trvale, s přípustí nastavenou na plný výkon. Tah změřený při tomto odběru pomocí váhy odpovídal přibližně 9,12N (930g).

Uchycení pohonné jednotky do trupu je řešeno jako rozebiratelné, pomocí čtyřech vrtulů 2x8mm. Vrutky jsou zašroubovány do přepážky, která je slepená z desky třívrstvé letecké překližky a balzy 4mm.

Motorová přepážka je při pohledu ve směru letu zalepena pod úhlem cca 4° dolů a 2° doprava. Díky tomu jsou potlačeny reakční momenty, které vznikají rotací masy motoru. Toto vyosení také snižuje vliv aerodynamických sil, které souvisí s vlastnostmi vrtulového proudu a s jeho asymetrickým obtékáním SOP.



Obr. 111 Pohonná jednotka a motorové lože (Autor)

5.7.3. Montáž serv pro ovládání ocasních ploch

Následujícím stavebním krokem byla montáž serv pro ovládání ocasních ploch.

Ocasní plochy ovládají serva Tower Pro SG 92 R s maximálním tahem 2,8kg. Tato serva jsou umístěna v trupové gondole u kořene nosníku ocasních ploch. Jejich montáž je provedena ocelovými šrouby do nosníků ze smrkových lišt 5x5mm. Kvůli malé stavební šířce trupu, kterou autor volil pro snížení škodlivého aerodynamického odporu trupu, musí být serva ocasních ploch umístěna za sebou.

Jejich montáž je provedena v nejnižším místě trupu, přímo pod krytkou pro výměnu akumulátorů.

Toto umístění umožňuje pohodlný přístup k servům pro případné seřízení chodu lanovodů, nastavení nulové polohy ovládací plochy, změnu velikosti páky serva (změna velikosti výchylky ovládací plochy), případně pro servis během provozu.



Obr. 112 Montáž serv pro náhon ocasních kormidel (Autor)

5.7.4. Montáž serv pro ovládání křidélek a vztlakové mechanizace

Běžný způsob náhonu obou křidélek pomocí kulisy, poháněné jedním servem, byl vzhledem k rozebiratelnému způsobu uložení křídel nevhodný. Bylo tedy nutné použít pro náhon každé pohyblivé části mechanizace křídla samostatné servo.

V každé polovině křídla jsou tedy osazena dvě serva. Jedno z nich ovládá křidélko a druhé příslušnou vztlakovou klapku.

Pro pohon křidélek jsou použita 9g miniserva HTX 900, která mají výrobcem udávaný tah 3,7kg. K ovládání vztlakové mechanizace autor zvolil 5g serva HTX 500. Tato serva mají udávaný tah 2,9kg.

Autor vycházel z předpokladu, že zatímco servo křidélka musí mít dostatečný tah pro dosažení maximální výchylky i při vysokých rychlostech letu, vztlaková mechanizace se používá prakticky pouze při vzletu a při přistání, případně během kroužení v termice.

Všechny zmiňované režimy letu se zpravidla odehrávají při nízkých rychlostech. Díky tomu jsou menší i tahové síly, které jsou pro ovládání vztlakových klapek nezbytné.

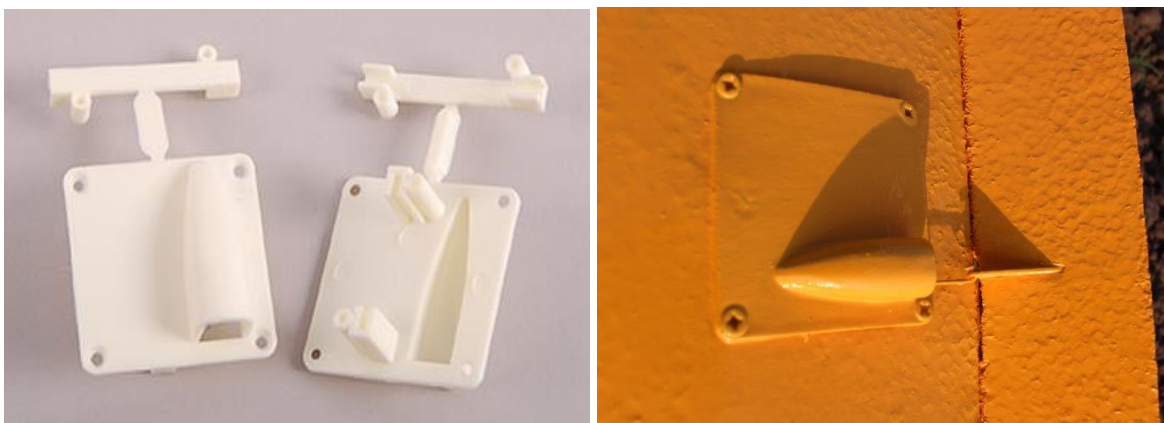
K vedení napájení a ovládacího signálu slouží třížilové vodiče MP JET.



Obr. 113 Vedení kabeláže k servům v křídlech (Autor)

Montáž serv křidélek a vztlakových klapek v křídle je řešena pomocí plastových krytek. Tyto krytky jsou prodávány v modelářských prodejnách jako příslušenství pro stavbu modelů letadel. Jejich upevnění do křídel je provedeno pomocí vrutů se zápustnou hlavou.

Rozebíratelný způsob montáže serva je velmi důležitý pro naprogramování správného chodu před zalétáváním, pro změnu velikosti vychylek, nastavení nulové polohy páky a také pro případnou výměnu vadného serva.



Obr. 114 Krytka serva vztlakové klapky (Autor)

5.8. Povrchová úprava

Pro finální povrchovou úpravu modelu byly zvoleny výrazné odstíny syntetických barev Industrol, se kterými má autor v modelářské praxi dobré zkušenosti. Zbarvení modelu bylo inspirováno druhoválečnými bezpilotními letouny britské provenience.

Nosné a ovládací plochy těchto strojů bývaly často natřeny výraznou žlutou barvou tak, aby měl operátor za letu dobrý přehled o poloze stroje. Při bližším letu pro ověření funkce ovládání pak byla také snadněji rozpoznatelná velikost aktuální výchylky řídicích prvků.

Pro barvení EPP se autorovi nejlépe osvědčilo používat štětce s tuhými štětinami. Nanášení barvy jinými postupy (stříkáním, válečkem) nevede k požadovaným výsledkům. Barva nezateká správně do pórů materiálu a je nutné ji nanášet větší množství, což zbytečně přidává modelu na hmotnosti.



Obr. 115 Finální barevná úprava modelu (Autor)

5.9. Fotografie hotového modelu



Obr. 116 Hotový model (Autor)

Jedním ze základních požadavků na budoucí model byla jeho snadná přepravitelnost. V rozloženém stavu "Letoun" zabere prostor (120 x 30 x 10) cm. Sestavení před letem trvá přibližně dvě minuty a model připravený k letu má rozměry (200 x 120) cm.



Obr. 117 Hotový model v rozloženém stavu, připravený k transportu (Autor)

5.10. Zalétávání

Zalétávání modelu probíhalo ve druhé polovině dubna 2017. Program letových zkoušek zahrnoval dohromady 10 zalétávacích letů, během kterých byly ověřovány různé konfigurace modelu.

5.10.1. První let modelu

První dva lety se uskutečnily v neděli 14.4.2017, ještě s provizorním způsobem montáže palubní elektroinstalace, bez podvozku (zálet nad vzrostlou trávou). S externím vedením antény přijímače a bez různých drobných krytek, které nejsou pro provoz modelu nezbytné (jak je patrné z následujících fotografií).

Model letěl hned při prvním letu velmi klidně a nebylo nutné rozsáhlejší trimování. Poloha těžiště tedy byla stanovena správně a model se podařilo postavit souměrný.

Autora překvapila výborná stabilita modelu. Přestože během záletu foukal mírný vítr (3-5m/s), byl letoun velmi stabilní a na stříhy větru a konvektivní turbulence reagoval minimálně. Autorovi nevyhovovala pouze přílišná citlivost na zásahy do výškového kormidla. Před dalšími lety bylo nutné snížit velikost jeho vychylek.

Vzlet byl proveden se vztlakovými klapkami v první poloze (20°). V této konfiguraci je model naprosto nezákladný a jeho chování při ztrátě rychlosti je dobře čitelné.

Po nastoupení cca 30m a akceleraci modelu, došlo v přímém letu k zasunutí vztlakových klapek. Model reagoval na toto snížení aerodynamického odporu zvýšením rychlosti letu a nevykazoval změnu tíživosti. Jeho let se stabilizoval a v souladu s teoretickými předpoklady se také zvýšila jeho stoupavost. Autorem odhadovaná na cca 2m/s při plném výkonu motoru.

Pádové vlastnosti modelu

Po nastoupení dostatečné výšky cca 200m se autor rozhodnul vyzkoušet pádové vlastnosti modelu. Prvním prvkem bylo pokusné překročení kritického úhlu náběhu s násobkem 1, neboli ztráta rychlosti v horizontálním letu s nulovým příčným náklonem a podélným náklonem odpovídajícím kritickému úhlu náběhu.

Autor při provádění tohoto manévru udržoval horizontální let bez příčného náklonu a postupně stahoval plyn. Tendence modelu klesat byla korigována přitahováním výškovky, až do okamžiku překročení kritického úhlu náběhu.

Vztlakové klapky v poloze 0 (0°)

Při překročení kritického úhlu náběhu má model tendenci přepadávat na levé křídlo a pokud pilot včas nezareaguje potlačením výškovky, případně ještě nekontruje směrovkou, dojde k pádu modelu do vývrtky. Pokud pilot pustí ovladače do neutrálu, má model tendenci z vývrtky samovolně vybíhat po přibližně jedné otočce. Ztráta výšky při tomto manévru je zhruba 50m.

Vztlakové klapky v poloze 1 (20°)

Na překročení kritického úhlu náběhu model v této konfiguraci reaguje tak, že se velmi dlouho pouze prosedá a pád po křídle nastává až při plném přitažení výškového kormidla. Po návratu kormidel do neutrálu se model stabilizuje velmi rychle. Ztráta výšky při tomto manévru je zhruba 20m.

Vztlakové klapky v poloze 2 (50°)

Model v této konfiguraci reaguje na překročení kritického úhlu náběhu v horizontálním letu pouze prosedáním a pád po křídle nenastává, ani při plném přitažení výškového kormidla.

S největší pravděpodobností je to dáno především značným aerodynamickým zkroucením křídla v této konfiguraci. K odtržení proudu na křídlech dochází především na jejich vnitřních polovinách, zatímco vnější poloviny křídel ještě stále generují nějaký vztlak.

Po návratu kormidel do neutrálu se model stabilizuje prakticky okamžitě. Ztráta výšky při tomto manévru záleží na pilotovi.

Po provedení těchto manévřů byl program prvního letu vyčerpán a autor pokračoval manévrem pro přistání modelu. Přiblížení na přistání prováděl okruhem, podobně jako se skutečným letounem.

Před třetí okruhovou zatáčkou vysunul autor klapky do polohy 1, opadání modelu se vlivem zvýšeného odporu zvýšilo a jeho let se stabilizoval. Autor během tohoto manévru nepozoroval žádnou změnu tíživosti.

Po dotočení na finále vysunul autor vztlakové klapky do polohy 2 a úpravu rozpočtu prováděl pomocí plynové přípusti.

Samotné přistání probíhalo velmi jednoduše, přetažením a zachycením modelu do vzrostlé trávy. Rychlost pro přiblížení modelu na "finále" s klapkami v poloze 2, je autorem odhadována na přibližně 4m/s.

5.10.2. Fotografie z prvního letu



Obr. 118 První vzlet modelu (Foto Z. Raclavská)



Obr. 119 Fotografie z prvního letu modelu (Foto Z. Raclavská)

5.10.3. Další program zalétávání

Druhý let modelu byl proveden po zmenšení výchylek výškového kormidla a zavedení exponenciálního průběhu (-70%) na směrovém kormidle. Tento let sloužil především k ověření správně zvolené velikosti výchylek ovládacích ploch, a také k vyzkoušení základních akrobatických vlastností modelu.

Po vzletu provedl autor ověření správného nastavení výchylek výškového kormidla, a také správné exponenciality výchylek na všech ovládacích plochách. Reakce modelu na zásahy do řízení byly nyní hodnoceny jako dobré a reakce na ně snadno čitelné.

Po vystoupení do cca 150m vyzkoušel autor při letu cestovní rychlostí tzv. high speed stall. Tedy odtržení proudění na křídle, při letu vysokou rychlostí. Z prvního letu totiž získal dojem, že model k němu bude při zasunutých vztlakových klapkách náchylný.

Při plném přitažení výškového kormidla došlo k okamžitému překročení kritického úhlu náběhu na levém křídle a autorotačnímu otočení modelu do letu na zádech. Autor tento manévr vybral přitažením a obráceným půlpřemetem.

Další program zalétávání zahrnoval základní akrobatické obraty. Model sice není primárně určen pro akrobatické létání, nicméně pro ověření jeho letové obálky je vhodné základní akrobacii vyzkoušet. Jednalo se o přemet, výkrut, souvrat a nožový let. Všechny tyto obraty model zvládnul s přehledem a nožový let byl (zřejmě díky relativně velké boční ploše trupu před těžištěm) velmi snadno říditelný.

