

Drony a jejich využití ve filmové tvorbě

David Korečko

Bakalářská práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav počítačových a komunikačních systémů

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **David Korečko**
Osobní číslo: **A20777**
Studijní program: **B0688A140008 Informační technologie v administrativě**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Drony a jejich využití ve filmové tvorbě**
Téma práce anglicky: **Drones and Their Use in Film Production**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na téma „Drony a jejich využití“ se zaměřením na drony pro záznam videa.
2. Podrobně popište drony z množiny tzv. FPV (First Person View).
3. Detailně rozeberte a popište jednotlivé komponenty potřebné ke stavbě FPV dronu. Věnujte se i popisu různých využitelných kamer.
4. V souladu s předešlými body proveďte návrh a následnou stavbu vlastního dronu.
5. U dronu proveďte nastavení firmware, otestujte jej a uveďte do letuschopného stavu.
6. K práci přiložte záběry natočené Vámi sestaveným dronem.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. NOVÁK, Jan A. Drony: kompletní průvodce včetně přehledu nové legislativy. Praha: Grada Publishing, 2021, 302 s. ISBN 978-80-271-0775-9.
2. JURAČKA, Petr Jan. Drony – fotografování z ptačí perspektivy: co všechno potřebujete vědět o dronech a jejich využití pro leteckou fotografii a video. Praha: Grada, 2017, 103 s. ISBN 9788024757872.
3. KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. Drony. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.
4. KOCOUREK, Jaroslav a Jaroslav ŘEŠÁTKO. Drony: praktická příručka pro majitele dronů DJI. Praha: TELINK, spol. s r.o., 2017. ISBN 978-80-7346-228-4.
5. ŽANDA, Martin. Drony a jejich využití [online]. Vysoké učení technické v Brně. Brno, 2020 [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=212202.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Sysala, Ph.D.**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **2. prosince 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2023**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



doc. Ing. Petr Šilhavý, Ph.D. v.r.
garant oboru

Ve Zlíně dne 8. prosince 2022

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 21.5.2023

David Korečko, v. r.
.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá drony a jejich využitím ve filmové tvorbě. Teoretická část je zaměřena na popis dronu, rozdělení dronů a také legislativu vymezující provoz bezpilotních letounů na území České republiky. Dále se práce věnuje tzv. First Person View neboli FPV dronům a komponentám potřebných pro jejich stavbu a také popisu využitelných kamer pro tento typ dronů. Praktická část se zabývá návrhem, stavbou, nastavením firmware a testováním FPV dronu. Výsledkem práce je letuschopný FPV dron určený pro využití ve filmové tvorbě a také videozáběry pořízené tímto dronem.

Klíčová slova: dron, FPV dron, legislativa, FPV video systém, dálkové ovládání, kamera

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with drones and their use in film production. The theoretical part is focused on description of the drone, categories of drones and also legislation defining the operation of unmanned aircraft on the territory of the Czech republic. The bachelor is also focused on First Person View shortly FPV drones and components needed for their build and also description of cameras available for using with this type of drones. The practical part deals with draft, build, firmware settings and testing FPV drone. The result of the bachelor is airworthy FPV drone designed for use in film production and also video footage filmed with this drone.

Keywords: drone, FPV drone, legislation, FPV video system, remote control, camera

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Tomáši Sysalovi, Ph.D. za jeho čas a velmi cenné rady při vypracovávání mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat také mé rodině, za poskytnutou podporu v průběhu studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 DRON	11
1.1 ROZDĚLENÍ.....	12
1.1.1 Drony bez kamery	12
1.1.2 Drony s kamerou	12
1.1.2.1 Integrovaný záchranný systém.....	13
1.1.2.2 Průmysl	13
1.1.2.3 Logistika	13
1.1.2.4 Zemědělství a lesnictví	13
2 VYUŽITÍ DRONŮ PRO ZÁZNAM VIDEOA	14
3 FPV DRON	15
3.1 ROZDĚLENÍ FPV DRONŮ	17
3.1.1 Závodní FPV dron.....	17
3.1.2 FPV dron pro záznam videa	17
3.1.2.1 CineWhoop	18
3.1.2.2 Freestyle FPV dron	18
3.1.2.3 CineLifter.....	18
4 LEGISLATIVA DRONŮ	19
5 KOMPONENTY FPV DRONU	20
5.1 RÁM	20
5.1.1 Rám typu X	21
5.1.2 Deadcat.....	21
5.1.3 Freestyle rám	21
5.2 MOTORY	22
5.2.1 Stejnoseměrné	22
5.2.2 Bezkartáčové	22
5.3 VRTULE	24
5.4 REGULÁTOR OTÁČEK.....	25
5.4.1 Separátní regulátory	25
5.4.2 Regulátor 4v1	26
5.4.3 Napětí regulátoru.....	27
5.4.4 Maximální proud regulátoru	27
5.4.5 Firmware regulátoru.....	27
5.4.6 Protokol regulátoru.....	27
5.5 ŘÍDICÍ JEDNOTKA	28
5.5.1 Letové režimy řídicí jednotky	29
5.5.2 Firmware řídicí jednotky	30
6 VIDEOSYSTÉM FPV DRONU	31
6.1 ANALOGOVÝ FPV SYSTÉM.....	31
6.2 DIGITÁLNÍ FPV SYSTÉM.....	32
6.3 FPV BRÝLE	33
6.3.1 FPV brýle pro analogový systém	33

6.3.2	FPV brýle pro digitální systém	33
6.4	OSD.....	34
6.5	ANTÉNY	34
7	RC PŘENOS FPV DRONU.....	35
7.1	RC OVLADAČ	35
7.1.1	Form factor.....	35
7.1.2	Ergonomie.....	35
7.1.3	Gimbały.....	36
7.1.4	Spínače	36
7.1.5	Frekvence	36
7.1.6	Počet kanálů	37
7.1.7	Podpora telemetrie	37
7.1.8	Podpora simulátoru	37
7.2	RC PŘÍJÍMAČ.....	38
8	NAPÁJENÍ FPV DRONU	39
8.1	NAPĚTÍ BATERIE A POČET ČLÁNKŮ	39
8.2	KAPACITA	39
8.3	HODNOTA C	40
8.4	KONEKTOR.....	40
9	KAMERY PRO FPV DRONY	41
9.1	GoPro	41
9.2	BLACKMAGIC POCKET CINEMA CAMERA.....	42
9.3	RED KOMODO	42
II	PRAKTICKÁ ČÁST	43
10	STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	44
11	NÁVRH FPV DRONU	45
11.1	RÁM.....	45
11.2	MOTORY	45
11.3	VRTULE.....	45
11.4	FC A ESC.....	45
11.5	VIDEO SYSTÉM	46
11.6	RC PŘENOS.....	46
11.7	BATERIE	46
11.8	ANTÉNY	46
11.9	EXTERNÍ KAMERA	46
12	ZVOLENÉ KOMPONENTY.....	47
13	STAVBA FPV DRONU	48

13.1	PŘÍPRAVA REGULÁTORU	49
13.2	INSTALACE MOTORŮ	50
13.3	INSTALACE REGULÁTORU	51
13.4	PŘÍPRAVA VIDEO VYSÍLAČE.....	52
13.5	OSAZENÍ VIDEO SYSTÉMU.....	53
13.6	ZAPOJENÍ VIDEO VYSÍLAČE.....	54
13.7	PŘÍPRAVA RC PŘIJÍMAČE	55
13.8	ZAPOJENÍ RC PŘIJÍMAČE	57
13.9	ZAPOJENÍ ŘÍDICÍ JEDNOTKY A REGULÁTORU	58
13.10	KOMPLETACE FPV DRONU.....	59
13.11	ZPROVOZNĚNÍ RC PŘENOSU.....	60
13.11.1	Nastavení ovladače.....	61
13.11.2	Aktivace externího modulu Crossfire	62
13.11.3	Párování ovladače s přijímačem.....	63
13.12	ZPROVOZNĚNÍ VIDEO SYSTÉMU	64
13.13	NASTAVENÍ FIRMWARE	65
13.13.1	Aktualizace firmware	65
13.13.2	Nastavení UART	66
13.13.3	Konfigurace parametrů.....	67
13.13.4	Konfigurace směrů otáčení motorů.....	68
13.13.5	Konfigurace kanálů	69
13.13.6	Konfigurace spínačů.....	70
13.14	UVEDENÍ DO LETUSCHOPNÉHO STAVU.....	71
13.14.1	Test failsafe	71
13.14.2	Montáž vrtulí.....	72
13.14.3	Nastavení externí kamery.....	73
13.14.4	Montáž externí kamery	73
13.14.5	Předletová kontrola	74
14	ZÁLET SESTAVENÉHO FPV DRONU	75
	ZÁVĚR	77
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	78
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	82
	SEZNAM OBRÁZKŮ	84
	SEZNAM TABULEK.....	86
	SEZNAM PŘÍLOH.....	87
	PŘÍLOHA P I: OBSAH PŘILOŽENÉ SD KARTY	88

ÚVOD

Během posledního desetiletí došlo k rapidnímu nárůstu využívání moderních technologií běžnými lidmi a staly se tak nedílnou součástí života každého z nás. Technologie začaly pronikat mezi naprosto všechny věkové skupiny obyvatelstva a nyní si jen stěží dokážeme představit život bez nich. S postupným vývojem a neustálým přibýváním nových technologií, došlo ke značnému nárůstu jejich využívání hned v několika oblastech, kde výrazně zjednodušují a zdokonalují pracovní postupy.

Mezi technologie, kterým se v posledních letech dostalo té největší pozornosti patří také drony neboli bezpilotní letouny. Původně pouze dálkově ovládané hračky určené pro zábavu modelářů. V současnosti jsou však drony považovány za špičkovou technologii, která nabyla velmi širokého využití ve všech různých oblastech a dala také za vznik několika nových pracovních pozicím. Certifikovaní piloti dronů jsou dnes hojně využíváni například v průmyslu, armádě, či záchranných složkách. Čím dál větší využívání dronů značně pomohlo také k jejich raketovému vývoji a neustálému zlepšování díky čemuž bylo jejich pole působnosti ještě rozšířeno. Jednou z oblastí, kde drony již dnes zastávají důležitou pozici, je také filmový průmysl. Filmaři jsou dnes schopni osadit bezpilotní letouny filmovými kamerami, které poskytnou špičkový obraz z ptačí perspektivy, bez nutnosti použití helikoptéry s kameramanem. Díky kvalitě obrazu a značným finančním úsporám při pořizování vzdušných záběrů se drony staly nepostradatelnou položkou při natáčení.

Právě využitím dronů ve filmové tvorbě se zabývá tato bakalářská práce. Již několik let se věnuji pilotáži a stavbám bezpilotních letounů určených pro pořizování videozáznamu. Konkrétně speciálnímu typu dronů, tzv. FPV dronům, které se od běžných dronů zásadně odlišují a nabídnou zcela jiný druh záběrů ze vzduchu. I přes fakt že jsou tyto drony schopny díky své rychlosti, manévrovatelnosti a dynamice nabídnout vskutku působivé záběry, nedostává se jim dostatečné pozornosti ze strany filmařů. A právě tento fakt mě motivoval k sepsání této bakalářské práce. V mé práci se věnuji popisu dronů a jejich využití, následně se práce zabývá podrobnou charakteristikou dronů z množiny FPV a také legislativou, která vymezuje provoz těchto letounů. V další části je proveden návrh a stavba FPV dronu a jeho následné uvedení do letuschopného stavu pro využití ve filmové tvorbě.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DRON

Jedná se o bezpilotní letoun, který je často označován zkratkou UAV neboli „Unmanned Aerial Vehicle“. Jako bezpilotní letoun je myšlen stroj, na jehož palubě není přítomen člověk. Dron může být ovládán hned několika způsoby, nejrozšířenějším způsobem ovládání je dálkové ovládání za pomoci rádiového spojení. Dalším způsobem ovládání dronu je možnost využití předem naprogramovaných letových plánů, případně použití autonomních systémů.

Všechny drony mají velmi podobnou strukturu, tvar a součásti, ze kterých se skládají. Základním stavebním prvkem každého dronu je rám, ten bývá vyroben z plastu nebo karbonu. Tvar rámu se liší v závislosti na počtu motorů stroje. V drtivé většině je dron osazen čtyřmi motory, v tomto případě může být stroj označen také jako kvadrokoptéra. Najdou se však případy, kdy je dron osazen šesti, nebo dokonce osmi motory. Letouny se šesti motory jsou označovány jako hexakoptéry a letouny s osmi motory jako oktokoptéry. S použitím více motorů se můžeme setkat především v situacích, kde je vyžadována vyšší nosnost stroje. O správný chod dronu se stará řídicí jednotka a regulátor. Drony určené pro pořizování videozáznamu jsou také vybaveny kamerou a video vysílačem. Tyto dvě součástky se starají o přenos obrazu na zem. U profesionálních dronů bývá společně s obrazem přenášena také telemetrie. V oblasti dronů si pod pojmem telemetrie můžeme představit nespočet různých dat. Velmi důležitými daty pro pilota bývají většinou vzdálenost dronu od místa jeho vzletu, výška, ve které se stroj pohybuje a rychlost jakou se pohybuje. Úplně tím nejdůležitějším ukazatelem však bývá zbývající čas, který je stroj schopen vydržet ve vzduchu. Celý dron bývá napájen baterií, v drtivé většině případů se setkáváme s bateriemi typu LiPo, avšak jsou i výjimky kde nalezneme baterie typu Li-ion.

Jak již bylo zmíněno, nejčastějším způsobem ovládání dronu je ovládání na dálku pomocí dálkového ovladače. Ovladač umožňuje pohyb dronu ve všech směrech, a také i otáčení dronu okolo své vlastní osy. Ovladače zpravidla obsahují i další prvky ovládání. Pod těmi si můžeme představit např. spínače pro přepínání letového režimu nebo prvky sloužící k ovládání kamery. Drony určené pro pořizování video záznamu také v drtivé většině bývají vybaveny GPS modulem, a to především z důvodu bezpečnosti. Dron má informace o bezletových či zakázaných zónách a jestliže se v nějaké z těchto oblastí nachází, je pilotovi zabráněno ve vzletu, další výhodou GPS modulu, je možnost autonomního návratu na místo vzletu v případě chyby či zaváhání pilota. [1]

1.1 Rozdělení

V posledních letech se drony staly poměrně dostupnou záležitostí. I z tohoto důvodu trh s těmito letouny zaznamenal prudký růst a k dostání je velké množství typů dronů. Na trhu se objevují drony určené pro všechny kategorie pilotů, ať už se jedná o profesionály, hobby piloty či úplné amatéry. Zástupce každé zmíněné kategorie má na dron zcela odlišné požadavky a nároky. V závislosti na těchto požadavcích rozdělujeme drony do několika základní kategorií.

1.1.1 Drony bez kamery

Jedná se o letouny, které nejsou vybaveny žádným kamerovým systémem a nejsou tak schopné pilotovi nabídnout jakýkoliv video záznam a slouží tedy pouze pro zábavu. Výhodou těchto dronů je zejména jejich cenová dostupnost, drony této kategorie můžeme pořídit i v řádu stovek korun. I díky tomu, letouny z této skupiny mají oblibu především u úplných začátečníků, kteří se s drony setkávají poprvé. I za takto přijatelnou cenu však pilotovi nabídnou totožné ovládání a princip chování jako všechny ostatní drony.

1.1.2 Drony s kamerou

Modely z této kategorie jsou vybaveny kamerou, nebo alespoň nabízí možnost upevnění kamerového systému. Do této kategorie spadá velmi široké spektrum modelů, neboť i zde se můžeme setkat s modely pro začátečníky a hobby piloty, ale zároveň už i s modely určenými pro profesionální použití. Nároky na kvalitu video záznamu a schopnosti stroje jsou zde to, co hraje při pořizování dronu s kamerou tu největší roli. V této kategorii nalezneme letouny poskytující pouze základní video přenos, který pilotovi umožní lépe a bezpečněji ovládat dron, bez nutnosti pořízení a ukládání video záznamu, ale také stroje, které pořizují a ukládají záběry ve špičkové kvalitě. Avšak pořizování video záznamu nemusí ani zdaleka být hlavním důvodem, proč jsou drony osazovány kamerami. Drony osazené kamerou disponují širokou škálou využitelnosti, a to například v následujících oblastech.

1.1.2.1 Integrovaný záchranný systém

Drony využívané složkami integrovaného záchranného systému bývají nejčastěji osazeny kromě klasické kamery, také termokamerou, díky které jsou záchranáři schopni velmi efektivního pátrání, například po pohřešované osobě v terénu. Kontrast teploty lidského těla s teplotou terénu je natolik zřetelný, že je poměrně snadné z dronu identifikovat lidskou osobu, a to i na vzdálenost několika stovek metrů. Drony lze využít nejen při pátrání po pohřešovaných osobách v terénu, ale také i v těžko přístupných oblastech jakými jsou například jeskyně či sutiny, nebo při katastrofách, kdy není možné zaručit bezpečnost záchranářů. Své zastoupení mají bezpilotní letouny také u Policie, kde jsou schopny měřit rychlost jedoucích automobilů v nepřehledných úsecích, kde není možné využít standartního měření.[2]

1.1.2.2 Průmysl

V oblasti průmyslu jsou bezpilotní letouny využívány hned v několika odvětvích, a to především ke kontrole a odhalování problémů zařízeních. Například při kontrole solárních panelů, je dron schopen pomocí termokamery odhalit vadné, či jinak poškozené články panelu a následně vytvořit 3D termografický model, který zobrazí problémové místa. Dalším využitím je kontrola listů větrných elektráren, komínů, střech nebo vysílačů, kde je možné díky kameře s vysokým rozlišením a vícenásobným optickým zoomem, odhalit případné praskliny či jiné poškození mechanického řádu, a to vše z bezpečí. [3]

1.1.2.3 Logistika

V logistice se s drony můžeme setkat při doručování především léčiv a potravin do těžce přístupných oblastí. Tuto možnost často využívají humanitární organizace při živelních katastrofách, kdy dojde k zamezení přístupu do dané oblasti. Další možností využití dronů v logistice, je doručování zásilek kdy by dron měl být schopen kompletně nahradit práci kurýra a sám by měl vyzvednout zásilku a dopravit ji na adresu klienta. [4]

1.1.2.4 Zemědělství a lesnictví

Zde bývají drony využívány k mapování polí a pozemků. Pomocí termokamer, případně multispektrálních kamer, můžeme odhalit problémové oblasti a odhalit tak například rostliny které trpí nedostatkem vody. V lesnictví jsou pak drony schopny posloužit při ochraně divoké zvěře pomocí termokamery, případně s využitím 3D laserového skeneru vytvářet velmi detailní modely lesa a usnadnit tak jeho údržbu nebo vypočítat kubaturu dřeva. [5]

2 VYUŽITÍ DRONŮ PRO ZÁZNAM VIDEA

Vůbec největšího uplatnění však nacházejí bezpilotní letouny v oblasti kinematografie. Záběry z ptačí perspektivy se postupem času stávají takřka nutností při tvorbě profesionálního videa či filmu. Oproti jiným možnostem, jako je například helikoptéra s kameramanem, jsou drony pro filmové produkce velmi dostupnou záležitostí, a právě proto se s těmito záběry setkáváme stále více.

Pro záznam videa z ptačí perspektivy je na výběr ze dvou základních možností, které výrobci nabízejí. První možností je využití dronu, který je již z výroby osazen kamerou. V dnešní době jsou tyto drony vybaveny velmi kvalitními kamerami a již v řádu desítek tisíc je možné pořídit stroj, který nabídne dokonale stabilní záběry v kvalitě, která pokryje požadavky drtivě většině produkcí. Výhodou této varianty je především její cenová dostupnost a jednoduchost. S tímto typem dronů se však pojí jedna značná nevýhoda, a tou je vzhled a někdy nedostatečná kvalita obrazu. Velkým hráčem na poli s těmito typy dronů je čínská společnost DJI, která pro tyto případy nabízí stroje řady Phantom, Mavic a popřípadě Inspire. Jak již bylo zmíněno, výstup těchto strojů bude pro většinu produkcí dostačující, avšak najdou se situace, kdy tato kvalita nesplňuje požadavky, neboť je potřeba aby výstup z kamery dronu měl stejné rozlišení, formát anebo například barevné vyvážení jako kamera, na kterou je filmován zbytek projektu. Jedná se především o případy filmů, za kterými stojí velké výpravy a cílí na vysoké zisky. V tento moment bývá využívána druhá možnost. Tou je využití dronů, které jsou schopny nabídnout vysokou nosnost. Jedná se o stroje mnohonásobně větší a obtížnější na pilotování. Na tyto drony je však možné upevnit velké filmové kamery. Výhodou těchto dronů je široká škála kamer, které lze na tyto stroje upevnit a také vysoká stabilita i v horších povětrnostních podmínkách. Nevýhodou pak může být například velikost stroje, kvůli které není možné vzlétnout v těsnějších prostorech. Často používaným strojem pro tyto účely bývá například Alta X od společnosti Freefly Systems. [6]

Využívání dronů pro pořizování leteckých snímků, také filmařům značně usnadní dosažení správné kompozice záběru. Pomocí živého přenosu přenášeného na zem, je pilot schopen poměrně snadně dosáhnout požadované kompozice záběru, případně záběr opakovat. Dalším výhodou používání dronů v kinematografii je také možnost využití autonomních režimů, které tyto stroje nabízí. Drony jsou schopné sledovat pohybující se objekty, tím pádem je možné bez zásahu pilota dosáhnout dokonalých záběrů, například jedoucího automobilu či lyžaře jedoucího po sjezdovce. [7]

3 FPV DRON

Další kategorií dronů jsou takzvané FPV drony neboli First Person View drony. Jak již název napovídá, jedná se o stroje pilotované z pohledu první osoby. Drony této kategorie fungují na podobném principu jako běžné, kamerové drony zmíněné v předchozí kapitole a jsou tvořeny stejnými součástkami, které jsou však značně modifikovány, aby vyhověly požadavkům FPV dronu. Pod těmito požadavky si můžeme představit především velikost, odolnost a váhu. Právě tyto vlastnosti hrají v oblasti FPV dronů klíčovou roli.

Jak již bylo zmíněno, drony z množiny FPV jsou si stavbou a vlastnostmi podobné klasickým dronům. Co je však výrazně odlišuje od běžných dronů je především jejich výkon, akcelerace a s ní spojená rychlost. Některé z těchto dronů jsou schopny dosáhnout rychlosti 100 kilometrů za hodinu, již během jedné vteřiny. S těmito hodnotami se pojí jedna velmi důležitá vlastnost těchto strojů, a tou je dynamika. Právě díky dynamice těchto strojů, kterou lze přenést do obrazové podoby pomocí kamer, které je na tyto drony možné upevnit, se s FPV záběry začínáme setkávat i v profesionální kinematografii.

Základním stavebním kamenem je u FPV dronu podobně jako u všech dronů, rám. Zde je však nutné, aby rám disponoval co největší odolností a aerodynamikou, při zachování co nejmenší možné váhy. Pro tyto účely bývá v drtivé většině využíván karbon, který tyto požadavky dokonale splňuje. K rámu jsou připevněny střídavé motory, které zajišťují tah a pohyb stroje ve všech osách. Motory jsou osazeny vrtulemi, u FPV dronů se nejčastěji jedná o vrtule s třemi listy. Motory jsou řízeny řídicí jednotkou a regulátorem otáček.

Dále je dron vybaven FPV systémem. FPV systém je tvořen ze třech základních komponent a těmi jsou kamera, video vysílač a anténa. Tyto komponenty se starají o přenos obrazu z dronu, k pilotovi. Aby bylo možné dron ovládat, je potřeba rádiového spojení, o to se stará další součástka, která se nazývá přijímač. Všechny tyto komponenty potřebují napájení, to zajišťuje baterie umístěná na dronu.

Zmíněné komponenty bývají dodávány separátně, je tedy nutné, aby si FPV dron, pilot sestavil sám. Pro stavbu FPV dronu je nutné disponovat alespoň základními znalostmi z elektrotechniky a také umět pracovat s páječkou. V opačném případě se nabízí možnost sestavení FPV dronu na zakázku, případně pořízení již hotového setu. Což však s sebou přináší značnou nevýhodu, v podobě neznalosti stroje a jeho komponent při případné opravě či údržbě stroje.

Jelikož se jedná o stroje pilotované z pohledu první osoby, k jejich ovládání jsou kromě ovladače využívány také speciální FPV brýle. Jedná se o brýle, do kterých je přenášén obraz z FPV kamery, umístěné na dronu. Pilot se tak stává součástí stroje a nabude pocitu, jako by ve stroji přímo seděl. Jak již bylo zmíněno, jedná se o velmi výkonné stroje, které se pohybují v rychlostech řádově desítek až stovek kilometrů za hodinu. Z tohoto důvodu je nutné, aby obraz z kamery dronu byl do brýlí přenášén s co nejmenším možným zpožděním. Jedná se tedy maximálně o nižší desítky milisekund.

Další odlišností od klasických dronů, je jejich chování ve vzduchu. Na rozdíl od kamerových dronů, kde je pilotovi značně pomáháno řídicí jednotkou, která je schopna dron udržet stabilně ve vzduchu, bez zásahu pilota, zde je v drtivé většině případů nutné, aby pilot dron ovládal po celou dobu letu. Řídicí jednotka má zde značně omezené funkce oproti řídicí jednotce v klasických dronech, což pilotovi velmi výrazně ztěžuje pilotování. Aby byl pilot schopen bezpečně ovládat FPV dron, jsou potřeba měsíce, někdy i leta tréninku. Jakmile však pilot získá dostatek praxe, omezené možnosti řídicí jednotky se stanou výhodou a pilotovi se dostane absolutní svobody ve vzduchu. Což u kamerových dronů řízených stabilizovanými systémy, není možné.