Další fáze zalétávání se zaměřovaly na letecké snímkování a hledání optimálního stylu létání, pro pořizování co možná nejkvalitnějších záběrů.

5.11. Závěry ze zalétávání

Jedním ze základních požadavků na model byl krátký čas, potřebný k montáži před letem. Výsledný čas montáže modelu se pohybuje kolem dvou minut.

Dosažení tak krátkého času bylo umožněno především použitím neodymových magnetů 11x3mm, pro suvné přichycení křídla. Toto konstrukční řešení není příliš běžné a autor ho u svého modelu použil poprvé. Nicméně v provozu se plně osvědčilo.

Letové vlastnosti modelu hodnotí autor celkově jako dobré. Oceňuje především jeho vysokou stabilitu v turbulenci a při správném používání vztlakové mechanizace také velký rozsah rychlostí letu. Nicméně jeho letové vlastnosti nejsou vhodné pro úplného začátečníka v RC létání.

Pokud model letí v "čisté konfiguraci", je nutné udržovat si určitou rychlostní rezervu a pokud to není nezbytně nutné, neprovádět utažené zatáčky o náklonu větším než cca 45°. Při nižších rychlostech letu dochází u modelu se zasunutými klapkami k překročení kritického úhlu náběhu poměrně snadno.

Lety v menších výškách (pod 50m), manévry před přistáním a zatáčky s větším náklonem, je vhodné provádět raději se vztlakovými klapkami vysunutými do polohy 1.

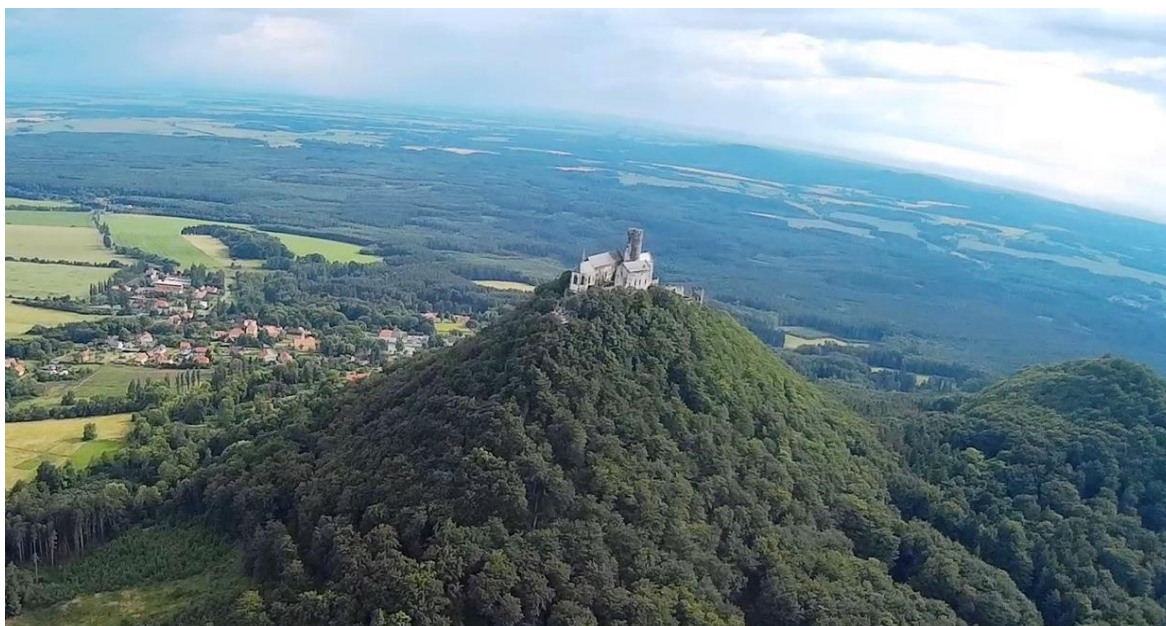
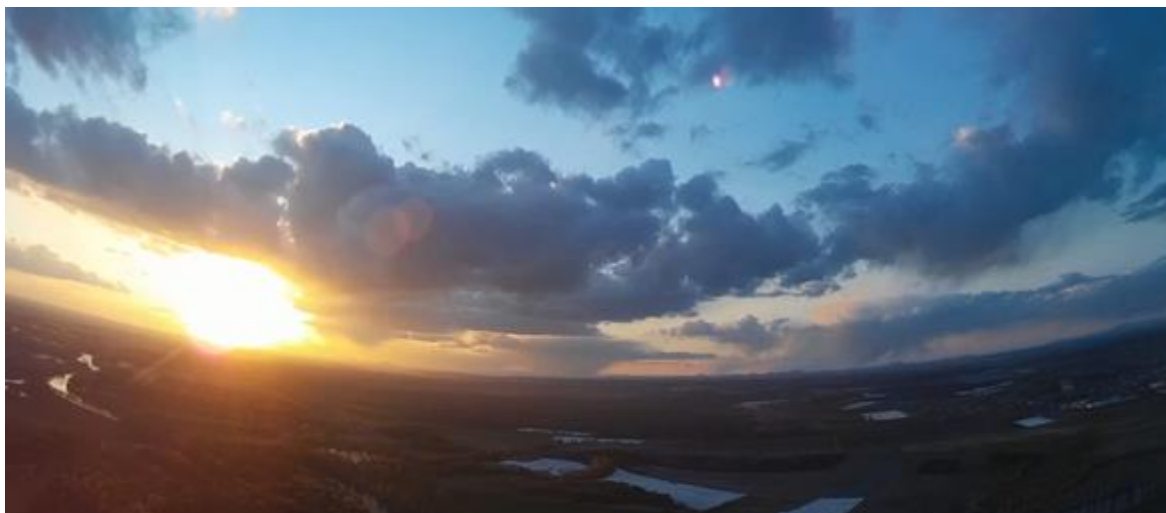
Na druhou stranu vysunutí vztlakových klapek do polohy 1 způsobuje zanedbatelný nárůst aerodynamického odporu a nepřináší prakticky žádnou změnu tíživosti modelu. Díky tomu je možné ponechat klapky vysunuté po značnou část letu, aniž by došlo k výraznému zkrácení vytrvalosti.

Svým letovým projevem model celkově odpovídá autorovým představám. Stabilitou letu v turbulenci dokonce velmi mile překvapil. "Letoun" je schopen potlačovat drobná vychýlení z rovnovážného stavu prakticky sám. Dává tak pilotovi více prostoru pro soustředění se na pořizování kvalitních záběrů.

Pádové vlastnosti modelu v čisté konfiguraci sice nejsou úplně optimální, nicméně vzhledem k možnosti využití vztlakové mechanizace jsou akceptovatelné.

Autor dále uvažuje o montáži turbulátorů na křídlo. Slibuje si od nich zlepšení pádových vlastností modelu a jeho chování při letu na vysokých úhlech náběhu.

5.12. Ukázky fotografií pořízených tímto modelem



Obr. 120 Letecké záběry pořízené modelem "Letoun" - výřezy (Autor)

6. Vývoj a konstrukce modelu letadla pro AP „Quadrokoptéra“:

Tato kapitola se věnuje modelu letadla, který bývá širokou veřejností většinou označován jako “dron”. Jeho správný název zní Quadrokoptéra a dle definice Dodatku X se jedná o model letadla (viz. kapitola 4.1.). V českých odborných kruzích je také poměrně rozšířený zkrácený název “Quadra”.

6.1. Motivace pro pořízení modelu

Hlavní motivací pro pořízení této quadrokoptéry, byla snaha o získání platformy pro letecké snímkování v malých výškách (do 100m) a v malých vzdálenostech od snímaných objektů (za předpokladu dodržení požadavků, daných dodatkem X).

Jedním z důvodů pro pořízení modelu byl také fakt, že zatímco model letounu zabere i v rozloženém stavu poměrně dost prostoru a jeho sestavení na místě trvá nějaký čas, quadrokoptéru je možné trvale převážet v kufru osobního automobilu a je prakticky okamžitě připravena k letu.

Díky tomu je možné zachytit některé zajímavé světelné podmínky a z nich plynoucí kompozice, divokou faunu, případně přírodní úkazy krátkého trvání.

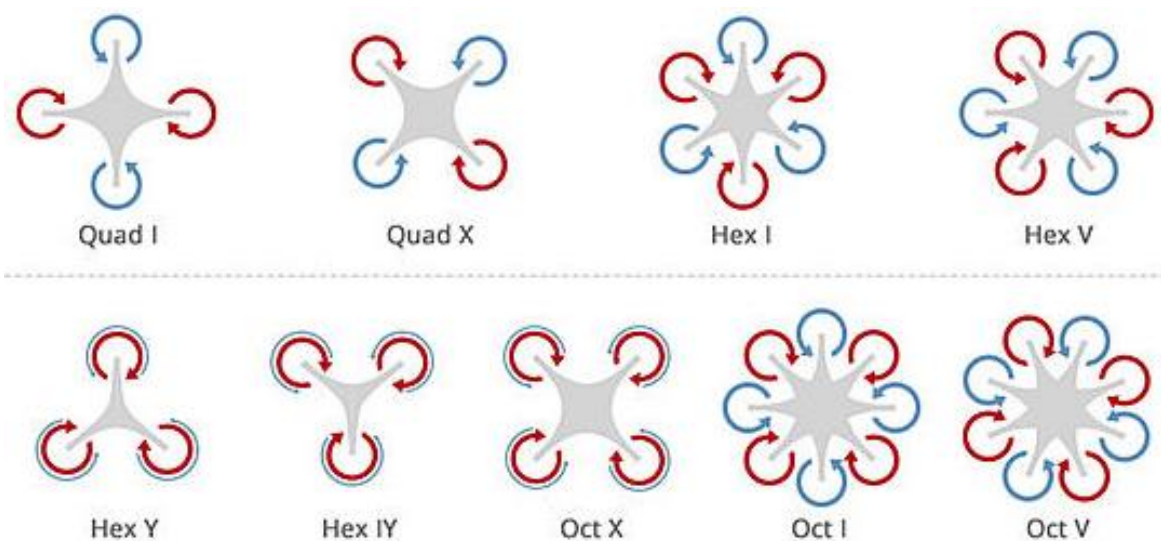
Koptéra navíc není tak citlivá na vítr a turbulence v okolí překážek, jako model letounu.

6.2. Stanovení základních parametrů a volba modelu

Vzhledem k požadavkům na budoucí model bylo autorovi už od začátku jasné, že se bude jednat o koptéru. Volba počtu a uspořádání pohonných jednotek však ze začátku nebyla úplně jasná.

Současné koptéry se podle počtu pohonných jednotek a jejich uspořádání dělí do následujících skupin:

- Uno-koptéry** - pokusné speciály, bohatě stabilizované palubní elektronikou
- Duo-koptéry** - koaxiální s dodatečnou stabilizací pomocí kardanova rámu
- Tri-koptéry** - směrová stabilizace pomocí naklápění zadního motoru servem
- Quadro-koptéry** - nejrozšířenější platforma, vysoká stabilita při nízkých nákladech
- Hexa-koptéry** - velmi stabilní platformy, většinou profesionální drony pro AP
- Okto-koptéry** - konstrukce “dvojitě quadro-koptéry“ se zdvojenými tlačnými/tažnými motory z důvodu bezpečnosti, případně potřeby vysoké nosnosti
- n-koptéry** - stroje pro speciální úkoly, případně prototypy



Obr. 121 Současné typy klasických koncepcí koptér + smysl rotace jejich motorů (rcgroups.com [55])

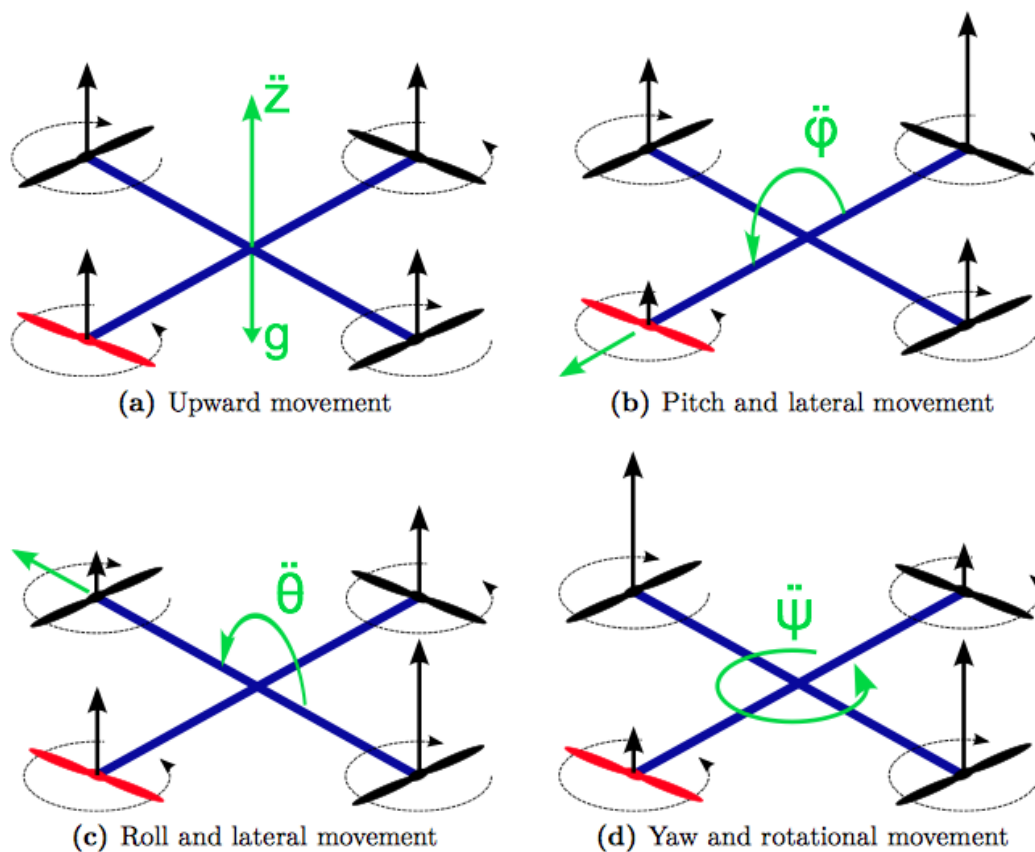
Základním požadavkem na budoucí model byla schopnost dosahovat dostatečných výkonů, při zatížení akční kamerou SJ 4000 ve voděodolném pouzdru a s montážními přírubami. Nosnost modelu by tedy měla být minimálně 200g.