Obrázek 1. FPV Dron [8]

3.1 Rozdělení FPV dronů

Postupným vývojem začalo vznikat stále více různých variant FPV dronu. Každý z těchto strojů slouží pro jiné účely. Některé stroje jsou koncipovány tak aby sloužily pouze pro zábavu, některé naopak slouží pro sportovní účely a jiné zase nacházejí využití v oblasti kineematografie. Každý z těchto strojů je sestaven tak, aby dokonale splňoval potřeby nezbytné pro daný účel. Na základě těchto požadavků rozdělujeme FPV drony do několika kategorií.

3.1.1 Závodní FPV dron

První kategorií jsou závodní FPV drony. Jedná se o drony, které jsou navrhovány tak, aby dosahovaly co největších rychlostí, disponovaly obratností, vysokou akcelerací, a přitom vážily co možná nejméně. Hmotnost těchto strojů se většinou pohybuje v rozmezí 200 až 250 gramů. Tyto drony bývají nejčastěji o velikosti 210 milimetrů. To v oblasti FPV dronů znamená že diagonální vzdálenost od jednoho motoru, k motoru druhému činí právě 210 milimetrů. Tento rozměr rámu je ideální pro splnění nároků na závodní stroj, neboť nabídne nízkou hmotnost a zároveň ho lze osadit dostatečně výkonnými motory s ideálním rozměrem vrtule, které maximalizují výkon stroje.

3.1.2 FPV dron pro záznam videa

Druhou kategorií jsou FPV drony, které jsou určeny pro záznam videa. Drony této kategorie jsou konstruovány za účelem co nejlepšího letového projevu, při zachování dynamiky FPV stroje, navíc ještě s možností upevnění externí kamery pro pořízení videozáznamu. Co se týče hmotnosti a velikosti stroje, je zde poměrně obtížné uvést konkrétní hodnoty, které by byly univerzální pro všechny FPV drony určené pro pořizování videozáznamu, neboť se FPV drony posunuly natolik, že je možné je osadit i velkými filmovými kamerami. To znamená že osadit FPV dron, lze v dnešní době téměř jakoukoliv kamerou. Ať už se jedná například o profesionální filmovou kameru od společnosti RED, která s objektivem váží dva kilogramy, tak můžeme FPV bezpilotní letoun osadit kamerou značky GoPro, která váží okolo 150 gramů. Váha kamery, která bude na dron upevněna je naprosto prioritním ukazatelem, který nám zároveň pomáhá při vybírání komponent na takový stroj. Každý letoun bude tedy pro každou kameru, koncipován úplně jinak. Je potřeba správně zvolit všechny použité komponenty tak, aby byly dostatečně dimenzovány pro danou kameru. V závislosti na hmotnosti kamery rozdělujeme FPV drony určené pro pořizování videa do následujících kategorií.

3.1.2.1 *CineWhoop*

Do této kategorie spadají stroje určené pro použití v kombinaci s malými kamerami. Jedná se o stroje menších rozměrů, které většinou bývají osazeny chrániči vrtulí, sloužící k ochraně okolí při střetu se strojem. Tyto stroje jsou nejčastěji osazovány kamerami GoPro, nebo jejich odlehčenými variantami. Z důvodu jejich velikosti a výkonu v poměru s váhou kamery, se jedná o poměrně pomalé a neobratné drony a jejich předností je především velmi plynulý let a bezpečnost k okolí. Cinewhoopy bývají díky své velikosti využívány především při natáčení v interiérech či stísněných prostorách, jako jsou například muzea nebo prodejny.

3.1.2.2 *Freestyle FPV dron*

Freestyle FPV dron je nejrozšířenějším typem FPV dronu určeného pro záznam videa. Podobně jako závodní FPV dron, jeho rozměr je v drtivé většině 210 mm, avšak oproti závodnímu dronu se odlišuje hned v několika faktorech. A to zejména v konstrukci rámu, ten je zde podstatně těžší, může za to použití vyššího množství karbonu, neboť u těchto strojů jde více o pevnost a odolnost než nízkou váhu. Hmotnost freestyle FPV dronů se pohybuje v rozmezí 300 až 500 gramů. Nejvíce se na těchto strojích objevují podobně jako u Cinewhoopů, akční kamery typu GoPro. I přesto že se jedná o mnohem výkonnější stroje, které nabídnou již dříve zmíněnou dynamiku a obratnost, stále nejsou schopny nést těžší kamery. Využití tohoto typu je skutečně pestré, velikost stále umožní zdatným pilotům použití tohoto stroje v interiérech a zároveň je tento stroj schopen dodat velmi dynamické a akční záběry, například z automobilových závodů.

3.1.2.3 *CineLifter*

Tato kategorie je poměrně nováčkem v oblasti FPV strojů. Jedná se o drony, které jsou osazeny ve většině případů osmi motory a vybaveny velmi výkonnými komponenty. Hmotnost Cinelifterů nalezneme obvykle v rozmezí 1-1,5 kilogramu. Oproti Freestyle FPV dronu jsou Cineliftery vybaveny také podstatně většími vrtulemi a celkově se jedná o stroj značně větších rozměrů. To vše kvůli jejich určení, a tím je vysoká nosnost, při zachování správného letového projevu FPV dronu. S vysokou nosností je spojená možnost nést velké kamery, například typu Blackmagic Pocket Cinema Camera nebo RED Komodo. Díky možnosti osazení stroje těmito kamerami, se již dnes můžeme setkat s FPV záběry v některých nových snímcích z Hollywoodské produkce.

4 LEGISLATIVA DRONŮ

Pokud je právnická či fyzická osoba vlastníkem FPV dronu, je povinna jej registrovat jako jeho provozovatel a označit dron přidělenou značkou. V momentě, kdy vzletová hmotnost dronu přesahuje 250 gramů a dron dosahuje rychlosti 19 m/s a vyšší, je pilot povinen také úspěšně složit online test Úřadu pro civilní letectví. Tento test je složen ze čtyřiceti otázek týkajících se provozu bezpilotního letounů na území České republiky.

V momentě, kdy je stroj registrován a jeho pilot úspěšně složil test, je možné dron provozovat za následujících podmínek. Po celou dobu letu je nezbytné, aby s pilotem dronu byla přítomna druhá osoba, tzv. pozorovatel, který udržuje přímý oční kontakt s dronem a varuje pilota v případě hrozícího ohrožení třetí strany. Je zakázáno, aby pilot provedl let v momentě, kdy pozřel psychoaktivní či halucinogenní látky nebo alkohol, anebo je nemocný. Dále je zakázáno provozovat drony v bezletových zónách jako jsou například národní parky a okolí letišť.

Drony jsou rozděleny do tříd C0, C1, C2, C3, C4, soukromě zhotovený dron do vzletové hmotnosti 250 gramů a maximální dosažitelné rychlosti 19m/s a soukromě zhotovený dron s maximální vzletovou hmotností 25 kg, přičemž podmínky C0 odpovídají soukromě zhotovenému dronu do vzletové hmotnosti 250 gramů a maximální dosažitelné rychlosti 19m/s a třída C4 odpovídá soukromě zhotovenému dronu s maximální vzletovou hmotností 25 kg. Pro všechny kategorie krom C0 platí že pilot musí být starší 16 let, popř musí být pod dohledem osoby splňující všechny požadavky na pilota.

FPV dronů se týkají třídy soukromě zhotovených dronů a třídy C0 a C4. Po určení, do které třídy daný FPV dron patří, lze zjistit kde se s daným strojem dá létat. Existují tři podkategorie provozu. Ve všech těchto podkategoriích platí maximální výška provozu 120 metrů od terénu. První je A1, ve které je zakázáno létat nad shromážděním osob a v bezletových zónách, jinak provoz není nijak omezen a spadají sem drony třídy C0 a soukromě zhotovený dron do vzletové hmotnosti 250 gramů a maximální dosažitelné rychlosti 19m/s. Druhou podkategorií je A2. V této kategorii je nutné dodržovat minimální vzdálenost 30 metrů od nezapojených osob. Vzhledem k nárokům na drony spadající do této podkategorie se FPV dronů příliš netýká. Třetí podkategorií je A3, ta zakazuje létání ve městech a nařizuje minimální vzdálenost 150 metrů od obytných, obchodních, průmyslových a rekreačních prostor a nařizuje létání pouze v oblastech, kde se nenachází žádné osoby třetí strany. Do této podkategorie spadají drony třídy C4 a soukromě zhotovené drony do 25 kg. [9]

5 KOMPONENTY FPV DRONU

Jak již bylo zmíněno, každý FPV dron se skládá z několika komponent. Při jejich výběru je nutné pomýšlet na účel, ke kterému bude následně stroj sloužit. Komponenty všech FPV dronů jsou velmi podobně koncipovány. Můžou se však lišit hned v několika faktorech, jako například určení komponenty pro konkrétní typ stroje, výkon komponenty, nebo její rozměr. Každý FPV dron musí obsahovat následující součásti.

5.1 Rám

První a naprosto základní součástí FPV dronu je rám, který drží všechny komponenty pohromadě a také se stará o jejich ochranu před poškozením. Ten je vyroben z desek z uhlíkových vláken neboli karbonu. Karbon je pro tento typ dronů ideální. Nabídne totiž nízkou hmotnost, která hraje klíčovou roli pro maximalizaci výkonu a efektivity dronu, disponuje také vysokou pevností a tuhostí. Dále karbonový rám disponuje korozní odolností, která vede k vysoké životnosti rámu a je také tepelně stabilní což znamená že u něj nedochází k žádným deformacím vlivem teplotních změn. Rám bývá vyroben z karbonových desek o různých tloušťkách, a to opět z důvodu využití a potřeb konkrétního stroje. Tloušťka se pohybuje v rozmezí 2 až 10 milimetrů. U nejrozšířenějších freestyle FPV dronů bývá tloušťka v drtivé většině případů 5 milimetrů. Tato tloušťka je pro tento typ ideálním kompromisem mezi hmotností a odolností rámu. [10]

Rám má kromě tloušťky karbonové desky a kategorie určení také další specifikace. První z nich je maximální velikost vrtule, kterou je rám možné osadit. Druhou je rozměr řídicí jednotky a regulátoru pro které je konkrétní rám určen, nejčastěji se jedná o řídicí jednotky a regulátory o rozměrech 30x30 milimetrů, jsou však případy, kdy je rozměr 20x20 milimetrů nebo 16x16 milimetrů. Dále se u rámu setkáváme s různou roztečí otvorů pro uchycení motorů, musíme tedy dopředu vědět, jakými motory bude rám osazen. Další vlastností rámu je výška části určené pro komponenty, zde je potřeba aby byl rám dostatečně vysoký tak aby se do něj vlezly všechny použité komponenty.

Rám bývá dodáván společně se spojovacím materiálem, který jej drží pohromadě. Nejčastěji se jedná o šrouby typu M3, u menších strojů se setkáváme se šrouby M2 a u cinelifterů se vyskytují i M4. Dále se zde setkáváme s různými železnými prvky, které slouží k vytvoření místa pro komponenty, nebo k jejich ochraně.

Další vlastností rámu FPV dronu je jeho tvar. Ten se podstatně liší v případě, když se jedná o FPV dron určený pro závodění a FPV dron využíván pro pořizování videozáznamu. Na základě tvaru rámu je rozdělujeme do následujících kategorií.

5.1.1 Rám typu X

Jak již název napovídá, jedná se o rám, který svou konstrukcí připomíná písmeno X. Vzdálenost všech motorů ke středu rámu je tedy stejná. Tento typ rámu bývá často využíván pro závodní drony, a to především díky jeho váze.

5.1.2 Deadcat

Poměrně novinkou mezi FPV rámy jsou rámy tvaru deadcat. Rámy tohoto typu mají specifické uspořádání ramen. Přední ramena jsou nakloněná dovnitř a zadní ramena jsou zase delší a zahnutá ven. Díky tomu že jsou přední ramena posunutá dozadu, tím pádem i motory s vrtulí, se tak vyhneme vrtulím zasahujícím do obrazu kamery. Právě z tohoto důvodu mají tyto rámy využití zejména pro stroje určené na natáčení.

5.1.3 Freestyle rám

Jedná se o nejpoužívanější typ rámu, neboť nabídne dost místa pro všechny komponenty a podstatně tak usnadní stavbu stroje. V minulosti býval často tvořen z jednoho kusu karbonu, což s sebou neslo nevýhodu, kdy v případě zlomení jednoho ramena, bylo potřeba vyměnit celý rám. Dnes však již drtivá většina těchto rámu disponuje oddělenými rameny, kdy je možné vyměnit každé rameno zvlášť. Tyto rámy bývají nejčastěji využívány pro kamerové FPV drony. [11]



Obrázek 2. Rám FPV dronu [12]

5.2 Motory

Dalším, neméně důležitým komponentem FPV dronu jsou motory. Motory u FPV dronu zajišťují otáčení jeho vrtulí a tím pádem i jeho tah. Nejčastěji jsou drony osazeny čtyřmi motory, ale v některých případech, například u cinelifterů, se setkáváme až s osmi motory. Při výběru motoru je třeba brát ohled na požadovaný výkon stroje, použitý rám a velikost a typ vrtule. U FPV dronů se setkáváme se dvěma základními typy motorů.

5.2.1 Stejnoseměrné

Jedná se o typ motorů využívaný zejména u velmi malých dronů, respektive hraček. Stejnoseměrné motory mají svou největší výhodu především ve velikosti, ceně a jednoduchosti ovládní kdy není potřeba použít regulátor otáček. Nevýhodou pak může být jejich malý výkon a životnost. Tyto motory se používaly zejména dříve a dnes je ve všech případech, kde je to možné, nahrazují motory bezkartáčové. [13]

5.2.2 Bezkartáčové

Bezkartáčové motory jsou dnes nejčastěji používaným typem motorů pro FPV drony. Tento typ se skládá ze čtyř základních částí. První z nich je stator, jedná se o část, kterou je motor upevněn k rámu dronu, tato část se tedy neotáčí. Stator je složen z cívek. Další částí je rotor, tedy část, která se otáčí. Rotor je složen z magnetů. Jakmile prochází elektrický proud cívkami statoru, je generováno magnetické pole. Toto magnetické pole interaguje s magnety na rotoru a tím je tvořena rotace celého motoru. Třetí částí je zvon motoru, ve zvonu jsou pomocí lepidla upevněny magnety rotoru a také slouží k ochraně statoru a rotoru. Zvon bývá obvykle vyroben z hliníku, a to především kvůli úspoře hmotnosti. Poslední částí je hřídel, ta je spojena se zvonem motoru a slouží k upevnění vrtule.

Při výběru bezkartáčového motoru pro FPV drony se setkáváme se dvěma parametry. Prvním z nich je hodnota KV, která značí počet otáček za jednu minutu, kterými se motor točí v momentě kdy je do něj přivedeno napětí 1V, bez namontované vrtule. To lze uvést na následujícím příkladu. Motor, který nabízí 2300KV a je napájen tříčlánkovou baterií o napětí 12,6V bude mít cca 28 980 otáček za minutu. K tomu výsledku stačilo vynásobit počet KV a napětí baterie. Jakmile je však motor osazen vrtulí, jeho otáčky se kvůli odporu vzduchu rapidně sníží. Počet KV ovlivňuje také počet článků baterie, kterou bude dron poháněn. [14]

Druhým parametrem motoru FPV dronu je jeho velikost. Velikost motoru hraje klíčovou roli při výběru správného motoru. Větší motor znamená větší výkon ale zároveň větší spotřebu a větší váhu. Velikost motoru bývá v oblasti RC modelů nejčastěji udávána ve formátu čtyř čísel. První dvě z čtveřice těchto čísel značí šířku statoru neboli jeho průměr. Poslední dvě čísla značí výšku statoru. Obě tyto hodnoty bývají udávány v milimetrech. Velikost motorů se liší v závislosti na velikosti rámu dronu a velikosti vrtule. Následující tabulka zobrazuje ideální velikost motoru, pro danou velikost dronu a jeho vrtule. [14] [15]

Tabulka 1 Ideální velikost motorů dle velikosti rámu a použité vrtule [14]

Velikost rámu	Velikost vrtule	Velikost motoru	Počet KV
150 mm a menší	3“ a menší	1105–1306 a menší	3000KV a více
180 mm	4“	1806, 2204	2600KV-3000KV
210 mm	5“	2205-2208, 2305-2306	2300KV-2600KV
250 mm	6“	2206-2208, 2306	2000KV-2300KV
350 mm	7“	2506-2508	1200KV-1600KV
450 mm	8“ a větší	26XX a větší	1200KV a méně



Obrázek 3. Motor FPV dronu [16]

5.3 Vrtule

S motory úzce souvisí další z komponent potřebných pro FPV dron. Jedná se o vrtule. Vrtule u dronů zajišťují vytváření tahu, který následně uvádí celý stroj do pohybu. Vrtule bývají navrhovány ve dvou základních provedeních dle směru, ve kterém se budou otáčet. Jedná se tedy o vrtule určené pro otáčení ve směru hodinových ručiček, zkráceně se tento typ v oblasti dronů označuje CW a vrtule určené pro otáčení v opačném směru, tedy proti směru hodinových ručiček, ty bývají označovány CCW. U FPV dronů se nejčastěji setkáváme s kvadrokoptéry, tedy stroji, které mají čtyři motory. V tomto případě je třeba použít dvě vrtule CW a dvě vrtule CCW. Vrtule pro FPV jsou nejčastěji vyráběny z polykarbonátu, který zajišťuje vysokou odolnost, tuhost a ohebnost při zachování přijatelné váhy. [17]

Při výběru vrtule je nutné dbát na několik základních parametrů tak, aby byla pro daný stroj zvolena nejlepší možná vrtule. Jedním z nejdůležitějších parametrů je velikost vrtule, ta bývá uváděna v palcích a je nutné velikost vrtule zvolit dle použitého rámu a motoru, který bude vrtuli pohánět. Dalším parametrem je stoupání vrtule. Vrtule, které mají vyšší stoupání mohou generovat větší tah, zároveň však snižují manévrovatelnost stroje a mohou způsobovat turbulence. Vrtule s nižším stoupáním naopak nabídnou lepší odezvu, která zajistí lepší manévrovatelnost. Je třeba tedy zvolit správné stoupání dle preferencí pilota. Dalším parametrem je počet listů vrtule. U FPV dronů se nejčastěji setkáváme s třílistými vrtulami, neboť zajistí ideální kompromis mezi účinností a výkonem vrtule. U strojů, které jsou konstruovány s cílem vyššího letového času se můžeme setkat s dvoulistými vrtulami, které díky vyšší efektivitě odebírají méně proudu a šetří tak baterii, avšak manévrovatelnost bude oproti třílistým vrtulám znatelně horší. Všechny parametry bývají uváděny nejčastěji ve formátu 5x4,5x3, což značí vrtuli o velikosti 5“, stoupání 4,5“ a počet listů je 3, případně ve formátu 5045x3, tedy vrtule má velikost 5“, stoupání 4,5“ a tři listy. [18]



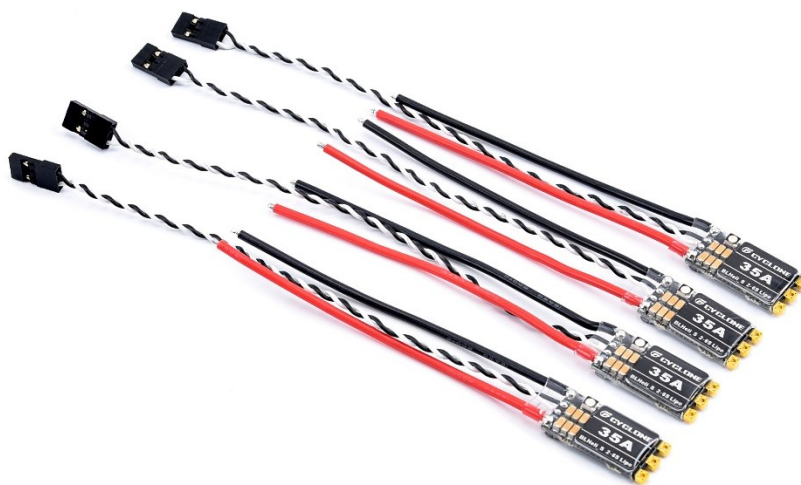
Obrázek 4. Vrtule FPV dronu [19]

5.4 Regulátor otáček

Regulátor otáček, často nazývaný zkratkou ESC neboli Electronic Speed Controller je součástí FPV dronu, která se stará o regulaci otáček jednotlivých motorů. Regulátor přijímá signály plynu z ovladače pilota a dle těchto hodnot kontroluje otáčky motoru na požadovanou rychlost. Otáčky motoru regulátor kontroluje pomocí změn přívodu proudu do motoru. Změny proudu provádí tak, aby zajistil plynulý a stabilní let. Regulátor je napájen přímým připojením pomocí kabelů k baterii dronu. Regulátory používané u FPV dronů jsou rozdělovány na dva následující typy.

5.4.1 Separátní regulátory

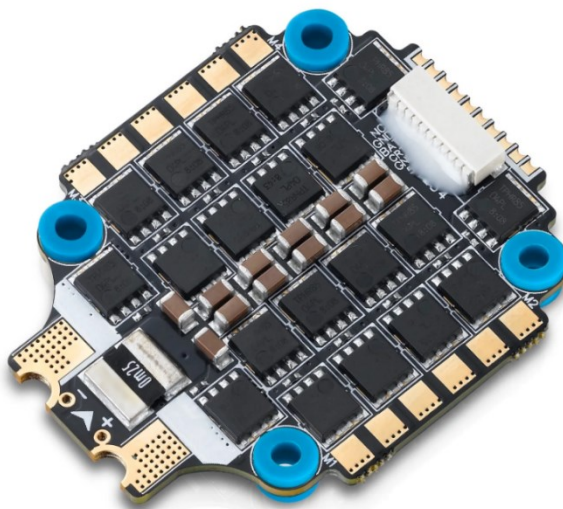
Prvním typem regulátorů jsou separátní regulátory. Každý motor má svůj jeden regulátor umístěn na rameni dronu, vedoucímu k příslušnému motoru. Největší výhodou separátních regulátorů je možnost výměny pouze poškozeného či nefunkčního regulátoru, bez nutnosti vyměnit všechny ostatní. Další výhodou je chlazení jednotlivých regulátorů, a to především díky vysokému proudění vzduchu na ramenech. Mezi nevýhody patří množství pájených spojů a kabeláže při montáži tohoto typu. To může vést k větší poruchovosti stroje a také k nárůstu hmotnosti. Dále je při použití těchto regulátorů potřeba použít tzv. PDB desku neboli Power Distribution Board, která se postará o napájení, avšak zároveň opět zvýší počet pájených spojů. Tento typ ESC byl oblíben především v minulosti, nyní se s jeho používáním setkáváme jen zřídka a separátní regulátory bývají nahrazeny tzv. 4v1 regulátory. [20]



Obrázek 5. Separátní regulátory [21]

5.4.2 Regulátor 4v1

Jak již název napovídá, regulátor typu 4v1 integruje čtyři separátní regulátory do jedné obvodové desky. Regulátor 4v1 nabídne oproti separátním regulátorům celou řadu výhod. Jako největší výhodou je považován nízký počet pájených spojů, doplněný o znatelné ušetření hmotnosti oproti svému předchůdci. Nevýhodou však může být fakt, že při poruše, byť jen jednoho regulátoru, je potřeba vyměnit celou obvodovou desku a tím pádem znehodnotit ostatní tři regulátory. Avšak v dnešní době se setkáváme s velmi výkonnými, kvalitně zpracovanými a spolehlivými 4v1 regulátory, čímž je toto riziko prakticky eliminováno, ale i dnes se tyto případy zřídka mohou objevit. Při použití 4v1 regulátoru není nutné nadále používat PDB desku a napájecí kabely z baterie jsou připojeny přímo na regulátor. Tento typ regulátorů je dodáván v rozměrech 30x30mm, 20x20mm anebo 16x16mm, což nám zaručí velmi jednoduchou montáž, neboť rámy jsou vybaveny montážními otvory pro tyto rozměry. Také propojení s řídicí jednotkou je velmi snadné, 4v1 regulátory bývají vybaveny konektorem, který stačí propojit s konektorem na řídicí jednotce a není potřeba pájených spojů, tak jako je tomu u separátních regulátorů otáček. [20]



Obrázek 6. Regulátor 4v1 [22]

Při výběru regulátoru pro FPV dron, je potřeba brát ohled na několik faktorů. Tak jako většina součástek, i regulátory mají své specifické určení pro konkrétní typ strojů. Každý regulátor má tedy několik vlastností. Mezi tyto vlastnosti patří napětí, pro které je regulátor určen, maximální proud, firmware a protokol regulátoru. [20]

5.4.3 Napětí regulátoru

Každý regulátor podporuje určité pracovní napětí. V drtivé většině se setkáváme s regulátory, které podporují napětí čtyř až šesti článkových baterií, neboť se jedná o nejpoužívanější baterie. Avšak stále se setkáváme i s regulátory které podporují pouze méně článkové baterie. Na tento parametr je třeba při výběru ESC dát pozor, protože použití regulátoru s příliš velkým napětím baterie, než na které je regulátor stavěn, může vést k jeho poškození.

5.4.4 Maximální proud regulátoru

Tento parametr udává maximální proud, který je regulátor schopen zvládnout bez jeho poškození. Tento parametr bývá udáván ve dvojici hodnot, první z nich je kontinuální proud, který označuje proud, který je regulátor schopen zvládnout dlouhodobě, druhou hodnotou je tzv. „burst“ proud a ten udává maximální proud, který je regulátor schopen zvládnout krátkodobě, obvykle se jedná časový úsek menší než 10 vteřin. V případě ESC se doporučuje použít raději silnější model, ale na druhou stranu je zbytečné používat regulátor s kontinuálním proudem 60A na stroji, který kontinuálně odebírá pouze 20A.