Dalšími požadavky byla Open Source architektura, aby bylo možné model dále vylepšovat (baro senzor výšky, GNSS modul, modul pro FPV, možnost generování signálu pro stabilizátor kamery...).

V neposlední řadě se autor snažil také o minimalizaci pořizovacích nákladů na budoucí model, ne ovšem na úkor jeho spolehlivosti.

Vzhledem ke skutečnosti, že autorovou snahou byla stavba dostatečně stabilního stroje s minimálními pořizovacími náklady, rozhodnul se nakonec pro Quadrokoptér. Tato koncepce je totiž jakousi zlatou střední cestou. Nabízí dostatečnou stabilitu letu, při minimálních pořizovacích nákladech.

Následující obrázek ilustruje princip manévrování quadrokoptéry. Velikost modrých šipek odpovídá velikosti aktuálního tahu jednotlivých pohonných jednotek a červené šipky znázorňují výsledný směr pohybu prostředku.



Obr.122 Způsoby manévrování quadrokoptéry (uav-society.blogspot.cz [56])

Jakmile se autor rozhodnul pro quadrokoptéru, začal se zabývat výběrem vhodného modelu. S ohledem na fakt, že měl k dispozici dostatečně kvalitní kamerové vybavení, kvalitní modelářskou radiostanici a pohonné akumulátory, zavrhnul možnost pořízení hotového setu.

Nejprve uvažoval o stavbě vlastního rámu. Ovšem vzhledem k faktu, že měl do té doby zkušenosti především s modely s pevným křídlem, pouze minimum zkušeností s vrtulníky a nulové zkušenosti s quadrokoptérami, rozhodnul se raději použít za základ pro stavbu profesionální stavebnici. Po krátkém hledání padla volba na F 450 Flywheel, vyráběný společností DJI.

6.3. Stavba modelu

Hrubá stavba quadrokoptéry byla ve srovnání s konstrukcí a stavbou výše zmiňovaného modelu letounu výrazně snazší a rychlejší. Bylo to dáno především faktem, že se autor rozhodnul jako základ pro stavbu tohoto modelu využít stavebnici rámu.

Rám F 450 Flywheel od společnosti DJI, je jakýmsi etalonem mezi stavebnicemi quadrokoptér. Tvoří ho dvě základové desky, vyříznuté z uhlíkového kompozitu. Ramena nesoucí motory jsou vyrobena ze speciálního elastomeru s nasekanými skelnými vlákny. To jim propůjčuje vysokou tuhost při nízké hmotnosti.

Spojení jednotlivých částí rámu je provedeno imbusovými šrouby se závity M2 a M3, které se šroubují do zalisovaných mosazných matic.

Díky tomu je rám jednoduše rozebíratelný a umožňuje jednoduchou montáž a demontáž palubní elektroniky. Daleko jednodušší je také případná výměna poškozených částí.



Obr. 123 Stavebnice DJI F 450 (dji.com [57])

F450 Flame wheel

Specifikace podle výrobce

- Hmotnost rámu 282g
- Diagonální základna 450mm
- Maximální vzletová hmotnost (MTOM) 1600g
- Doporučené motory 22 × 15mm, nebo 22 × 12mm
- Doporučené regulátory ESC 30A OPTO (380-490)Hz
- Doporučené vrtule 10 × 4.5in ; 8 × 4.5in
- Doporučené akumulátory 3S~4S LiPol
-

Vlastnosti modelu testovaného autorem

- Reálná hmotnost rámu 287g
- Předpokládaná vzletová hmotnost (TOM) 1400g
- Reálná vzletová hmotnost včetně kamery (TOM) 1385g
- Použité motory SIMONK 22 x 12 / 920kV
- Použité regulátory SIMONK 30A 490Hz
- Použité vrtule 10 × 4.5in
- Použité akumulátory 3S1P LiPol 3500mAh

Hodnoty tahu použitých pohonných jednotek

Tah každé pohonné jednotky (SIMONK 22x12/920kV s vrtulí 10x4.5in), vyjádřený z praktických důvodů v [g], byl autorem změřen pomocí vahadla připevněného k obyčejné kuchyňské váze.

Přípust' plynu 75% T[g] = 365g (1460g celkem)

Přípust' plynu 100% T[g] = 523g (2092g celkem)

Při předpokládané max vzletové hmotnosti modelu **MTOM = 1600g**, by tedy tyto motory měly mít dostatečnou rezervu tahu, pro zajištění bezpečného letu

6.3.1. Palubní elektroinstalace

6.3.1.1. Řídící jednotka

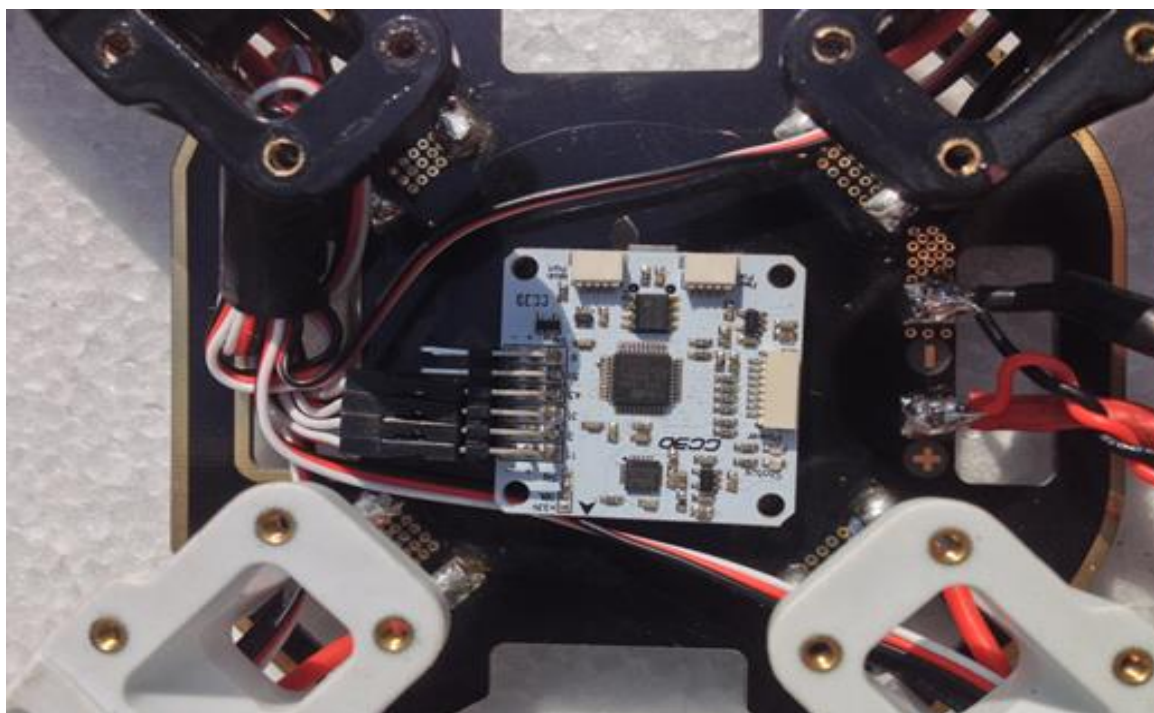
Základním kamenem palubní elektroinstalace tohoto modelu, je jeho řídicí jednotka.

Autor si jako řídicí jednotku zvolil typ CC3D (Copter Control 3D) od firmy Open Pilot. Jedná se o integrovaný obvod, který využívá piezoelektrických gyroskopů.

Pro tento typ se rozhodnul především pro jeho Open Source architekturu, která dovoluje nastavení cca 2 000 parametrů a možnost nahrání různých ovládacích softwarů.

Klíčové vlastnosti CC3D dle výrobce

- Rozměry: 36 x 36 mm
- Hmotnost: 5,6 g
- Procesor: STM32F1, 72 MHz
- Akcelerometr/gyroskop: MPU6000
- Firmware: OpenPilot, CleanFlight, Libre Pilot, BetaFlight
- Připojení k počítači: MiniUSB



Obr. 124 Řídící jednotka Copter Control 3D osazená v modelu „Quadrokoptéra“ (Autor)

6.3.1.2. Pohonné jednotky

Pohonné jednotky této quadrokoptéry tvoří čtyři bezkomutátorové elektromotory s rotačním pláštěm SIMONK 2212/920kV, se speciálními vrtulemi DJI 10x4.5in.



Obr. 125 Elektromotor SIMONK 2212/920kV s vrtulí DJI 10x4.5in (Autor)

Tyto vrtule jsou určeny speciálně pro použití v n-koptérách. Jejich aerodynamické vlastnosti totiž umožňují stabilizované klesání ve visu.

Při tomto způsobu klesání letí koptéra ve vlastních vrtulových proudech a při použití běžných vrtulí dochází k velmi silným vibracím, které zcela znehodnocují pořizované záběry a za určitých podmínek mohou ohrozit bezpečnost letu modelu.

Pro kombinaci těchto motorů a vrtulí se autor rozhodnul především kvůli jednoduchému a rychlému způsobu jejich vzájemné montáže.

Zatímco běžné vrtule se k motoru montují pomocí sklíčidel, gumových unášečů, případně pomocí různých speciálních úchytů. Vrtule DJI 10x4.5in jsou řešeny jako samo-utahovací. Pro montáž vrtule na motor tedy stačí její nasunutí na osu motoru a lehké protočení proti směru rotace. Vrtule se dostatečně dotáhne sama, po roztočení motoru.

Samo-utahovací způsob montáže vrtule výrazně usnadňuje přepravu koptéry a urychluje montáž vrtulí před letem.

6.3.1.3. Regulátory otáček motorů

K ovládní otáček střídavých elektromotorů quadrokoptéry musí být použity speciální regulátory s rychlou odezvou. Regulátory (ESC) a jejich nastavení zásadním způsobem ovlivňují chování koptéry a tvoří mezičlánek mezi řídicí jednotkou a motory.

Hlavním požadavkem pro výběr ESC, je způsob zpracování řídicího signálu a rychlost změny na výstupu. Tedy schopnost rychle reagovat na změny v nastavení otáček motoru.

K připojení regulátorů k elektromotorům slouží zlacené konektory o průměru 5mm, které autor ke kabeláži jednotlivých komponent připájel a náležitě odizoloval, během stavby modelu.

Díky tomuto způsobu spojení je možné prostým zaměněním libovolných dvou dvojic z trojice konektorů, změnit smysl rotace motorů. Zároveň se tím usnadňuje případná výměna elektromotorů (případně regulátorů), pokud by mělo dojít k jejich poškození.



Obr. 126 Konektory pro spojení regulátoru s elektromotorem (Autor)

Průměrné proudové toky za letu odpovídají cca 12A (16A špičkově), na každý motor. Kroucení silových vodičů elektromotoru (dobře patrné v levé části obrázku 126) slouží k potlačení elektromagnetického rušení, které je při těchto proudových tocích emitováno.

Regulátory otáček byly ke konstrukci připevněny pomocí zip-pásek. Tento způsob uchycení umožňuje dostatečné chlazení regulátorů. Navíc je tak zajištěna možnost jejich snadné demontáže a výměny, při případných opravách modelu.



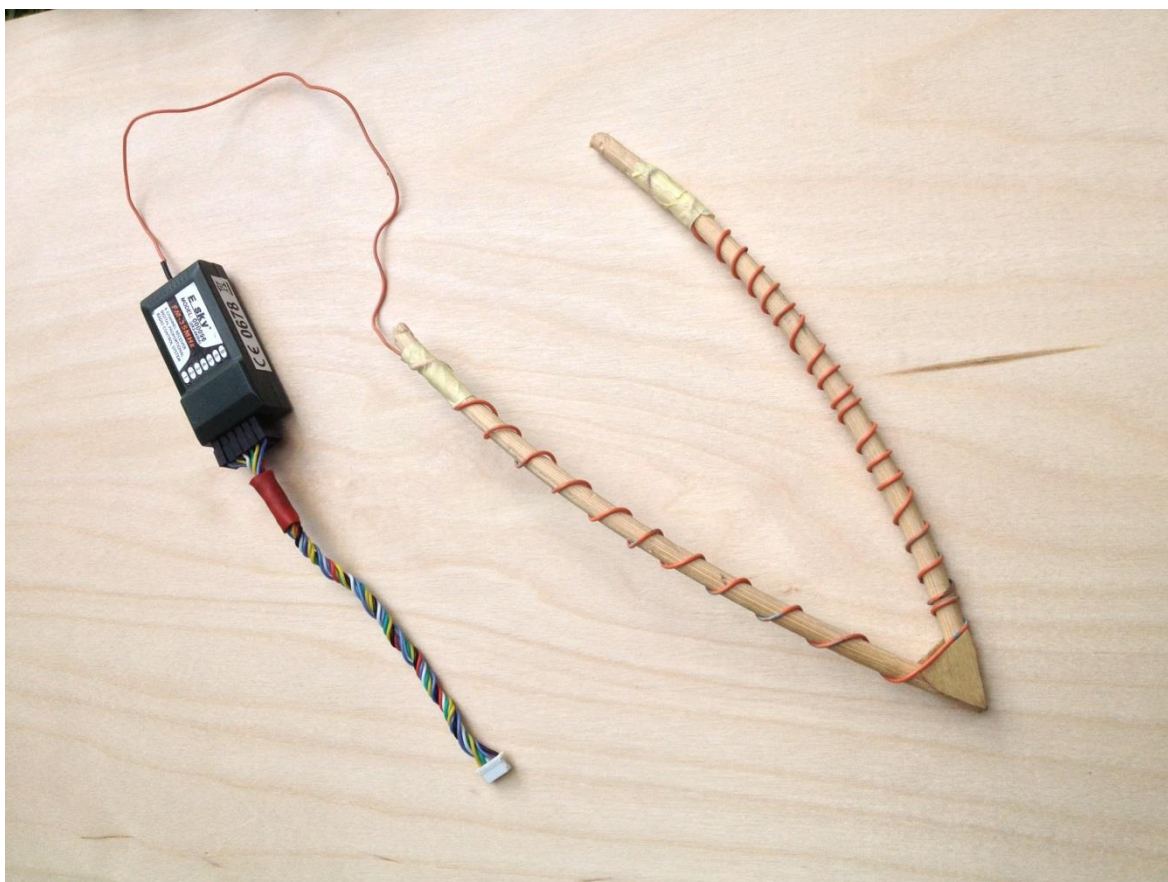
Obr. 127 Připevnění regulátorů otáček ke konstrukci modelu (Autor)

6.3.1.4. Přijímač rádiového signálu

Při použití přijímače ovládacího signálu, který pracuje na frekvenci 35Mhz, bylo nutné řešit uložení jeho antény. Anténa by ideálně měla být umístěna mimo konstrukci modelu, aby se tak minimalizovala možnost elektromagnetického rušení signálu. Anténa přijímače je dobře patrná (na obrázku 128). Tvoří ji mosazný drát o průměru 0,2mm, zatavený v oranžové bužírce.

Pro montáž antény na model použil autor konstrukci slepenou z pedigu. Jedná se o klasický modelářský materiál, který se v současnostním modelářství používá především při stavbě historických modelů. Tento materiál se po namočení snadno ohýbá a má velmi nízkou hmotnost.

Pro toto konkrétní použití je důležitý především fakt, že pedig je elektromagneticky zcela pasivní. Díky tomu mohl být použit jako jádro pro navinutí antény přijímače, která je tak vyvedena mimo zdroje elektromagnetického rušení. Těmito zdroji jsou, kromě silových vodičů napájení, především el. motory a jejich regulátory.



Obr. 128 Přijímač rádiového signálu s anténou na pedigové konstrukci (Autor)

6.3.1.5. Pohonné akumulátory

Jako pohonné zdroje slouží profesionálně vyráběná sada třech Li-Pol akumulátorů s kapacitou 3500mAh. Tyto akumulátory jsou v sadě spájeny sériově. Každý článek má nominální napětí 3,7V. Celkové nominální napětí sady je tedy 11,1V. Konstrukce těchto Li-Pol akumulátorů odpovídá posledním trendům v tomto odvětví a výrobcem je označována jako Nano-Tech. Na rozdíl od starších typů Li-Pol akumulátorů, jsou tyto schopny snášet vysoké vybíjecí a nabíjecí proudy.

Jejich dodavatel BIGHOBBY.cz garantuje vybíjecí proudy 25-50C. Tedy 25-50ti násobek jejich kapacity. Při kapacitě 3500mAh, by tedy sady měly být schopné během vybíjení odevzdávat proudy 87A trvale a až 175A ve špičkách (max 30s).

Vzhledem ke zkušenostem autora s provozem menších akumulátorových sad této konstrukce, je nutné dané hodnoty brát s rezervou. Proudové odběry na hraně výrobcem udávaného rozsahu, totiž výrazně snižují jejich životnost. Během provozu tohoto modelu dosahují proudové špičky max 70A, což zajišťuje dostatečnou rezervu životnosti akumulátorů.



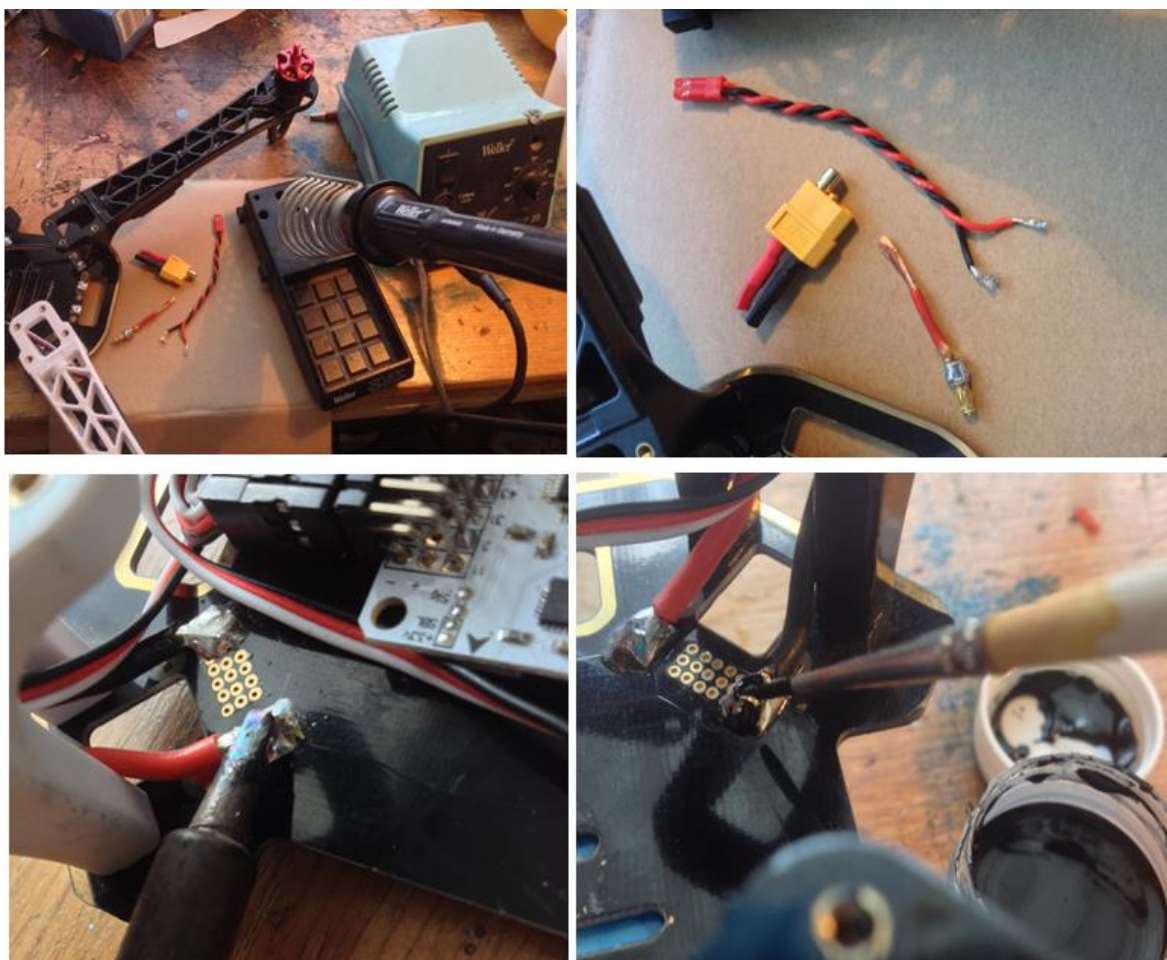
Obr. 129 Akumulátorové sady LiPol 3S1P 3500mAh, používané v modelu (Autor)

6.3.2. Sestavení rámu

Samotné sestavení rámu F450 pomocí dodávaných imbusových šroubů bylo velmi jednoduché a všechny díly při něm dokonale lícovaly. Během sestavování rámu byla zároveň prováděna instalace palubní elektroniky tak, aby při ní byly všechny komponenty dobře přístupné.

Ke spojení jednotlivých komponentů používal autor pájených spojů, případně výše zmiňovaných zlacených konektorů, které ke kabeláži pájel cínovou pájkou a pojišťoval teplem smršťitelnými bužírkami.

Pájené spoje na rámu modelu byly v dalších krocích stavby elektricky odizolovány pomocí speciální barvy na kontakty.



Obr. 130 Pájení elektroinstalace a izolace pájených spojů (Autor)

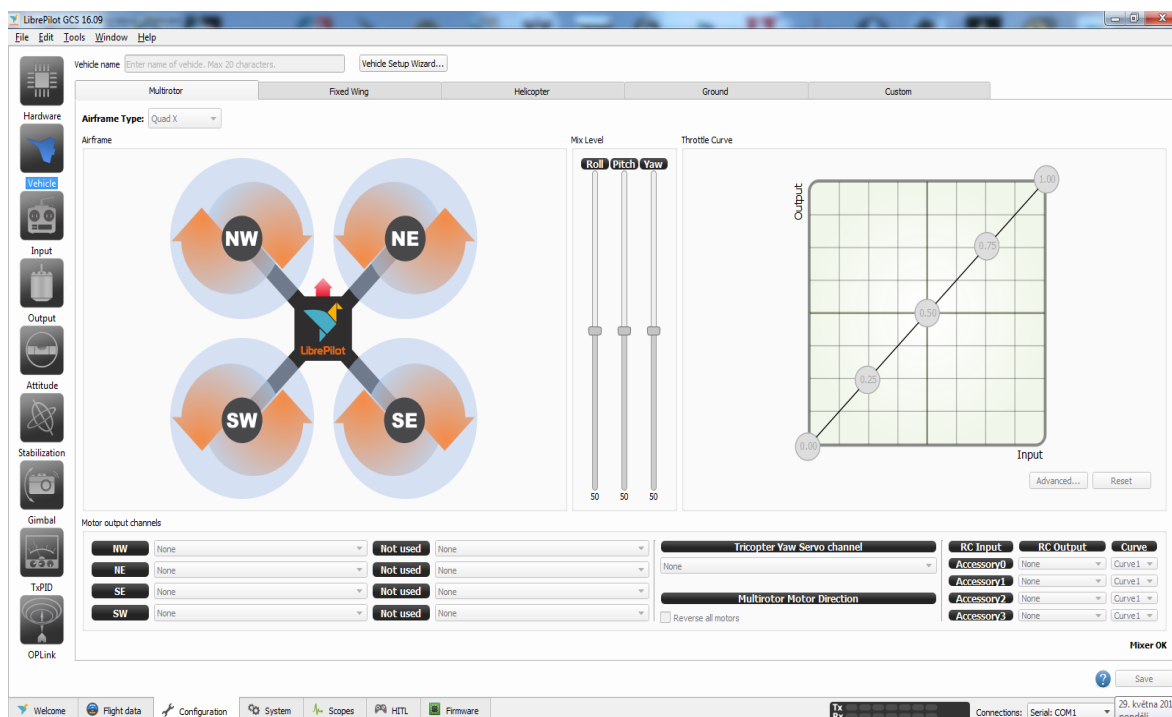
6.3.3. Kalibrace

Jednou z nejdůležitějších úkonů při stavbě nové quadrokoptéry, je kalibrace její řídicí jednotky. Vzhledem k Open Source architektuře CC3D si autor mohl vybrat z několika řídicích softwarů (OpenPilot, CleanFlight, Libre Pilot, BetaFlight...).

Nakonec se s ohledem na zkušenosti ostatních uživatelů rozhodnul pro řídicí software LibrePilot, který nabízí nejlepší uživatelské rozhraní, bez omezení počtu nastavitelných parametrů (cca 2000). Nejprve je nutné provést základní kalibraci dané řídicí jednotky, která může sloužit ke stabilizaci koptér, vrtulníků, plošníků, ale také pozemní techniky.