5.4.5 Firmware regulátoru

Pod firmwarem regulátoru si můžeme představit software, který je nutný pro chod každého regulátoru. Verze firmwaru je závislá na hardware regulátoru, tedy pokud chceme konkrétní firmware, musí na něm být daný ESC stavěn. Firmware nám určuje především rozmanitost nastavení regulátoru a také rozhraní, ve kterém můžeme provádět konfiguraci. V dnešní době je nejčastěji používaným firmware BLHeli_S a BLHeli_32.

5.4.6 Protokol regulátoru

Protokol regulátoru je „jazyk“, který slouží ke komunikaci mezi regulátorem a řídicí jednotkou stroje. Pomocí protokolu je například určována rychlost otáčení jednotlivých motorů. V současnosti se nejčastěji můžeme setkat s protokoly Oneshot, Multishot a Dshot, tyto protokoly se liší především v odezvě komunikace mezi ESC a řídicí jednotkou. [20]

5.5 Řídicí jednotka

Řídicí jednotka neboli Flight Controller, zkráceně FC je považována za mozek každého FPV dronu. V případě FPV dronu plní řídicí jednotka hned několik činností, stěžejních pro letuschopnost stroje. Mezi hlavní činnosti patří především stabilizace, řízení a manévrování stroje a poskytování letových dat pilotovi. Flight Controller přijímá příkazy pilota a na základě těchto příkazů upravuje rychlost motorů dronu tak, aby se stroj pohyboval pilotem požadovaným směrem.[23]

Každá řídicí jednotka se neobejde bez inerciální měřicí jednotky často označované zkratkou IMU. Tato jednotka se stará o pohyb a orientaci stroje. IMU v sobě kombinuje několik dalších senzorů nezbytných pro let dronu. Nejdůležitějšími senzory, které jsou obsaženy v IMU, jsou gyroskop a akcelerometr. Obvykle zde nalezneme gyroskop zastoupený třikrát a akcelerometr také třikrát, a to z toho důvodu, aby každá prostorová osa využívala jeden. Gyroskop je typ senzoru, který se používá k měření úhlové rychlosti, stará se tedy o náklon stroje. Akcelerometr slouží zase k měření lineární rychlosti a stará se o orientaci dronu. Některé FC obsahují také další senzory, těmi jsou nejčastěji barometr, který poskytuje data o výšce, ve které se stroj pohybuje a také magnetometr neboli kompas. [24]

Řídicí jednotka kromě zajišťování letuschopnosti stroje disponuje také několika dalšími funkcemi. První z nich je funkce Blackbox. Tato funkce funguje podobně jako černá skříňka v letadlech. Zaznamenává tedy veškeré údaje o letu a může tak být velmi nápomocná v případě ladění stroje nebo při odhalování problému dronu. Ukládání dat z Blackboxu probíhá dvěma variantami, buď jsou data ukládána do integrované flash paměti FC, nebo na externí SD kartu kterou vložíme do slotu umístěného přímo na řídicí jednotce. Další funkcí je BEC neboli Battery Eliminator Circuit. Jedná se o regulátory napětí, které nám umožňují napájení ostatních periférií dronu, například tedy kamery, video vysílače a LED osvětlení dronu. Nejčastěji tyto regulátory regulují napětí baterie na hodnotu 5V, 9V nebo 12V. Dále je možné do řídicí jednotky zapojit GPS modul. Ten má však oproti klasickým dronům velmi limitované funkce, a tak je tedy schopen pouze odesílat informace o poloze dronu a případně pomoci pilotovi při ztrátě signálu. Další funkcí je UART neboli Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, jedná se o rozhraní, které nám umožní komunikaci externích zařízení dronu s pilotem. Slouží tedy k připojení přijímače a některých video vysílačů. Také je možné pomocí UARTu nastavovat video vysílač dronu, pokud to daný typ vysílače podporuje. [25]

5.5.1 Letové režimy řídicí jednotky

I přesto že schopnosti řídicí jednotky u FPV dronu jsou oproti řídicím jednotkám standardních dronů velmi limitovány, stále jsou schopny nabídnout alespoň základní letové režimy, které mohou usnadnit pilotování stroje jak začátečníkům, tak i profesionálním pilotům. Na základě stylu chování stroje rozdělujeme letové režimy FPV dronů na čtyři základní typy.

Prvním z nich je režim Angle, v tomto režimu je náklon dronu defaultně omezen na 45 stupňů, v nastavení však tento úhel můžeme upravit. Omezení úhlu zamezí převrácení dronu a v momentě kdy pilot pustí páčku ovládající náklon dronu, dron se stabilizuje do vodorovné polohy. Tento režim je oblíben především u začátečníků, avšak najdou se případy, kdy jej využívají i zkušení piloti cinewhoopů při pilotování ve stísněných prostorách.

Druhým režimem je Horizon. Tento režim je velmi podobný režimu Angle, akorát s tím rozdílem že umožňuje dron přetočit úplně, nemá tedy omezení náklonu, avšak podobně jako u Angle, při puštění páčky náklonu dojde k vyrovnání dronu do stabilizované polohy. Stejně jako je tomu u režimu Angle, bývá nejčastěji využíván začátečníky.

Dále je režim GPS Rescue. Tohoto režimu je možné využít pouze u strojů které jsou osazeny GPS modulem. V tomto režimu nemá pilot žádnou kontrolu nad strojem, ten je řízen autonomně. Jedná se o záchranný režim, který je možné využít v případě ztráty videa nebo RC signálu. Dron v tomto režimu vystoupá do námi nastavené výšky a začne se vracet k místu vzletu. Ani zdaleka však tento režim není tak spolehlivý, jako je tomu u běžných dronů. V případě FPV dronů se používá opravdu pouze jako záchrana při ztrátě signálu a jakmile je signál obnoven, pilot by měl přebrat kontrolu na strojem. Tento režim je aktivován buďto pilotem pomocí ovladače, anebo automaticky při ztrátě rádiového spojení.

Posledním režimem je Acro. Tento režim je mezi piloty nejrozšířenější. Řídicí jednotka žádným způsobem nezasahuje do ovládání a ani dron nijak nestabilizuje. Jedná se o režim nejnáročnější na ovládání, avšak nabídne největší svobodu ve vzduchu. V režimu Acro létají jen pokročilí a zkušení piloti, pro začátečníka, který v oblasti FPV dronů začíná je létání v tomto režimu téměř nemožné a především nebezpečné. [26]

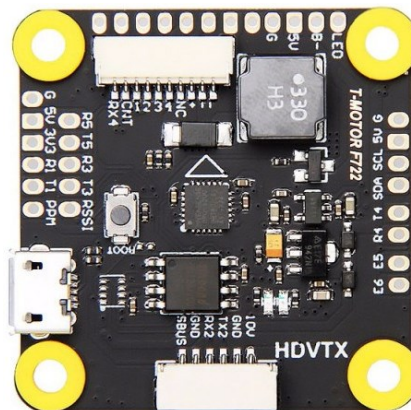
5.5.2 Firmware řídicí jednotky

Podobně jako je tomu u regulátoru dronu, i řídicí jednotka má svůj vlastní firmware. I zde má stejnou funkci, tou je zajištění co nejlepšího chodu řídicí jednotky a tím i celého stroje. Firmware řídicí jednotky však nabídne daleko širší možnosti nastavení, úprav a variant, než je tomu u regulátoru. Nastavení provádíme přes tzv. konfiguratory, což jsou aplikace na PC. K počítači řídicí jednotku připojíme za pomoci konektoru Micro USB či USB typu C umístěného přímo na FC. Skrze toto připojení konfigurujeme i regulátor. V těchto konfiguratorech nastavujeme prakticky úplně vše. Ať už se jedná o nastavení motorů, ladění dronu, nastavení přijímače, UARTu tak i například konfigurace rádiového ovladače. V dnešní době jsou nejvíce rozšířeny a používány následující tři typy firmware.

Prvním typem je Betaflight což je nejrozšířenější firmware pro FPV drony vůbec. To především díky široké škále funkcí a možností které tento firmware nabízí. Podporuje drtivou většinu řídicích jednotek dostupných na trhu a prochází neustálým vývojem, vylepšováním a aktualizacemi.

Dalším je firmware KISS, který oproti Betaflightu postrádá některé z funkcí, disponuje však daleko jednodušším konfiguratorem než právě Betaflight. Jeho hlavní výhodou oproti konkurenci je letový projev, ten je podle jeho uživatelů plynulejší. Nevýhodou je podpora pouze dvou typů FC, a to konkrétně jednotek od výrobců FETtec a Flyduino.

Třetím typem firmware je Emuflight, který vznikl neshodou v týmu vývojářů Betaflightu. Jedná se tedy o jeho lehce upravenou verzi, která nabízí jedinečný, mírně odlišný letový projev. Stejně jako Betaflight nabídne pestrou nabídku funkcí a také podporuje širokou škálu řídicích jednotek. [27]



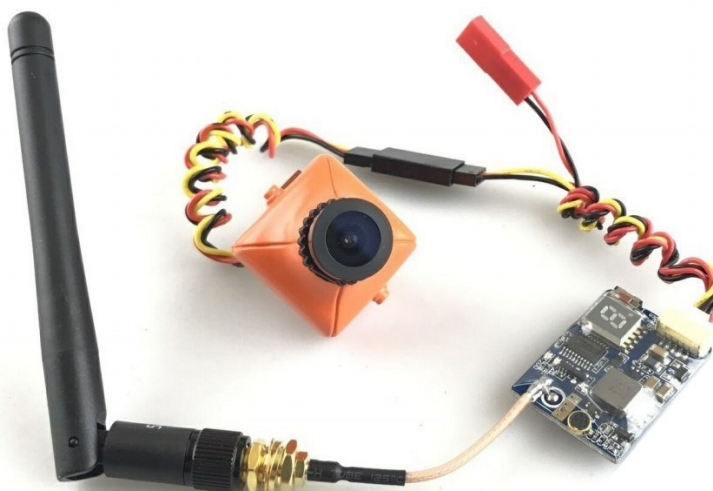
Obrázek 7. Řídicí jednotka [28]

6 VIDEOSYSTÉM FPV DRONU

Aby bylo možné dron označit jako FPV dron, musí být vybaven FPV systémem. Tento systém umožňuje streamování obrazu v reálném čase, s minimální odezvou, do speciálních FPV brýlí pilota. Díky tomu pilot nabyde pocitu, že sedí přímo v kokpitu stroje a také je pomocí tohoto systému schopen dron bezpečně ovládat. FPV systém se skládá z několika nezbytných komponent zajišťujících přenos obrazu. Prvním z nich je kamera, která snímá obraz. Druhým komponentem je video vysílač, často také označován jako VTX. Video vysílač vysílá obraz kamery do brýlí pilota. Třetí komponentou je video přijímač, ten obraz přijímá. Video přijímač bývá zpravidla implementován do FPV brýlí pilota, ale setkáváme se i s externími video přijímači které lze k brýlím připojit. Obraz bývá vysílán a přijímán za pomoci antén. V současnosti existují dva typy FPV systémů.

6.1 Analogový FPV systém

Analogový FPV systém je nejstarší technologií, která stojí za vznikem FPV dronů. Díky tomu, že tato technologie není nijak patentována, umožňuje jakémukoli výrobci vyrábět komponenty pro analogový FPV přenos. Všechny komponenty od různých výrobců jsou navzájem kompatibilní. Právě díky tomu se i v současnosti stále jedná o nejrozšířenější způsob FPV přenosu, využívaný piloty. I přesto že se jedná o poměrně zastaralý systém, stále nabízí řadu výhod jako například cena, dostupnost a nízká latence přenosu obrazu. Nevýhodou pak naopak může být především nízká kvalita obrazu, která připomíná kvalitu prvních televizorů ze 70. let a také velká citlivost na rušení. [29]



Obrázek 8. Analogový FPV systém [30]

6.2 Digitální FPV systém

V roce 2019 přišla na trh čínská společnost DJI s produktem DJI Digital FPV System, který způsobil převrat v oblasti FPV dronů. Tento systém přinesl oproti analogu především znatelně lepší kvalitu obrazu, při zachování přijatelné latence pro využití u FPV dronů. Digitální FPV systém od DJI totiž přenáší obraz v kvalitě HD a umožňuje také nahrát záznam kamery v rozlišení až 1080p při 100 snímcích za sekundu. Díky tomu je schopen vynahradiť velké části pilotů akční kameru třetí strany a s ní spojené náklady, pokud chtějí FPV dron použít i k nahrávání záznamu.