V dalších krocích provede uživatel nastavení průběhu křivek jednotlivých ovládacích signálů, jejich rozsahy, velikosti zpoždění...atd. Potom následuje definování funkce Fail Safe a nastavení vysílače.

Po provedení prvních zalétávacích letů pak bylo nutné do nastavení několikrát vstoupit a pozměnit hodnoty a průběhy některých veličin. Proces kalibrace a letového testování samotné quadrokoptéry zahrnoval celkem 17 startů a autorovi zabral přibližně měsíc.



Obr. 131 Kalibrace quadrokoptéry v programu LibrePilot (Autor, LibrePilot)

6.3.4. Zalétávání

Zalétávání modelu si celkem vyžádalo přibližně 40 ověřovacích letů (17 pro kalibraci quadrokoptéry + 23 pro zkoušky konstrukčních úprav). Tyto lety probíhaly během února, března a dubna 2017.

Během těchto letů se autor pokoušel najít optimální nastavení řídicí jednotky, naprogramování vysílače a také prakticky ověřoval konstrukční úpravy modelu.

Úpravy konstrukce quadrokoptéry jsou popisovány v následujících kapitolách.



Obr. 132 Jeden z prvních letů s podvěšenou kamerou (Foto Z. Raclavská)

6.4. Úpravy konstrukce

Následující kapitola se bude zabývat úpravami konstrukce modelu, které autor postupně prováděl, s úmyslem získat kvalitní a v praxi použitelnou platformu pro letecké snímkování.

6.4.1. Výroba podvozku

Základní stavebnice DJI 450 je dodávána s minimalistickým podvozkem, který je vhodný pro závodní létání FPV. Případně může sloužit jako základ pro uchycení podvozku vlastní konstrukce.

Během letových zkoušek quadrokoptéry vyzkoušel autor postupně několik koncepcí uspořádání přistávacího podvozku. Každá z nich měla některé klady a zápory, které jsou shrnuty dále.

6.4.1.1. Podvozek z bukových kulatin

Tato varianta podvozku byla využívána při prvních letových testech s podvěšenou kamerou.

Bukové kulatiny byly použity především kvůli snadné montáži na rám modelu pomocí tzv. zip pásek, a také pro jejich nízkou hmotnost. Podvozek z bukových kulatin o průměru 5mm měl dostatečnou pevnost pro umožnění vzletu a přistání modelu. Na druhou stranu sloužil také jako deformační zóna, při případném tvrdším přistání.

Během letových testů popisovaného modelu autor tuto vlastnost několikrát nechtěně prověřil. Při nárazu po tvrdém přistání došlo vždy k prasknutí bukové kulatiny a rám modelu byl tak ochráněn před poškozením.

Podvozkové nohy z bukových kulatin však bohužel vykazovaly při letu modelu s určitými kritickými otáčkami motorů vysokou tendenci k samobuzenému kmitání a zcela tak znehodnocovaly pořizované záběry.

Autor se pokoušel tendenci ke kmitání snížit změnou délky podvozkových nohou. Nicméně úplného odstranění nežádoucích vibrací bylo dosaženo až změnou materiálu.



Obr. 133 Podvozková noha z bukové kulatiny o průměru 5mm (Autor)

6.4.1.2. Podvozek z bambusových kulatin

Během dalších testů vyzkoušel autor vyrobit podvozkové nohy z uhlíkových trubek, prodávaných jako modelářské polotovary. Tento materiál se však během letového testování neosvědčil, jeho schopnost tlumit vibrace byla ještě nižší, než u bukových kulatin.

Třetím materiálem, který se autor rozhodnul použít pro konstrukci podvozku, byl bambus. Bambusové podvozkové nohy měly téměř shodnou hmotnost (23g), jako nohy vyrobené z bukové kulatiny (20g). Jejich pevnost a především odolnost proti kmitání (prokázaná letovými zkouškami) však byla daleko vyšší.

Bohužel ale byla také daleko vyšší jejich odolnost proti zlomení. Díky tomu byla ztracena důležitá vlastnost podvozku, který by měl sloužit jako cíleně udržované slabé místo konstrukce. Větší náraz při nezdařeném přistání modelu, by tak mohl poškodit konstrukci samotného rámu, jehož pořizovací cena dalece přesahuje cenu podvozkové nohy.

Vzhledem k výše popisovaným nedostatkům, se autor rozhodnul pro konstrukci speciálního podvozku.

6.4.1.3. Podvozek ze sendviče uhlík/balza

Ke konstrukci níže popisovaného podvozku se autor rozhodnul na základě zkušeností, popisovaných v předchozích kapitolách. Stanovil si několik základních požadavků, které musí budoucí podvozek splňovat.

Požadavky na podvozek quadrokoptéry

- Odolnost proti vibracím
- Dobrá schopnost tlumení razů vznikajících při přistání v běžném provozu
- Schopnost uložení podvozku zabránit poškození rámu při větším nárazu
- Vysoká pasivní bezpečnost (malá pravděpodobnost poškození majetku a zdraví při případné nehodě modelu)

6.4.1.3.1. Volba materiálu

Po několika pokusech s běžnými modelářskými materiály (Balza, Smrk, Překližka, Dural) dospěl autor k rozhodnutí, využít ke stavbě podvozku desky uhlíkového kompozitu.

Desku tvořenou zapečeným rovingem z uhlíkového prepregu získal autor z přebytků firmy, která se zabývá výrobou uhlíkových dílů pro automobilový průmysl. Jedná se tedy v podstatě o odpadní materiál z výroby. Použitá deska uhlíkového kompozitu má přibližnou tloušťku 1,5mm. Nejvhodnější způsob výroby dílů z takové desky je stříhání, případně řezání speciálním kruhovým nožem.

Uhlíkový kompozit se vyznačuje výbornými mechanickými vlastnostmi, při nízké hmotnosti. Jeho zpracování je však poměrně náročné a je třeba při něm dbát zvýšených bezpečnostních opatření a používat příslušné ochranné pracovní prostředky.

Materiál má totiž tendenci se drobit po hraně řezu do drobných třísek, které se velmi snadno zapichují do kůže, z toho důvodu je nutné používat rukavice a ochranné brýle.

Při broušení uhlíkového kompozitu vzniká velmi jemný prach, který je schopný proniknout běžnými rouškami a který působí v lidském organismu karcinogenně. Je tedy nutné při práci s ním používat speciální roušky a jemné dobroušování provádět pod vodou.

Autor při práci s materiálem nebral výše uváděné zásady na lehkou váhu, požíval všechny předepsané ochranné pomůcky a veškeré práce prováděl v exteriéru.

6.4.1.3.2. Návrh podvozku

Návrh uspořádání budoucího podvozku byl autorem prováděn tak, aby pokud možno splňoval všechny výše uváděné požadavky.

Autor se rozhodnul pro způsob konstrukce ze dvou polovin uhlíkového kompozitu, slepeného pomocí balzového prkénka tloušťky 5mm. Tato konstrukce je velmi jednoduchá a díky balzové výplni je splněn první požadavek na podvozek: Odolnost proti vibracím.

Navíc pokud dojde k opravdu velkému nárazu, měla by balza zafungovat jako deformační zóna a pomoci tak pohltit jeho energii.

Prvním krokem při vývoji podvozku bylo navrhnout jeho tvar. Základní podmínkou byla dostatečná pevnost podvozku. Podvozek zároveň nesmí svou konstrukcí narušovat zorné pole nesené kamery. Jeho linie by měla být jednoduchá, elegantní a s co možná nejvyšší pasivní bezpečností při provozu modelu.

Během volby tvaru podvozkové nohy si autor nakreslil několik různých návrhů, ty následně přenesl na karton a vystříhl. Příkladáním ke konstrukci quadrokoptéry s kamerou v podvěsu z nich potom vybíral funkčně i esteticky optimální variantu.



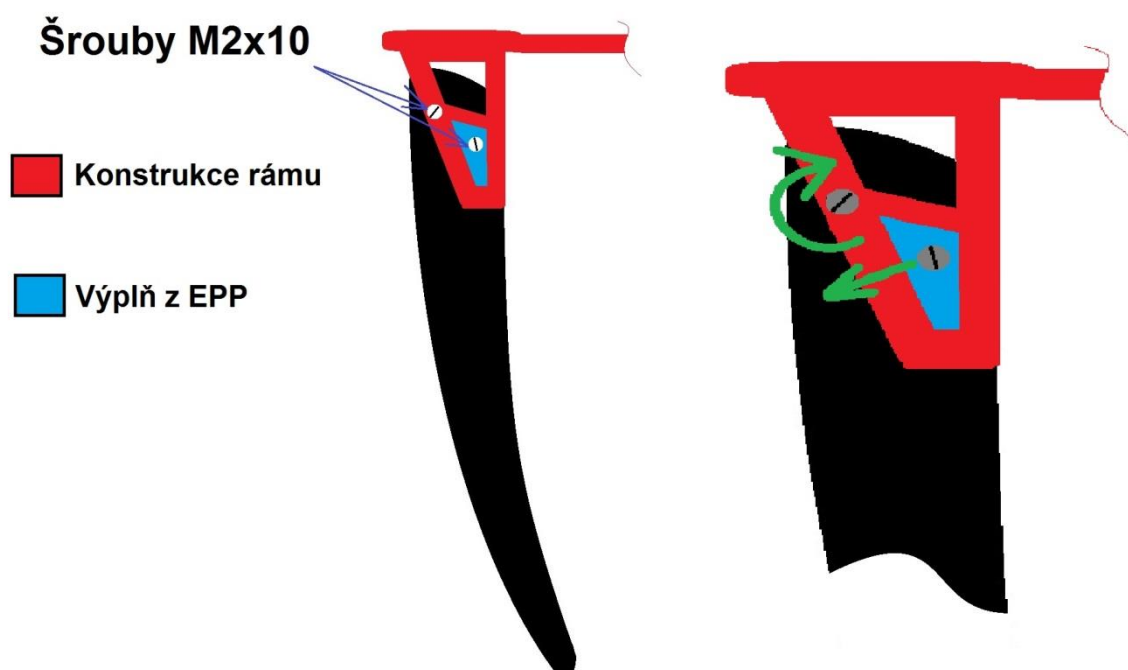
Obr. 134 Orientační výkres podvozkové nohy uhlík/balza (Autor)

Druhým zásadním úkolem při návrhu podvozku, bylo vyřešit způsob jeho uchycení k rámu. Autor se rozhodl pro montáž pomocí dvou šroubů M2x10 s podložkami a maticemi.

Jeden z těchto šroubů je vůči rámu uložen pevně a zachycuje tak surné síly, které na uložení podvozku působí. Nicméně zároveň umožňuje rotaci podvozkové nohy, kolem jejího uložení.

Druhý šroub je uchycen letmo ve výplni rámu z EPP. Tento způsob montáže umožňuje tlumený pohyb šroubu v řádu několika milimetrů vůči jeho uložení.

Díky tomuto způsobu montáže podvozkových nohou jsou splněny tři zbývající požadavky na podvozek: Dobrá schopnost tlumení razů, Schopnost zabránit poškození rámu při větším nárazu, Vysoká pasivní bezpečnost.



Obr. 135 Způsob uchycení podvozkových nohou (Autor)

6.4.1.3.3. Stavba uhlíkovo/balzového podvozku

Samotná stavba podvozku byla zahájena vystřížením a hrubým obroušením polovin podvozkových nohou z uhlíkového kompozitu. Tato práce byla velmi zdlouhavá a zahrnovala použití všech výše zmiňovaných ochranných pracovních pomůcek.

K lepení hrubě opracovaných polovin bylo použito CA lepidlo střední konzistence, které se pro slepování těchto materiálů velmi osvědčilo.

Jak je patrné z následujících fotografií, má vnitřní strana uhlíkové desky matnou, hrubou strukturu. Zatímco vnější pohledová strana byla během zapékání kompozitu přiložena ke skleněné desce a má díky tomu velmi jemnou strukturu.

Hrubé struktury vnitřní strany bylo využito při lepení dílů. Lepidlo má díky tomu mnohem větší adhezi, než by mělo na hladkém povrchu uhlíkového kompozitu.

Vnější strana pak byla ponechána jako pohledová.



Obr. 136 Stavba podvozku (Autor)

Dalším krokem stavby bylo vyvrtání otvorů pro montáž ke konstrukci modelu a tmelení drobných nerovností na hranách nohou, daných vlastnostmi výplňové balzy. K tomu posloužil ultralehký šlehaný tmel.

Po vybroušení tmelených ploch a finálního tvaru podvozkových nohou, došlo na povrchovou úpravu balzových hran. Povrchová úprava byla provedena modelářskou akrylátovou barvou. Uhlíkové části podvozku byly ponechány v barvě materiálu.

Montáž hotových podvozkových nohou byla provedena pomocí ocelových šroubů M2x10, podle výše popisovaného konceptu.



Obr. 137 Výplň části rámu z EPP a montáž p. nohou pomocí šroubů (Autor)

Celková hmotnost podvozkových nohou vyrobených touto technologií je sice (ve srovnání s předchozími variantami) poněkud vyšší (37g), nicméně tento přírůstek hmotnosti je bohatě vyvážen jejich užitnými vlastnostmi.

6.4.1.3.4. Letové testování uhlíkovo/balzového podvozku

Ověření funkce podvozku probíhalo během několika samostatných letů. Nejprve bez namontované kamery v podvěsu. Během této fáze byly s modelem záměrně prováděny tvrdší přistání, aby tak byla ověřena správná funkce podvozku. Během letových testů se potvrdila většina autorových předpokladů a tento podvozek se ukázal jako plně funkční.

Další letové testy probíhaly s kamerou v podvěsu. Vibrace za letu se díky nové konstrukci podvozku výrazně snížily a díky eliptickému tvaru podvozkových nohou se zvýšilo také zorné pole kamery. Tento podvozek se tedy osvědčil a bude na modelu nadále používán.



Obr. 138 Letové testování uhlíkovo/balzovového podvozku (Z. Raclavská)

6.4.2. Výroba uložení akumulátorů

Vzhledem k hmotnosti výše popisovaných pohonných akumulátorů, která činí 270g, bylo nutné vyřešit jejich dostatečně pevné uchycení k rámu modelu.

Pokud by totiž při některém prudším obratu došlo k jejich uvolnění, určitě by to znamenalo výraznou změnu polohy těžiště quadrokoptéry, která by se tak stala obtížně říditelnou. V případě úplného uvolnění akumulátorů, by s největší pravděpodobností následoval neřízený pád modelu.

Konstrukční řešení tohoto uložení by ale na druhou stranu mělo umožňovalo snadnou výměnu akumulátorů, mezi jednotlivými lety.

S ohledem na tyto požadavky navrhnul autor jakousi schránku z překližky a smrkových lišt, která je pevně uchycena do konstrukce rámu pomocí čtyřech mosazných vrtů. Uložení akumulátorů do schránky je provedeno suvně.

Poloha akumulátorů je vůči konstrukci schránky fixována pomocí oka, sešitého z textilní gummy. Navíc jsou akumulátory zajištěny k samotnému rámu pomocí komerčně vyráběného stahovacího pásku se suchým zipem. Tento pásek má výrobcem garantovanou únosnost 20kg, což by (při hmotnosti akumulátorů 270g) přibližně odpovídalo násobku 70G.

Konstrukce upevnění akumulátorů je tak výrazně předimenzovaná a jejich výměna v praktickém provozu je otázkou několika vteřin.



Obr. 139 Schránka pro uložení pohonných akumulátorů (Autor)

6.5. Uchycení kamery k modelu

6.5.1. Uchycení přímo k rámu

Během prvních letových testů modelu s podvěšenou kamerou (SJ4000), se projevila hlavní nevýhoda quadrokoptéry, ve srovnání s modelem letadla. Touto nevýhodou jsou silné vibrace, které vyvolávají i během stabilizovaného letu její motory. Tyto vibrace nejsou nijak výrazně tlumeny konstrukcí jejího rámu.

Prvním krokem k redukci vznikajících vibrací, ke kterému se autor rozhodnul, bylo dynamické vyvážení vrtulí pomocí modelářské vyvažovačky. Tato změna vedla k výraznému snížení vibrací, nicméně jejich intenzita byla stále značná a výsledné záběry tak byly nepoužitelné.

Autor se tedy rozhodnul pro uchycení kamery k rámu modelu pomocí silentbloků.

6.5.2. Montáž kamery pomocí silentbloků

Následující kapitoly popisují vývoj protivibračního uložení kamery.

6.5.2.1. Silentbloky z EPP, molitanu a z vulkanizované pryže

K prvním pokusům sloužily silentbloky, vyrobené z EPP.

Při jejich konstrukci využil autor schopnosti tohoto materiálu dobře tlumit vibrace. Konstrukce silentbloků byla velmi jednoduchá. Tvořily je dvě desky z překližky 1,5mm. Jedna z nich sloužila pro montáž kamery a druhá k jejímu přichycení k rámu. Tyto dvě desky byly spojené tlumícími prvky z EPP.

Základními parametry, které se měnily v průběhu letových testů, byla délka tlumících prvků, jejich uspořádání a způsob upevnění. Změnou těchto parametrů se autor pokoušel nalézt optimální řešení konstrukce, při kterém by docházelo k co nejlepšímu potlačení vibrací kamery. Především pak během kritických otáček motorů ve visu.

Tyto materiály však neposkytovaly úplné odstranění vibrací, které tak i nadále znehodnocovaly pořizované záběry.

6.5.2.2. Silentbloky se silikonovými hadicemi

K vývoji těchto silentbloků vedly autora praktické zkušenosti, popisované v předchozích kapitolách. Jejich konstrukce byla volena s ohledem na splnění několika požadavků.

- Co možná největší tlumící schopnost, především ve visu modelu
- Snadná změna délky tlumících prvků, během letových zkoušek
- Konstrukce by měla být snadno upravovatelná
- Neměly by zbytečně zvyšovat světlou výšku modelu

Z výše zmíněných požadavků vycházela konstrukce silentbloků jako dvou základových desek, spojených pomocí silikonových hadic. Tyto hadice jsou autorem používány pro rozvod paliva u historických motocyklů.

Stavba těchto silentbloků byla velmi jednoduchá a podobala se stavebním postupům, zmiňovaným v kapitole (7.4.1.).

Během zkušebních letů byla tlumící schopnost silentbloků upravována, pomocí změny délky jednotlivých silikonových hadic. Tyto silentbloky byly po několika letech odladěny tak, že bylo možné pořizovat naprosto čisté záběry, nezátížené vibracemi. Bohužel se ale ukázalo, že samotné odstranění vibrací, je pro pořizování kvalitních leteckých videí dostatečné pouze za bezvětří.

Pokud je nutné s modelem manévrovat aby byl vyloučen vliv větru, dochází k jeho náklonu. Tento náklon se potom projeví pořizováním záběrů s šikmým horizontem. Tyto záběry je potom nutné upravovat v různých editorech a není možné dosahovat zcela uspokojivých výsledků.

Dalším vývojem dospěl autor k rozhodnutí, vyrobit pohyblivé uložení kamery pomocí kardanova kloubu (viz. kapitola 7.) Toto uložení by mělo umožnit stabilizaci kamery ve vodorovné rovině a potlačit tak její náklony za letu.

6.6. Ukázky fotografií pořízených tímto modelem



Obr. 140 Fotografie pořízené modelem "Quadroptéra" (Autor)

7. Konstrukce a výroba gimbalu pro stabilizaci obrazu:

7.1. Definice gimbalu

Gimbal je anglický výraz pro kardanův kloub, případně pro uložení se třemi stupni volnosti. V českém odborném slangu se tento výraz používá pro označení zařízení, které používají filmaři pro stabilizaci kamery. Toto zařízení dokáže udržet kameru v dokonale vodorovné, případně jiné přednastavené poloze.

Pořizovací cena profesionálních zařízení používaných pro stabilizaci filmových kamer, se pohybuje v řádech desítek a stovek tisíc korun.

S vývojem miniaturních akčních kamer vyvstala potřeba miniaturizace stabilizačních zařízení. V současnosti je na trhu široký výběr miniaturních gimbalů, které jsou použitelné pro většinu typů akčních kamer. Pořizovací cena malých gimbalů se na Českém trhu pohybuje cca od 5 000Kč do 15 000 Kč.



Obr.141 Profesionálních gimbalů pro klasické a akční kamery (qomra.pro [58])

7.2. Profesionálně vyráběné gimbaly

Jedním z nejlevnějších zařízení pro stabilizaci obrazu, které je už výrobcem určené pro montáž na bezpilotní prostředky, je Brushless gimbal G-3D společnosti Walkera.

Požizovací cena tohoto stabilizátoru se na českém trhu pohybuje kolem 5 000 Kč, prakticky se tedy vyrovná pořizovací ceně výše popisované quadrokoptéry.



Obr. 142 Gimbal Walkera G-3D pro rekreační drony (walkera.com [59])

7.3. Proč se autor rozhodnul pro konstrukci vlastního gimbalu

Hlavní motivací pro výrobu vlastního stabilizátoru byla snaha získat zařízení, které by ideálně pasovalo do použité quadroptéry a jeho montáž by příliš neměnila polohu těžiště a celkovou siluetu modelu.

Komerčně vyráběné gimbaly jsou totiž většinou navrženy pro montáž pod model a jejich konstrukce nebývá zrovna kompaktní.

Mezi dalšími důvody ke stavbě byla snaha o ověření, zda je něco podobného a funkčního zkonstruovatelné a vyrobitelné v amatérských podmínkách. V neposlední řadě pak také snaha o minimalizaci nákladů na samotný stroj.



Obr. 143 Profesionální gimbaly v podvěsu (Hobby King [39])

7.4. Vývoj gimbalu

7.4.1. Stavba Prototypu

Pro konstrukci prvního pokusného gimbalu se autor rozhodnul použít obdobnou technologii, která byla použita při stavbě letounů De Havilland DH 98 Mosquito.

Jedná se o sendvičovou konstrukci z balzy a překližky. Tato konstrukce se díky vysoké stavební výšce vyznačuje značnou torzní tuhostí a pevností, v kombinaci s nízkou hmotností.

Hlavní motivací pro využití tohoto stavebního materiálu, byla snaha o minimalizaci hmotnosti budoucího gimbalu a také možnost úprav během předpokládaného dalšího vývoje. S tímto materiálem se totiž pracuje daleko lépe než s uhlíkovým kompozitem, který byl použit u dalších vývojových verzí zařízení.

Pohyblivé části jsou řešeny velmi jednoduše, pomocí silikonových hadiček na palivo o průměru 6mm. Ty zároveň slouží jako dobrý tlumič všudypřítomných vibrací.

Řídící signál pro ovládání stabilizace gimbalu podél dvou os je generován řídicí jednotkou CC3D, kterou autor používá pro stabilizaci výše zmiňované quadrokoptéry.

K zesílení a přenosu ovládacího signálu na mechanický pohyb, pro ovládání gimbalu, slouží dvě klasická modelářská serva Hitec HS 81. Tato analogová serva mají dostatečný krouticí moment a rychlost odezvy, pro zajištění správného pohybu kamery. Jejich hmotnost spolu s ochranným pouzdem je přibližně 170g.



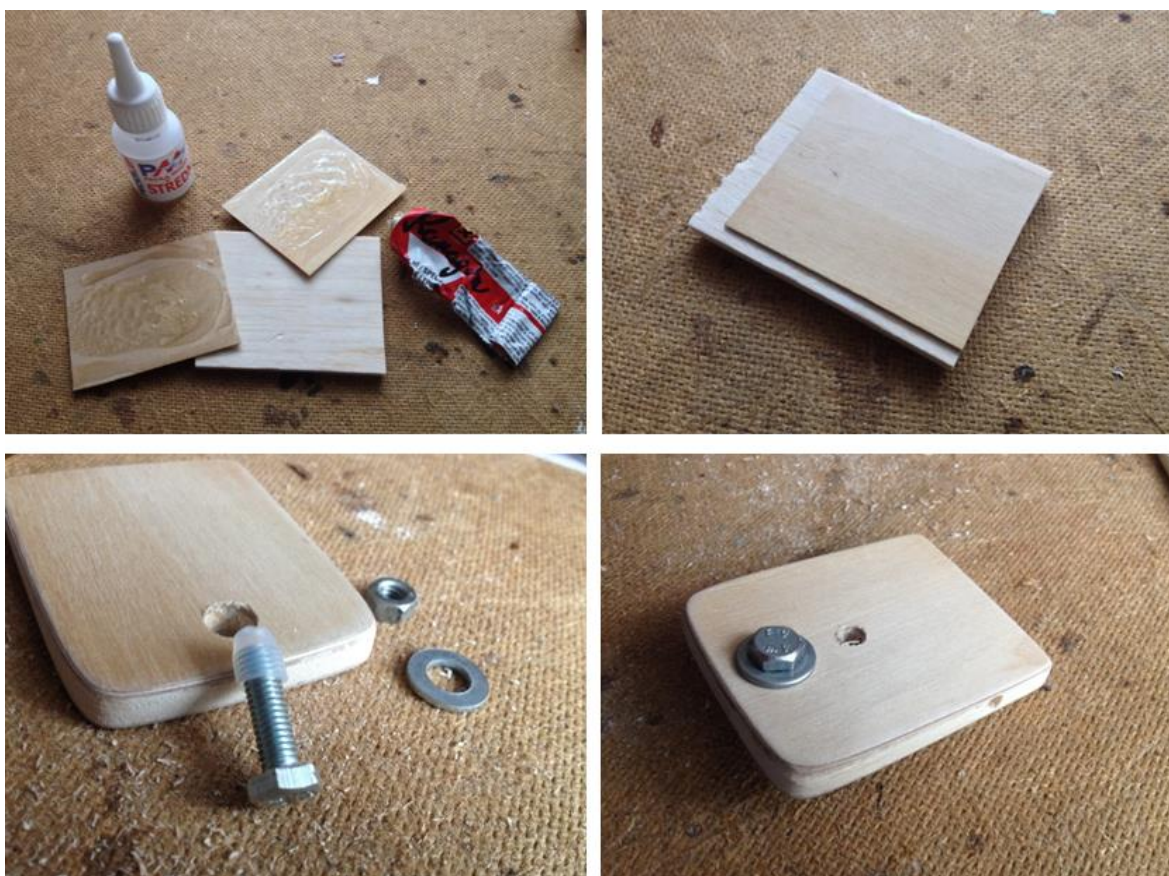
Obr. 144 Sendvičová konstrukce balza-překližka (Autor)

Stavba prototypu byla zahájena vyřezáním a slepením desky pro montáž kamery. Pro lepení balzovo-překližkového sendviče bylo použito metody dvojího lepení.