Největší výhodou tohoto systému je již zmíněná kvalita obrazu a možnost uchování záznamu ve FullHD kvalitě, další výhodou je jeho síla signálu a dosah který činí až 10 kilometrů. Za zmínku stojí také jednoduchost zprovoznění díky velmi propracovanému DJI rozhraní. Nevýhodou tohoto systému, která je zároveň i důvodem proč je stále více využíván analogový systém, je zejména cena DJI přenosu, pouze tento video systém vyjde na přibližně 22 000Kč, a to je cena za kterou lze pořídit kompletní FPV dron s analogovým systémem i s veškerým příslušenstvím. Zde za tuto cenovku obdržíme pouze video systém na dron a DJI FPV brýle. Další nevýhodou je vyšší latence než u analogu, s touto latencí mohou mít problémy piloti závodních FPV dronů, ti potřebují kvůli vysokým rychlostem odezvu co nejnížší, a právě proto volí analogový systém i za cenu několikanásobně horší kvality obrazu. Dalším faktorem, proč se tento systém příliš neseťkává s oblibou u závodních pilotů je váha video vysílače a kamery, ta hraje u závodních strojů klíčovou roli a váha DJI systému je daleko vyšší než u analogového systému. [29]



Obrázek 9. Digitální FPV systém DJI [31]

6.3 FPV brýle

Video vysílač pomocí antény vysílá obraz z kamery do speciálních FPV brýlí. Do těchto brýlí je obraz přenášen s co nejmenší možnou latencí, aby byl pilot schopen bezpečně ovládat letoun a eventuálně včas reagovat v případě problému. Jak již bylo zmíněno, u FPV dronů jsou používány dva typy videopřenosu, prvním z nich je analogový a druhý s ním je digitální od společnosti DJI. Každý z těchto systémů funguje na úplně jiných principech, proto každý z nich používá zcela jiný typ brýlí.

6.3.1 FPV brýle pro analogový systém

FPV brýle určené pro příjem analogového videosignálu bývají zpravidla vybaveny přijímačem. Najdou se však případy, kdy přijímač není součástí brýlí, především u dražších modelů, a uživatel je tak nucen brýle dovybavit externím přijímačem a anténami. Kvalitu obrazu u analogových brýlí nelze ovlivnit, co však ovlivnit lze, je kvalita signálu a množství rušení obrazu právě například pořízením kvalitního video přijímače. Mezi nejpopulárnější výrobce analogových FPV brýlí patří FatShark a Skyzone.

6.3.2 FPV brýle pro digitální systém

Brýle od společnosti DJI určené pro příjem digitálního videa, jsou již z výroby vybaveny přijímačem a anténami pro příjem signálu. Jsou tedy již při vybalení z krabice připraveny k použití. Oproti analogu nabízí daleko větší možnosti nastavení obrazu a samozřejmě větší rozlišení přenášeného obrazu. Samozřejmostí je také daleko větší obraz v brýlích, díky kterému je možné lépe ovládat stroj.



Obrázek 10. Brýle pro digitální FPV systém DJI [32]

6.4 OSD

Spolu s obrazem kamery, umístěné na dronu, je přenášeno takzvané OSD neboli On Screen Display. Jedná se o data o stavu FPV dronu, které tak můžeme sledovat živě v reálném čase. Nejčastěji se setkáváme s přenášením úplně základních údajů, mezi ty řadíme napětí baterie a čas stroje ve vzduchu. S postupným vývojem se pilotům dostalo čím dál většího výběru hodnot, které lze pomocí OSD zobrazit a přenést k pilotovi. Právě proto se dnes setkáváme s hodnotami, jako jsou například síla signálu rádiového spojení, aktuální letový režim, varování o poruše stroje či souřadnice GPS.

6.5 Antény

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, k přenosu FPV videa jsou používány také antény. Antény jsou používány jak na straně video vysílače, tak na straně video přijímače. Správná volba antén je základem při dosahování co nejlepší kvality signálu, ať už se jedná o analogový nebo digitální FPV systém. V oblasti FPV dronů se setkáváme se dvěma základními typy antén. Prvním z nich jsou antény všesměrové, které nabídnou slušné pokrytí signálem ve všech směrech. Druhým typem antén jsou antény směrové, ty pilotovi poskytnou daleko lepší signál, avšak pouze ve směru, kterým anténu nasměrujeme. Na video vysílači se v oblasti FPV dronů používají zejména antény všesměrové, na straně video přijímače se obvykle setkáváme s diverzitními přijímači, které nám umožní použít kombinaci obou typů antén, tedy jednu všesměrovou a jednu směrovou. Směrová anténu by měla mířit na oblast, ve které se s dronem budeme pohybovat, popřípadě na překážku, kterou máme v plánu obletět či proletět. Může se jednat například o budovu nebo les. Na straně přijímače bývají antény připojovány konektory SMA a RP-SMA, na straně vysílače se pak vyskytují i konektory typu U.FL či MMCX. Velkou roli hraje také polarizace antény, ta může být buď RHCP neboli Right Hand Circular Polarization a LHCP tedy Left Hand Circular Polarization. Je třeba dát pozor, aby anténa na video přijímači i vysílači měla stejnou polarizaci. V opačném případě by došlo k výraznému poklesu kvality a dosahu video signálu.



Obrázek 11. Všesměrová anténa pro video vysílač [33]

7 RC PŘENOS FPV DRONU

Každý dron musí mít způsob, kterým bude ovládán. V případě dronů se nenabízí žádný jiný druh ovládání, než je RC způsob neboli Remote Control, což v překladu znamená dálkové ovládání. U FPV dronů se tento způsob realizuje pomocí dvou základních komponent. Mezi tyto komponenty patří dálkový ovladač, nad kterým má kontrolu pilot a přijímač, který je osazen v těle dronu.

7.1 RC ovladač

RC ovladač je zařízení, které piloti využívají k ovládání FPV dronu. Kvalitní ovladač je nezbytnou součástí výbavy každého pilota a v žádném případě by na něm žádný pilot neměl šetřit. Je potřeba aby zajišťoval spolehlivou, rychlou a přesnou komunikaci mezi pilotem a dronem. Mezi největší výrobce RC ovladačů pro FPV drony se řadí společnosti Frsky, TBS a Radiomaster. Každý ovladač má několik vlastností, na které je potřeba při výběru RC ovladače brát ohled.

7.1.1 Form factor

Pojem form factor u RC ovladače představuje jeho velikost. U RC ovladačů se setkáváme s dvěma základními typy. Prvním z nich je full size, neboli ovladač o plné velikosti, jedná se o standartní typ ovladače, který používá většina pilotů. Tento typ poskytne lepší ovladatelnost, přesnost a také lepší nastavení, neboť většina full size ovladačů bývá vybavena displejem. Druhým typem jsou ovladače typu gamepad, ty svým vzhledem připomínají ovladače od herních konzolí, oproti full size ovladači jsou tedy znatelně menší což má za následek absenci displeje a také menší počet funkcí a přepínačů. Jejich hlavní výhodou spočívá především v kompaktnosti.

7.1.2 Ergonomie

Ergonomie je klíčovým faktorem při výběru ovladače. Pohodlí pilota je totiž základem pro bezpečný a pohodový let. V ideálním případě je vhodné si ovladač před pořízením vyzkoušet osobně a zjistit tak, zda nám tvar ovladače vyhovuje či nikoli. Důležitým faktorem je také hmotnost vysílačky, v momentě, kdy by vysílačka vážila příliš, může způsobit únavu, v opačném případě, tedy kdy by byla moc lehká, může docházet ke ztrátě citu při ovládání. Důležité je tedy najít ten správný kompromis. I přesto že výrobci ovladačů na ergonomii lpí, každému pilotovi může vyhovovat zcela odlišný tvar rádia. [34]

7.1.3 Gimbal

Jako gimbal neboli kniply bývají označovány dvě páčky nacházející se na každém RC ovladači určeného pro FPV dron. Gimbal slouží k ovládání pohybu dronu, tedy jeho směru, rychlosti a výšky ve které se pohybuje. Každý z gimbalů se pohybuje ve dvou osách, dohromady se tedy gimbal pohybuje ve čtyřech osách. Každá osa působí na chování dronu jinak. Jednotlivé osy nazýváme Throttle, Pitch, Roll a Yaw. Throttle neboli plyn ovládá rychlost otáčení motorů, tedy i rychlost, kterou se dron pohybuje. Pitch naklání dron dopředu a dozadu. Roll naklání dron v podélné ose doleva a doprava. Yaw otáčí dronem v jeho vertikální ose doleva a doprava. RC ovladače bývají dodávány v odlišných tzv. módech, které bývají označovány číslicemi 1 až 4. Jednotlivé módy pouze udávají rozmístění jednotlivých os na gimbalech. Drtivá většina pilotů používá ovladače módu 2, tedy osy Throttle a Yaw na levém gimbalu a osy Pitch a Roll na gimbalu pravém. Jedná se však pouze o preferenci pilota, jak si jednotlivé osy rozmístí. Dále existují dva typy gimbalů se kterými se u RC ovladačů setkáváme. Prvním typem jsou gimbal s potenciometry. Tento typ je používán především u levnějších ovladačů a poměrně rychle dochází k jejich opotřebení. Druhým typem jsou gimbal vybavené hallovými senzory, ty oproti gimbalům s potenciometry nabídnou mnohem vyšší životnost a také lepší přesnost ovládání, avšak jejich cena je násobně vyšší.

7.1.4 Spínače

Gimbal však nejsou jedinými ovládacími prvky, se kterými se setkáváme u RC ovladačů. Ovladače určené pro FPV drony jsou vybaveny také spínači. Spínače bývají obvykle dvoupolohové či třípolohové a slouží například k aktivaci motorů či přepínání letových režimů.

7.1.5 Frekvence

V oblasti FPV dronů se v drtivé většině setkáváme s ovladači na frekvencích 2,4 GHz a 868 MHz. Na frekvenci 2,4 GHz operuje většina RC vysílačů již z výroby. Tato frekvence poskytne dostatečnou sílu signálu a spolehlivost pro jistou část pilotů, jedná se především o začátečníky a amatéry. Na této frekvenci operují například protokoly Frsky ACESSES, Flysky či Spektrum. Ve většině případů však piloti vyžadují větší spolehlivost, dosah a kvalitu signálu, než je tomu u 2,4 GHz. Existují tedy tzv. externí moduly do RC vysílačů. Nejpopulárnějšími moduly jsou TBS Crossfire a ExpressLRS. Tyto moduly pracují na frekvenci 868 MHz a splňují i ty nejnáročnější požadavky na kvalitu a dosah signálu. Je však nutné, aby rádio v zadní části disponovalo šachtou, do které lze tyto externí moduly připojit. [34]

7.1.6 Počet kanálů

Počet kanálů určuje maximální možný počet ovládacích prvků ovladače, neboť každý prvek ovladače vyžaduje svůj kanál. Každá jednotlivá osa gimbalu i každý spínač na ovladači potřebuje ke své funkci jeden kanál. Minimální počet kanálů pro ovládání FPV dronu je 5, z toho čtyři kanály slouží pro gimbaly a jeden pro aktivaci motorů. V současnosti však téměř všechny RC ovladače disponují dostatečným počtem kanálů pro užití v oblasti FPV dronů.

7.1.7 Podpora telemetrie

Podpora telemetrie je jednou z nejdůležitějších funkcí, kterou by měl kvalitní RC ovladač disponovat. Jedná se o možnost, kdy jsme schopni v reálném čase přijímat důležitá data o dronu prostřednictvím ovladače. Nejčastěji se jedná o sílu signálu a napětí baterie. Dražší modely RC ovladačů disponují možností automatického hlášení telemetrie, kdy se z rádia ozývají audio signály upozorňující na případný problém se signálem či stavem baterie.

7.1.8 Podpora simulátoru

Každý ovladač, zvláště pokud bude ovladač sloužit začátečníkovi, by měl umožňovat připojení k FPV simulátoru na počítači. Simulátor je skvělým pomocníkem při trénování létání s FPV dronem a začátečníkovi může také ušetřit finanční náklady, spojené s případnou opravou dronu z důvodu nezvládnutí pilotáže a následné nehody v reálném prostředí. Existuje několik variant FPV simulátorů, které lze instalovat jak na Windows, tak MacOS. Ovladač se k simulátoru připojuje pomocí USB kabelu. [34]



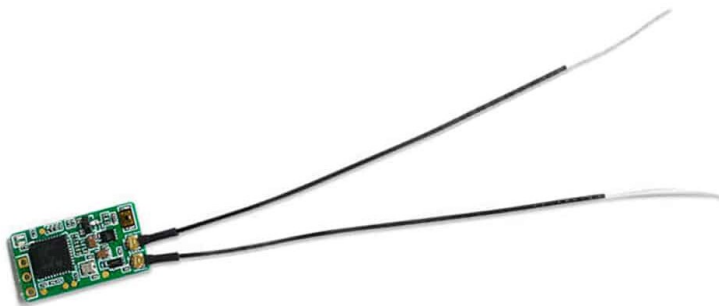
Obrázek 12. RC ovladač [35]

7.2 RC Přijímač

Přijímač je další z řady nezbytných komponent pro stavbu letuschopného FPV dronu. Jedná se o komponentu, která zodpovídá za celkovou komunikaci mezi pilotem a dronem. Ovladač vysílá vstupy pilota do přijímače dronu, který pomocí protokolů tyto vstupy směřuje do řídicí jednotky letounu, která tyto data následně převede do pohybu stroje.