Kyanoakrylátové kontaktní lepidlo během něj umožňuje přesné usazení dílů a minimální čas na vytvrzení. Kyanoakrylát má navíc vyšší odolnost proti namáhání smykem. Zatímco klasické rozpouštědlové lepidlo, použité na vnitřní části dílu, má po vytvrzení vyšší odolnost na namáhání olupem. Obě lepidla tak společně vytváří mechanicky velmi odolný spoj.

Po důkladném vyschnutí lepidel byla deska opracována a obroušena do svého finálního tvaru.

Následovalo navrtání a vystružení otvoru pro montáž ocelového šroubu, sloužícího k uchycení kamery.

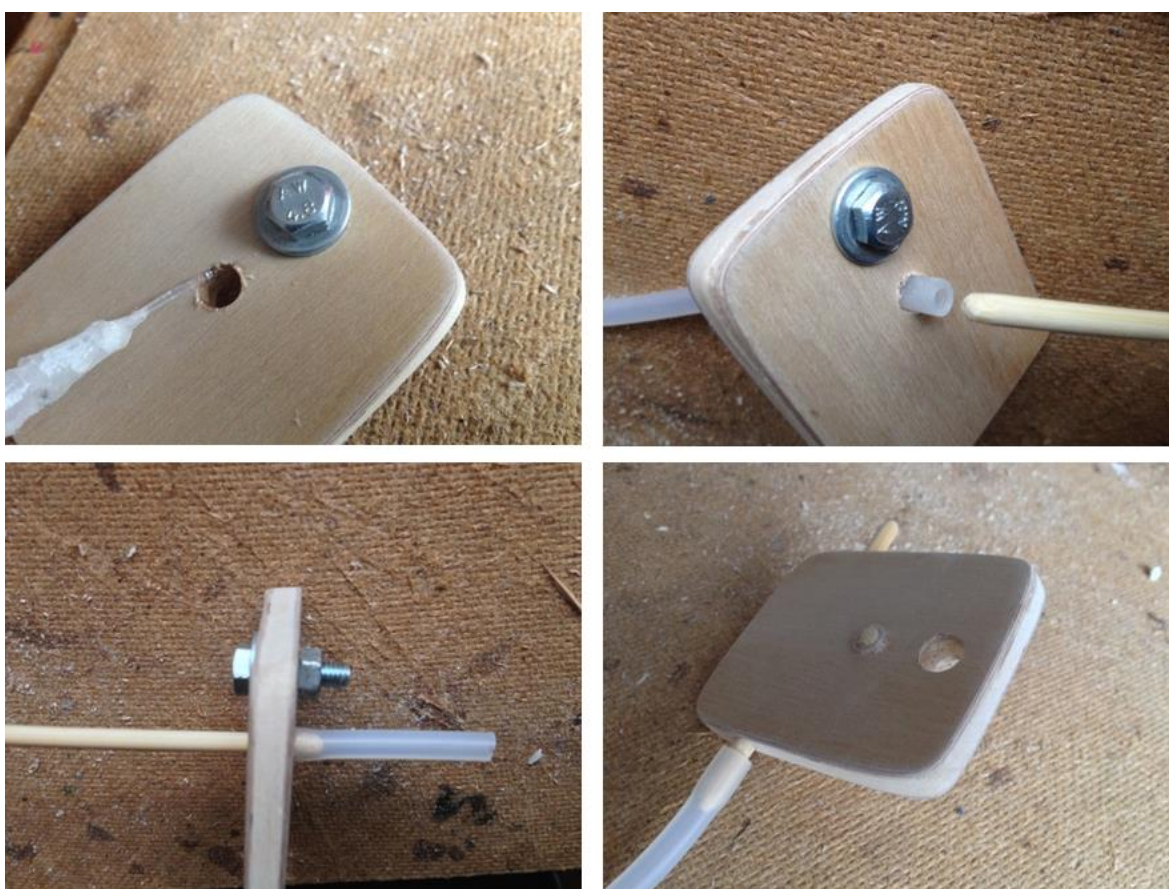


Obr.145 Stavba desky pro připevnění kamery (Autor)

Dalším krokem bylo vrtání a stružení otvoru pro silikonovou hadičku na palivo. Tato hadička tvoří jednoduchý kardanův závěs, který umožňuje pohyb ve dvou osách volnosti, a zároveň účinně tlumí vibrace.

V dalších stavebních krocích byla pomocí bukové kulatiny o průměru 4mm (obroušené do vhodného tvaru), vystředěna a zalepena silikonová hadice hlavního závěsu.

Buková kulatina po zkrácení a opracování posloužila také jako jednoduché vahadlo, pro uchycení silikonových táhel.



Obr. 146 Připevnění silikonového kardanova závěsu a silikonových táhel (Autor)

Stavba dále pokračovala slepením základové desky, která bude sloužit k uchycení kardanova kloubu a k níž budou připevněna ovládací serva.

V dalších stavebních krocích došlo k propojení obou desek pomocí silikonového závěsu a bukové kulatiny, výše popisovaným způsobem.



Obr. 147 Stavba základové desky pro uchycení serv a její spojení s deskou kamery (Autor)

Dalším krokem bylo přišroubování montážní příruby pro kameru a přichycení hotového gimbalu ke konstrukci quadrokoptéry. K tomuto přichycení posloužily pro první letové zkoušky pouze suché zipy.



Obr. 148 Přišroubovaná redukce pro uchycení kamery, montáž serv a pokusné přichycení gimbalu do konstrukce quadrokoptéry (Autor)

Další fází bylo softwarové nastavení řídicí jednotky CC3D tak, aby poskytovala řídicí signál pro serva, která ovládají pohyb gimbalu. Toto nastavení se provádí pomocí softwaru Libre pilot a bude popsáno v následující kapitole.

7.4.2. Nastavení gimbalu v softwaru Libre Pilot

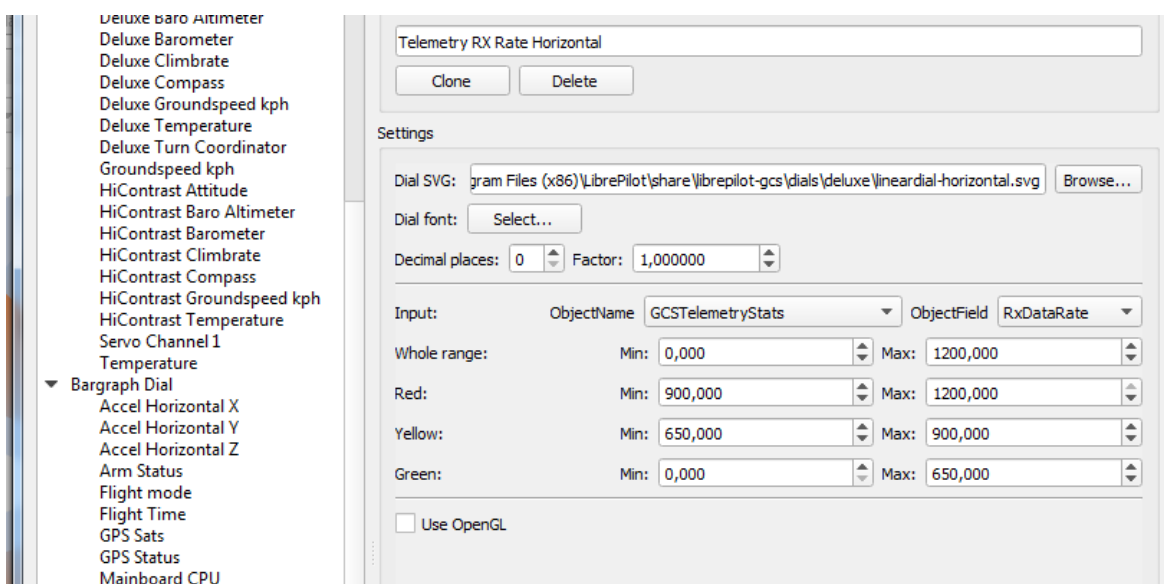
Software Libre pilot umožňuje kromě výše popisovaného nastavení ovládacích a stabilizačních parametrů samotného modelu také využití telemetrie z řídicí jednotky, ke stabilizaci nesené kamery.

Toto nastavení však není úplně přímočaré a vyžaduje hlubší teoretické znalosti funkce jednotlivých komponentů. Tyto znalosti se týkají především velikosti řídicích signálů serv, nastavení jejich zisků a kalibrace střední polohy.

Během své předchozí modelářské praxe neměl autor potřebu se o elektronickou stránku funkce serv příliš zajímat, ovšem nyní si ji musel poměrně pečlivě nastudovat. Vzhledem k prostorovým možnostem této práce se autor omezí na konstatování, že díky kalibraci tohoto zařízení se o elektronickém principu funkce serv dozvěděl mnoho nových informací.

Finální kalibrace gimbalu si vyžádala přibližně 15 testovacích letů, během nichž bylo ověřováno správné nastavení velikosti výchylek serv, rychlost jejich chodu (aby korespondovala s rychlostí manévrování quadrokoptéry), a také schopnost gimbalu potlačovat vibrace celé platformy.

Získané poznatky vedly ke konstrukci finální verze tohoto zařízení.



Obr 149. Ukázka nastavení jednotlivých vlastností serv gimbalu (Autor, LP)

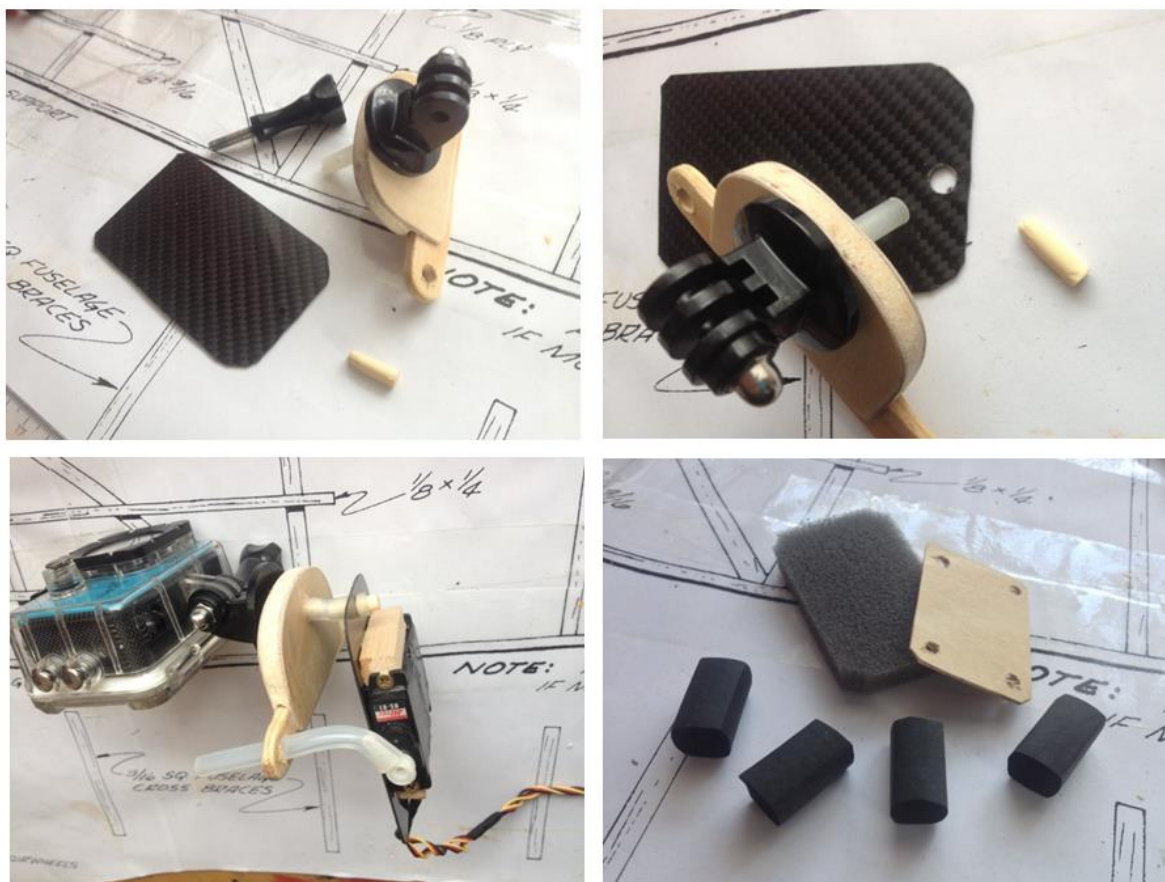
7.4.3. Gimbal z uhlíkového kompozitu

Při konstrukci finální verze gimbálu využil autor zkušeností s předchozími verzemi. Za základ pro stavbu desky pro uchycení kamery posloužila ověřená konstrukce z balzy a překližky, která přináší dobré utlumení vibrací, vznikajících za provozu modelu. Autor opět využil sendviče překližka(1,5mm)/balza(5mm)/překližka(1,5mm).

Pro uchycení ovládacích táhel ze silikonových hadiček posloužil smrkový nosník 3x12mm a plastové Zip pásky. Tento způsob uchycení umožňuje přesnější nastavení délky táhel.

Konstrukce základové desky gimbálu využívá výše zmiňovanou desku z uhlíkového kompozitu. Z této desky byl vystřížen dobroušen finální tvar základny gimbálu. Další stavební operace byly obdobné, jako při stavbě prototypu.

S ohledem na co nejlepší utlumení vibrací byla finální verze gimbálu připevněna k rámu pomocí silentbloků z molitanu a vulkanizované pryže. Po doladění správné funkce zařízení, během letových testů, získal autor funkční gimbal s minimálními pořizovacími náklady.



Obr. 150 Stavba finální verze gimbálu (Autor)

7.5. Porovnání záběrů z modelu před/po montáži gimbalu

Montáž finální verze gimbalu a jeho následná kalibrace si sice vyžádala několik zkušebních letů, nicméně po správném nastavení řídicí jednotky bylo možné pořizovat stabilní záběry až do rychlostí větru přibližně 8m/s.

Díky mechanickému stabilizátoru obrazu bylo dosaženo záběrů, jejichž kvalita je srovnatelná s nejlevnějším komerčně dostupným zařízením (Walkera G-3D). Při srovnávání vycházel autor z posouzení záběrů, které byly pořízeny za použití tohoto stabilizátoru a zveřejněny na Youtube.com.

Hlavním přínosem gimbalu pro pořizování fotografií, je zachování přirozené polohy horizontu během většiny manévřů quadrokoptéry (viz. Obr. 151).



Obr. 151 Porovnání polohy horizontu v náklonu, před/po montáži gimbalu (Autor)

8. Závěr:

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zkonstruovat a postavit dva bezpilotní prostředky, které budou v praxi využitelné pro pořizování amatérských leteckých fotografií a videí. Tento cíl byl splněn a díky tomu autor získal dva funkční a vzájemně se doplňující modely, které může dále nekomerčně využívat k pořizování kvalitních leteckých videí a fotografií.

Teoretická část této diplomové práce by měla čtenáři poskytnout základní přehled o dané problematice a možná také podnítit jeho zájem o ni. Díky zpracování teoretické části se autor dozvěděl velké množství informací, týkajících se historického vývoje a možností využití bezpilotních prostředků.

Při výrobě výše popisovaného modelu "Letoun", mohl autor uplatnit své zkušenosti s návrhem a konstrukcí modelů letadel. Během stavby a následného létání si ověřil funkčnost několika neortodoxních konstrukčních řešení (využití magnetů, způsoby uchycení kamer, stavba z uhlíkového kompozitu...). Tato řešení využije i ve svých budoucích modelech.

Vzhledem k tomu, že autor neměl dřívější zkušenosti s quadrokoptéry, získal během stavby výše popisovaného modelu mnoho nových poznatků. Především oceňuje zkušenosti s řídicími systémy moderních bezpilotních prostředků, které může dále uplatnit nejen ve svém hobby, ale také profesně.

Autor navíc zvažuje použití výše popisovaného modelu "Letoun" jako ověřovacího prototypu, který bude dále vyvíjen. Z výsledné verze stroje by potom mohly vycházet modely pro letecké snímkování, jejichž stavebnice by autor v budoucnu rád prodával. Stavebnice tohoto typu modelů totiž zatím nejsou příliš rozšířené.

Závěrem autor nabízí porovnání vlastností obou postavených strojů.

8.1. Porovnání modelů “Quadrokoptéra“ a “Letoun“

Koncepce obou strojů postavených autorem je diametrálně odlišná. Díky tomu jsou naprosto odlišné i jejich letové vlastnosti. Toho lze v praxi využít a jejich vhodnou kombinací dosahovat kvalitních záběrů. Následuje shrnutí hlavních kladů využití quadrokoptéry a modelu letounu pro letecké snímkování.

8.1.1. Výhody AP speciálu “Quadrokoptéra“

- Pořizování stabilních záběrů v menších výškách
- Menší citlivost na vítr a turbulence v okolí překážek
- Větší manévrovatelnost v malém prostoru
- Větší mobilita provozu (bez nutnosti montáže před letem)
- Možnost zavěšení a volného pohybu ve všech směrech
- Nepoutá pozornost fauny (nepřipomíná predátora, na rozdíl od modelu letounu)

8.1.2. Výhody AP speciálu “Letoun“

- Menší hlučnost (možnost tichého klouzavého letu)
- Vyšší rychlost letu
- Vyšší pasivní bezpečnost provozu (EPP)
- Schopnost snímkovat větší prostor
- Menší energetická náročnost (delší letová doba při stejné kapacitě akumulátorů)
- Lepší přehled o pozici modelu za letu ve větších výškách

Seznam citovaných zdrojů dle pořadí jejich výskytu

[1] etymonline.com

(<http://www.etymonline.com/index.php?term=drone>)

[2] Popular Science, November, 1946

(https://books.google.cz/books?id=_CADAAAAMBAJ&printsec=frontcover&dq=Popular+Science,+November,+1946)

[3] vintagewings.ca

(<http://www.vintagewings.ca/VintageNews/Stories/tabid/1116/articleType/ArticleView/articleId/484/The-Mother-of-All-Drones.aspx>)

[4] understandingempire.wordpress.com

(<http://www.understandingempire.wordpress.com>)

[5] luftarchiv.de

(<http://www.luftarchiv.de>)

[6] National Model Aviation Museum

(<http://www.modelaircraft.org/museum/museum.aspx>)

[7] pimall.com

(<http://www.pimall.com/nais/pivintage/filmocamera.html>)

[8] ruslet.webnode.cz

(<http://ruslet.webnode.cz/technika/ruska-technika/bezpilotni-prostredky/a-n-tupolev/tu-243-vr-3d-rejs-d/>)

**[9] Bakalářská práce, Autonomní létající vozidla, Jiří Bursík, ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA V PLZNI - FAKULTA STROJNÍ, Akademický rok 2013/2014**

(https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/12508/1/bakalarska_prace_Jiri_Bursik-Autonomni_letajici_vozidla.pdf)

[10] Federation of American Scientists

(<http://fas.org/irp/program/collect/pioneer.htm>)

**[11] The Baltimore Sun, Iraqi soldiers surrender to AAI's drones, Ted Shelsby,
March 02, 1991**

(http://articles.baltimoresun.com/1991-03-02/business/1991061100_1_rpv-aai-drones)

[12] defensesystems.com

(<https://defensesystems.com/articles/2015/02/20/us-to-allow-sale-of-armed-drones-to-allies.aspx>)

[13] FRONTLINE, 1995-2014 WGBH educational foundation

(<http://www.pbs.org/wgbh/pages/frontline/gulf/weapons/drones.html>)

[14] pinterest.com

(<https://cz.pinterest.com/pin/146296687867400865>)

[15] CIA Government, 2016

(<http://www.cia.gov>, The Thistle and the Drone: How America's War on Terror Became a Global War on Tribal Islam)

[16] Bombardier

(<http://www.bombardier.com>)

[17] 102. Průzkumný Prapor

(http://www.102pzpr.cz/posledni_let_uav_sojka_iii.html)

[18] forum.valka.cz

(<http://forum.valka.cz/topic/view/41677/CZE-Sojka-III>)

[19] lu.fme.vutbr.cz

(http://lu.fme.vutbr.cz/cuav/index_soubory/prispevky/kuzdas.pdf)

[20] VZLÚ

(<http://www.vzlu.cz/cs/projekt-centra-leteckeho-a-kosmickeho-vyzkumu-2005-2011-c76>)

[21] Onwar.eu

(<http://www.onwar.eu>)

[22] thearkenstone.blogspot

(<http://thearkenstone.blogspot.cz/2011/02/ababil-uav.html>)

[23] Doplněk X k předpisu L2

(<https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>)

[24] Právní aspekty provozu letadel – dronů, Vlastimil Kříž, AUTOMA 1/2016

(<http://docplayer.cz/18775493-Pravni-aspekty-provozu-bezpilotnich-letadel-dronu.html>)

[25] Elektro TZB

(<http://elektro.tzb-info.cz>)

[26] Aerialtronics

(<https://www.aerialtronics.com/search-rescue-sar>)

[27] dronelife.com

(<http://dronelife.com/page/2/?s=underwater>)

[28] popularscience.com

(<http://www.popsci.com/find/SAR%20drone>)

[29] kickstarter.com

(<https://www.kickstarter.com/projects/flying-robots/project-ryptide-a-life-saving-drone-accessory>)

[30] Oregon State University 416 Kerr Administration Bldg. Corvallis, Oregon

(<http://oregonstate.edu/ua/ncs/archives/2017/apr/new-video-shows-how-blue-whales-employ-strategy-feeding>)

[31] sciencemag.org

(<http://www.sciencemag.org/news/2017/02/could-pollinating-drone-replace-butterflies-and-bees>)

[32] Zipline

(<http://flyzipline.com>)

[33] alecmomont.com

(<http://www.alecmomont.com/projects/dronesforgood>)

[34] unmannedcargo.org

(<http://unmannedcargo.org/drones-going-postal-summary-postal-service-delivery-drone-trials/>)

[35] DHL

(http://www.dpdhl.com/en/media_relations/specials/parcelcopter.html)

[36] businessinsider.com

(<http://www.businessinsider.com/google-project-wing-drone-service-2016-8>)

[37] pocket-lint.com

(<http://www.pocket-lint.com/project-wing>)

[38] extremetech.com, Google X reveals Project Wing, autonomous drones that can deliver things 'in just a minute or two', Sebastian Anthony on August 29, 2014

(<https://www.extremetech.com/extreme/188899-google-x-reveals-project-wing-autonomous-drones-that-can-deliver-things-in-just-a-minute-or-two>)

[39] Hobby King

(https://hobbyking.com/en_us/multi-rotors-drones.html?_store=en_us)

[40] landofdrones.com

(<http://landofdrones.com/snimkovani>)

[41] aliexpress.com

(https://es.aliexpress.com/store/product/SkyhawkRC-F900-Octocopter-frame-Kit-RTF-Multicopter-aerial-photography-professional-rc-drone-hobby-model-aircraft-VS/1379878_2054389565.html)

[42] obchodsdrony.cz

(<http://obchodsdrony.cz/dji-mavic-pro-detail>)

[43] oscarliang.com

(<https://oscarliang.com/build-fpv-micro-quadcopter-smallest-quad>)

[44] Český rozhlas, Leonardo – věda a technika, 8. ledna 2016

(http://www.rozhlas.cz/leonardo/technika/_zprava/ehang-184-prerostly-dron-ktery-unese-cloveka—1572059)

[45] ehang.com

(<http://www.ehang.com/ehang184>)

[46] Deník Právo, 9. listopad 2015, Vladimír Vácha, Právo

[47] designboom.com

(<http://www.designboom.com/technology/flyability-gimbal-drone-resistant-collisions-02-10-2015>)

[48] pelikandaniel.com

(www.pelikandaniel.com/Arcus)

[49] Letecké modelářství a aerodynamika, Ing. Bohumil Hoření, Ing. Jaroslav Lněnička, Naše vojsko Praha, 1977

[50] Ing. Jaroslav Lněnička, e-magazín Akademie letectví, 28. 8. 2010

(<http://www.airspace.cz/akademie/rocnik/2010/index.php>)

[51] airfoiltools.com

(<http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=naca4412-il>)

[52] aviationclass.wordpress.com

(<https://aviationclass.wordpress.com/category/basics>)

[53] Vliv uspořádání křídla na příčnou stabilitu letounu, Ing. Dušan Slavětínský, Aerodynamika letadel, 2012

[54] magsy.cz

(<http://www.magsy.cz/24797-neodymovy-magnet-ndfeb>)

[55] rcgroups.com

(<https://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?2112296-DJI-A2-Flight-Controller-Review>)

[56] uav-society.blogspot.cz

(<http://uav-society.blogspot.cz/2014/06/quadcopter-mechanics.html>)

[57] dji.com

(<https://www.dji.com/flame-wheel-arf>)

[58] qomra.pro

(http://www.qomra.pro/index.php?route=product/product&product_id=5066)

[59] walkera.com

(http://www.walkera.com.hk/index.php?route=product/product&product_id=140267)

Literatura použitá při studiu problematiky

DRONES AND AERIAL OBSERVATION, New America, 2015

Drones the complete manual, Imagine Publishing Ltd., 2016

Letecké modelářství a aerodynamika, Ing. Hoření, Ing. Lněnička, Naše vojsko, 1977

Mechanika letu I. Letové výkony, Daněk Vladimír, Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2016

Učebnice pilota, Kolektiv autorů, Svět křídel, 2014

Základy letu, Doc. Ing. Vladimír Daněk, CSc., Prof. Ing. Karol Filakovský, CSc., Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2006