Pod pojmem protokol si můžeme představit jazyk, kterým mezi sebou komunikuje RC vysílač a přijímač dronu. Na typ protokolu je třeba nahlížet při koupi vysílače i přijímače. Je totiž nutné, aby vysílač podporoval protokol námi používaného přijímače. Tedy v momentě, kdy se rozhodneme pro přijímač společnost Frsky, je nutné, aby náš vysílač byl značky Frsky respektive aby tento protokol podporoval.

Při výběru přijímače bývá stěžejní také jeho velikost, případně velikost antén. I přes fakt že přijímače v dnešní době bývají malých rozměrů a vmístí se tak do většiny FPV dronů, stále však nalezneme přijímače, které jsou určeny pouze pro větší FPV stroje a není tak možné je do malých dronů použít, z důvodu nedostatku místa. Dále je vhodné při volbě přijímače brát ohled také na počet kanálů, aby nenastala situace, kdy bychom potřebovali větší množství kanálů, avšak daný přijímač by takové množství nepodporoval. [34]



Obrázek 13. RC přijímač [36]

8 NAPÁJENÍ FPV DRONU

Každý FPV dron musí disponovat zdrojem, ze kterého budou napájeny veškeré jeho komponenty. V případě FPV dronů se k napájení používají baterie. V drtivé většině případů se jedná o Lithium polymerové baterie, často označované jako baterie typu LiPo. V oblasti FPV dronů jsou tyto baterie využívány především díky velmi vysokému poměru jejich výkonu k jejich hmotnosti. Stejně jako je tomu u většiny komponent určených pro drony, i zde se setkáváme s několika parametry na které je při výběru baterie potřeba brát ohled.

8.1 Napětí baterie a počet článků

LiPo baterie je složena z článků. Každý článek disponuje jmenovitým napětím 3,7V. Články baterie jsou navrženy tak, aby pracovaly v bezpečném napětí 3,0V až 4,2V. Používání článků v jiném rozmezí může vést k jeho nenávratnému poškození či dokonce vznícení. U FPV dronů bychom se však měli pohybovat v rozmezí 3,5V až 4,2V na článek, kdy 3,5V znamená že článek je vybit a pilot by měl přistát a 4,2V značí plně nabitý článek. Skladování baterie v dlouhodobějším úseku by mělo probíhat při napětí 3,8V na článek z důvodu zachování výkonu a životnosti baterie.

U dronů se nejvíce setkáváme s bateriemi o vyšším počtu článků. Počet článků je označován pomocí čísla, ke kterému je přidáno písmeno S. Například 4S tedy značí baterii o čtyř článcích. Důvodem používání vyššího počtu článků je především výkon stroje. V momentě, kdy je zapojeno více článků v sérii, stoupá celkové napětí baterie, které ovlivňuje rychlost otáčení motorů, a tedy celkový výkon letounu. Počet článků se liší dle velikosti stroje. S vyšším počtem článků totiž stoupá hmotnost baterie. Součástky dronu jsou také stavěny na určité pracovní napětí. Není tedy možné použít 6S baterii na komponenty určené pro 4S baterie. [37]

8.2 Kapacita

Kapacita LiPo baterií bývá udávána v miliampérhodinách, zkráceně mAh. Hodnota uvedená v mAh udává množství proudu, které je možné z baterie odebírat v časovém úseku jedné hodiny. Kapacita baterie ovlivňuje dobu letu FPV dronu. Vyšší kapacita však nutně nemusí znamenat delší letovou dobu, neboť s vyšší kapacitou stoupá také hmotnost baterie. Je tedy nutné nalézt vhodný kompromis mezi kapacitou a hmotností baterie. U standartního 5“ FPV dronu se setkáváme s bateriemi o kapacitě 1300mAh až 1800mAh. [38]

8.3 Hodnota C

Udává množství proudu, které lze z baterie odebírat, bez jejího poškození. Tato hodnota má vliv na výkon baterie, čím vyšší je hodnota C, tím výkonnější baterie bude. Hodnota C však také ovlivňuje velikost a hmotnost baterie. Baterie o stejné kapacitě a počtu článků se mohou váhově odlišovat až o desítky gramů v případě, že jedna z nich má vyšší hodnotu C.

8.4 Konektor

Každá baterie je vybavena konektorem, který slouží k propojení baterie s dronem. V oblasti FPV dronů se nejčastěji setkáváme s následujícími typy. Prvním z nich je konektor typu XT60 a u strojů menších rozměrů bývají využívány konektory typu XT30. Avšak u cinelifiterů a větších dronů, se můžou objevovat i konektory typu XT90. Všechny tyto konektory jsou si velmi podobné a jedná se pouze o jejich menší či větší provedení.

Tento konektor však neslouží pouze pro připojení baterie k dronu, slouží také k nabíjení samotné baterie. To je realizováno za pomoci nabíječky. Každá nabíječka by měla disponovat dostatečným výkonem, schopností balancovat jednotlivé články baterie a měla by podporovat námi používaný typ baterie. Při výběru nabíječky by se rozhodně nemělo šetřit. LiPo baterie jsou vysoce vznětlivé a vznícení těchto baterií může mít fatální následky, a právě nabíjení je jedna z fází, kdy je zvýšené riziko vznícení baterie.

Společně s konektorem typu XT, bývá baterie vybavena také balančním konektorem. To však pouze v momentě, kdy má baterie více než jeden článek. Balanční konektor slouží k vybalancování jednotlivých článků při nabíjení baterie. Zajistí tedy to, aby všechny články byly nabity na stejné napětí a nedocházelo tak například k případům kdy by jeden článek byl nabit na hodnotu vyšší než 4,2V a další článek naopak nebyl nabit vůbec, což by vedlo k poškození baterie. Používání tohoto konektoru tedy zřetelně prodlužuje životnost baterie. [38]



Obrázek 14. Baterie pro FPV dron [39]

9 KAMERY PRO FPV DRONY

V momentě, kdy pilot pořizuje FPV dron za účelem pořizování videozáznamu, je nutné vybrat správnou externí kameru. Každý dron z množiny FPV kameru má, ale ta slouží především k pilotáži. Tato kamera sice disponuje možností pořídít videozáznam, avšak ten je u analogového FPV systému nepoužitelný, neboť se do něj promítne veškeré rušení signálu videopřenosu a má velmi malé rozlišení. Jiná situace nastává při použití digitálního systému od DJI, ten nabídne možnost uložení záznamu až v 1080p kvalitě, navíc bez jakéhokoliv rušení. Tato kvalita však ani zdaleka nevyhoví požadavkům všech pilotů či produkcí, a právě z tohoto důvodu bývají tyto drony osazovány externími kamerami. U FPV dronů se nejčastěji setkáváme s následujícími typy kamer.

9.1 GoPro

Jedná se o akční kameru, která nabídne vynikající výstup v poměru ke své velikosti a váze. Tento typ kamer byl původně určen pro pořizování záběrů z extrémních sportů provozovaných v podmínkách, kde by žádná jiná kamera nedokázala fungovat. Schopností těchto kamer si však záhy všimla komunita FPV pilotů a dnes je GoPro již pomalu standardem při využívání FPV dronu k videotvorbě. Akční kamery značky GoPro váží přibližně 150 gramů, měří cca 7x5 centimetrů, a přitom jsou schopny poskytnout až 5,3K rozlišení, při 60 snímcích za sekundu. Právě to dělá z GoPro kamer naprosto ideální variantu pro nahrávání FPV záběrů. Zároveň tyto kamery nabídnou možnost stabilizace obrazu, což pilotovi značně pomáhá v dosažení plynulých záběrů. Tyto kamery disponují tzv. digitálními čočkami, které umožňují měnit FOV obrazu a nabídnou tak hned několik možností při volbě velikosti záběru, což je pro FPV piloty velmi cenné. Dalším faktorem je vysoká odolnost těchto kamer, u FPV dronů dochází k častým nehodám a kamera tak musí snášet nárazy ve velmi vysokých rychlostech. Samozřejmostí u GoPro je také voděodolnost. Alternativou ke kameře GoPro může být DJI Osmo, avšak s využitím této kamery pro FPV se příliš nesetkáváme. [40]



Obrázek 15. Kamera GoPro [41]

9.2 Blackmagic Pocket Cinema Camera

S postupným rozmachem FPV záběrů ve videotvorbě začaly stoupat i nároky na jejich kvalitu. Právě proto se piloti začali zabývat stavbami strojů, které unesou profesionální kamery, jež poskytnou daleko vyšší kvalitu, než akční kamery. Nejvyužívanějším typem profesionální kamery v oblasti FPV je Blackmagic Pocket Cinema Camera. Ta poskytne videozáznam v rozlišení až 6K. Velkou výhodou oproti akčním kamerám je možnost uchovávat záznam ve formátu RAW, který při postprodukci umožní dostat z obrazu jeho maximum. Další výhodou je bajonet EF, díky kterému je možné použít širokou škálu objektivů. Nabídne také citlivost ISO až 25.600, což zaručí perfektní obrazovou kvalitu bez šumu i při horších světelných podmínkách. Na rozdíl od akčních kamer, tato kamera nedisponuje žádnou odolností a v případě nehody FPV dronu, dojde s nejvyšší pravděpodobností ke zničení kamery. [42]

9.3 RED Komodo

I přesto že kamery Blackmagic nabídnou již opravdu působivou kvalitu videa, stále se najdou případy, kdy tato kvalita nestačí. Právě proto se setkáváme s FPV drony tzv. cineliftery, které je možné osadit filmovými kamerami. Nejrozšířenější kamerou tohoto typu, kterou je možné upevnit na FPV dron, je model Komodo od společnosti RED, která zaručí filmovou kvalitu při relativně nízké hmotnosti 900g a rozměrech 10x10x10 centimetru. Nový snímač Super35 poskytne dokonalou kvalitu, která splňuje požadavky na kvalitu obrazu i od velkých filmových výprav. Kamera je schopna natáčet v rozlišení 6K při 40 snímcích za sekundu v poměru stran 2,4:1. Pro upevnění objektivů zde slouží bajonet RF, který je však možné pomocí redukce změnit na EF pro možnost namontování většího počtu objektivů. Samozřejmostí této kamery je schopnost natáčet do nekomprimovaného formátu, zde se jedná o formát R3D nebo ProRes. S tímto typem kamery se u FPV dronů setkáváme pouze u profesionálních pilotů a filmařů. Náklady na pořízení FPV dronu s touto kamerou jsou v řádech statisíců, navíc zde platí podobné pravidlo jako je tomu u kamery Blackmagic, v momentě, kdy by došlo k nehodě stroje osazeného touto kamerou, je zde opravdu velká pravděpodobnost že dojde k rozbití kamery což s sebou může nést škody v řádech statisíců. I přesto se najdou produkce, které strojem osazeným kamerou RED Komodo disponují, a právě díky tomu jsme již měli možnost vidět FPV záběry v Hollywoodských snímcích. Ve výjimečných případech se u cinelifterů můžeme setkat také s alternativou kterou je Sony FX6, avšak její použití je oproti kameře od společnosti RED, poměrně komplikovanější, a to především z důvodu jejího tvaru. [43]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

10 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem praktické části této bakalářské bylo:

- Návrh vlastního FPV dronu
- Výběr vhodných komponent pro stavbu FPV dronu
- Kompletace FPV dronu
- Nastavení firmware FPV dronu
- Otestování FPV dronu
- Pořízení záběrů sestaveným FPV dronem

11 NÁVRH FPV DRONU

Při návrhu vlastního FPV dronu bylo zapotřebí zvážit hned několik faktorů. Bylo nezbytné vybrat vhodné komponenty tak, aby bylo možné dron využít pro pořizování videozáznamu.

11.1 Rám

První vybíranou komponentou při návrhu vlastního FPV dronu byl rám. Zde bylo nezbytné, aby rám nabídl možnost osazení externí videokamerou, dostatek prostoru pro veškeré komponenty a také možnost osazení vrtulemi o velikosti pěti palců. Další důležitou vlastností, na kterou byl brán ohled při výběru, byla možnost výměny jednotlivých ramen, aby v případě zlomení pouze jednoho ramena, nebylo nutné vyměnit celý rám.

11.2 Motory

Další komponentou byly motory. Bylo nezbytné, aby motory disponovaly vysokým výkonem a také odolností, při zachování přijatelné hmotnosti. Bylo také potřeba vybrat motory o vhodné velikosti pro konkrétní stroj a také aby rozteč šroubů pro uchycení jednotlivých motorů byla kompatibilní s použitým rámem.

11.3 Vrtule

Maximální možná velikost vrtule pro použitý rám byla vrtule o velikosti pěti palců, zbývalo tedy pouze zvolit vhodný tvar vrtule pro využití u FPV dronu určeného k natáčení. Pro tento typ dronu byla využita vrtule, která nabídne především plynulý let a dobrou manévrovatelnost, za cenu nižšího tahu stroje.

11.4 FC a ESC

Dalším krokem byl výběr řídicí jednotky a regulátoru. Podobně jako u motorů, bylo potřeba brát ohled na rozteč šroubů pro uchycení těchto komponent, neboť i zde je nutné, aby rám disponoval otvory pro uchycení FC a ESC o těchto rozměrech. Řídicí jednotka také musela nabídnout dostatečný počet rozhraní UART, aby bylo možné připojit RC přijímač i video vysílač zároveň. Dále bylo nutné, aby deska disponovala 5V a 9V BEC pro připojení RC přijímače video vysílače, bez nutnosti instalace externího BEC. Řídicí jednotka také musela podporovat firmware Betaflight. Regulátor musel disponovat dostatečným proudovým zatížením pro konkrétní stroj a také musel podporovat moderní protokol DSHOT pro zajištění co nejlepšího chování stroje.

11.5 Video systém

V neposlední řadě bylo zapotřebí zvolit správný video systém. Vzhledem k určení stroj bylo nezbytné, aby video systém nabídl především co nejvyšší obrazovou kvalitu a také vysoký dosah a kvalitu signálu, pro co nejlepší možné ovládání stroje.

11.6 RC přenos

Další nezbytnou komponentou pro stavbu vlastního FPV dronu byl RC přenos. Nejdůležitějším faktorem při výběru RC přenosu byla síla a spolehlivost signálu. Ta u FPV dronu určeného pro pořizování videozáznamu hraje klíčovou roli. Díky lepší kvalitě a spolehlivosti signálu je možné se s dronem bezpečně pohybovat téměř za jakýchkoliv podmínek a pořít tak záběry z co nejlepších perspektiv.

11.7 Baterie

Při výběru baterie bylo potřeba nahlížet zejména na počet článků, kapacitu a váhu. Pro dosažení delšího letového času a také svižnějšího projevu dronu bylo potřeba aby zvolená baterie disponovala šesti články a vysokým C ratingem při zachování co nejmenší možné hmotnosti.

11.8 Antény

V případě že je FPV dron určen pro videotvorbu, je nezbytné, aby videosignál i RC signál byl co nejkvalitnější a měl co nejvyšší dosah. Pro dosažení co nejlepšího možného signálu je kromě výběru kvalitního typu přenosu nutné pořít také kvalitní antény, neboť antény dodávané výrobcem společně s video systémem a ovladačem jsou pouze základní a náročnějšímu uživateli nemusí stačit. Byly tedy pořízeny vylepšené antény od renomovaných výrobců, a to jak na brýle a video vysílač, tak na RC ovladač.

11.9 Externí kamera

Jako poslední komponentu bylo potřeba zvolit správnou externí kameru. Jak již bylo zmíněno v teoretické části, nejčastěji se u tohoto typu dronů jako externí kamery objevují outdoorové akční kamery. Nejdůležitější roli při výběru akční kamery hrála kvalita obrazu a také možnost stabilizace obrazu. Na základě těchto dvou požadavků byla zvolena vhodná kamera.

12 ZVOLENÉ KOMPONENTY

Na základě konkrétních požadavků pro FPV dron určený k pořizování videozáznamu byly zvoleny následující komponenty:

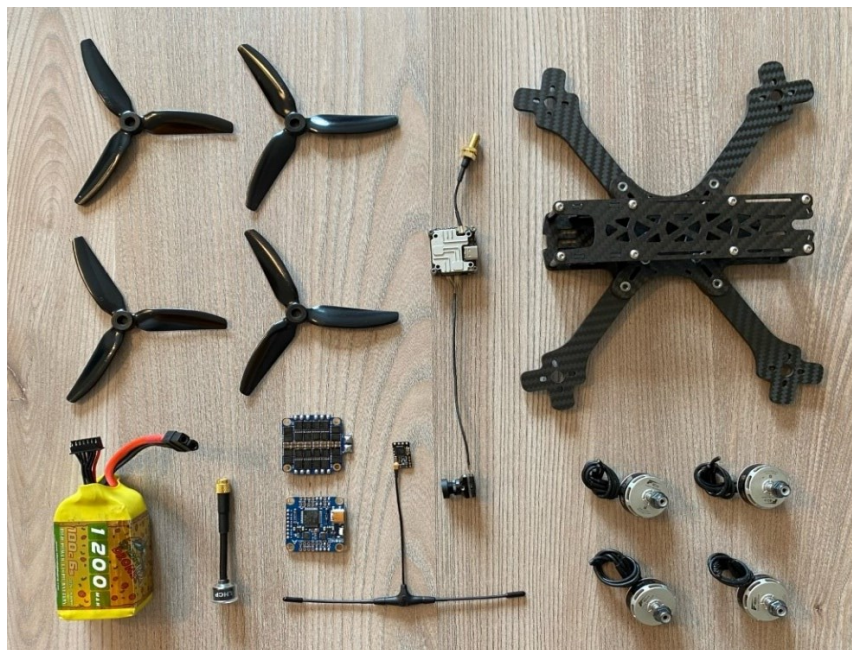
Tabulka 2 Zvolené komponenty FPV dronu

Název komponenty	Zvolená komponenta
Rám	TBS Source One
Motory	T-Motor F40 III 2306
Vrtule	HQ Prop 5x4,3x3
Řídicí jednotka	DRONE FPV RACER F722
Regulátor	iFlight SucceX 50A 2-6S 4in1
Baterie	CNHL 22,2V 6S 1200mah 100C
Kamera	Caddx Nebula Nano
Video vysílač	Caddx Vista
FPV brýle	DJI FPV Goggles V2
RC ovladač	TBS Mambo
Externí modul	TBS Crossfire TX Lite
RC Přijímač	TBS Crossfire Nano RX
Anténa pro video vysílač	TrueRC OCP LHCP 5,8 SMA
Antény pro FPV brýle	TrueRC Singularity Stubby LHCP 5,8
Anténa pro RC přijímač	TBS Immortal T V2
Anténa pro externí modul	TBS Diamond
Externí kamera	GoPro HERO 10

13 STAVBA FPV DRONU

V momentě, kdy byly vybrány všechny komponenty a byla potvrzena jejich kompatibilita, bylo možné zahájit samotnou stavbu vlastního FPV dronu. Ještě před samotnou stavbou je však vhodné prostudovat manuály k jednotlivým komponentům a také zajistit veškeré potřebné příslušenství nutné pro stavbu.

Vůbec nejdůležitějším příslušenstvím, které je potřebné pro stavbu je pájecí pero (v tomto případě bylo využito pájecí pero TS100) a cín, neboť drtivá většina propojování komponent FPV dronu je realizována pájenými spoji. Pro stavbu rámu a upevnění komponent jako jsou například motory či video vysílač je nezbytné disponovat imbusovými šroubováky o velikosti 1,5mm a 2mm. Dále bylo potřeba mít připraveny kleště, oboustrannou pásku, smršťovací bužírky, stahovací pásky, izolační pásku a utahovák pro matice o velikosti M5. V momentě, kdy bylo veškeré příslušenství připraveno, byl zahájen první krok stavby.

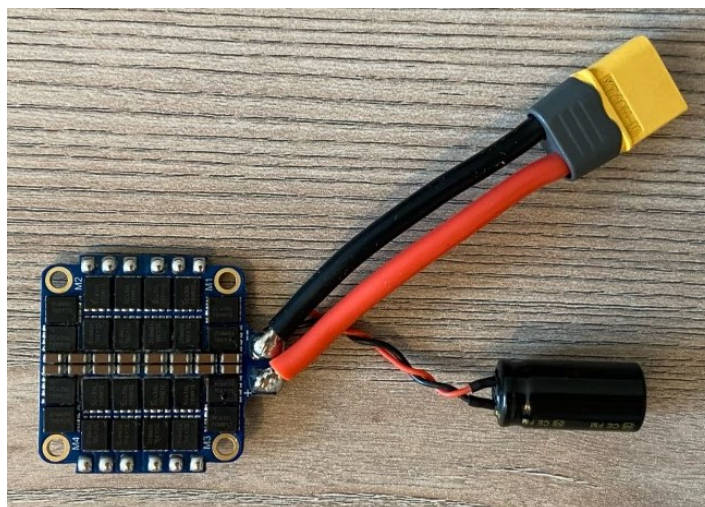


Obrázek 16. Připravené komponenty pro stavbu

13.1 Příprava regulátoru

V prvním kroku stavby bylo nezbytné připravit regulátor, neboť bez připraveného regulátoru nelze nainstalovat motory. Regulátor 4v1 disponuje celkově čtrnácti pájecími ploškami. Dvanáct pájecích plošek je znatelně menších. Tyto menší plošky slouží k připojení jednotlivých motorů, každý z motorů má tři pájecí plošky. Motory však byly připojeny až v následujícím kroku. Zbylé dvě, tedy větší, pájecí plošky slouží k připojení napájecího konektoru dronu. Dále bylo nezbytné připojit také kondenzátor, který filtruje napětí a chrání tak elektroniku dronu. Napájecí konektor, v tomto případě konektor typu XT60, i kondenzátor bývá dodáván společně s regulátorem a každý z nich je připojován dvěma vodiči. První z vodičů je záporný (-), který má černou barvu a druhý je kladný (+) a má červenou barvu. Bylo tedy nezbytné každý z vodičů připojit na danou pájecí plošku, která je označena znaménkem (+ nebo -). V případě, kdy by došlo k prohození kabelů a následnému připojení baterie, regulátor by byl nenávratně zničen. Je tedy potřeba důsledně barvy a zapojení zkontrolovat. Z důvodu vysokého proudového toku byly pro napájecí konektor použity kabely o tloušťce 12AWG, pro kondenzátor však stačilo použít 30AWG vodiče.

Pomocí cínu a pájecího pera rozehřátého na teplotu 400° byl kondenzátor i napájecí kabel, připojen k regulátoru na příslušné pájecí plošky. Bylo nutné napájecí vodiče připojit pod úhlem, neboť hned za regulátorem bude v těle rámu usazen video vysílač. V případě že by byly napájecí vodiče připojeny vodorovně k regulátoru, pro video vysílač by nezbyl dostatek prostoru.

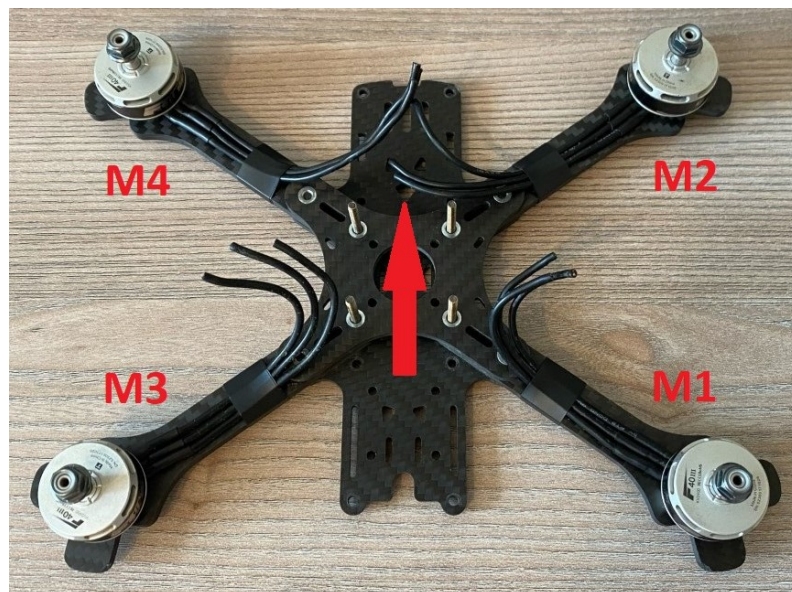


Obrázek 17. Připravený regulátor

13.2 Instalace motorů

V druhém kroku stavby proběhla instalace jednotlivých motorů. Před montáží motorů bylo nutné odmontovat vrchní část rámu, aby bylo možné motory následně připojit k regulátoru a zároveň aby bylo možné instalovat do těla rámu ostatní komponenty. Každý z motorů byl k rámu upevněn pomocí čtyřech šroubů o velikosti M3. Šrouby bývají dodávány společně s motory, avšak bylo nutné zkontrolovat, zda vyhovuje délka. V případě příliš dlouhých šroubů, by se závit šroubů mohl dostat skrze stator motoru až do samotného vinutí motorů a způsobit tak nenávratné poškození motorů. V tomto případě byly použity šrouby o délce 6 mm.

Dále byla využita izolační páska k připevnění kabelů vedoucích z motorů k jednotlivým ramenům dronu. Izolační páska zabrání, aby se vodiče motorů nedostaly do roztočících vrtulí v průběhu leta a také zajistí jistou ochranu vodičů. V tomto kroku bylo také označeno pořadí a umístění jednotlivých motorů (M1, M2, M3 a M4) a také přední část dronu, která byla označena pomocí šipky (ta zároveň znázorňuje směr letu dopředu).

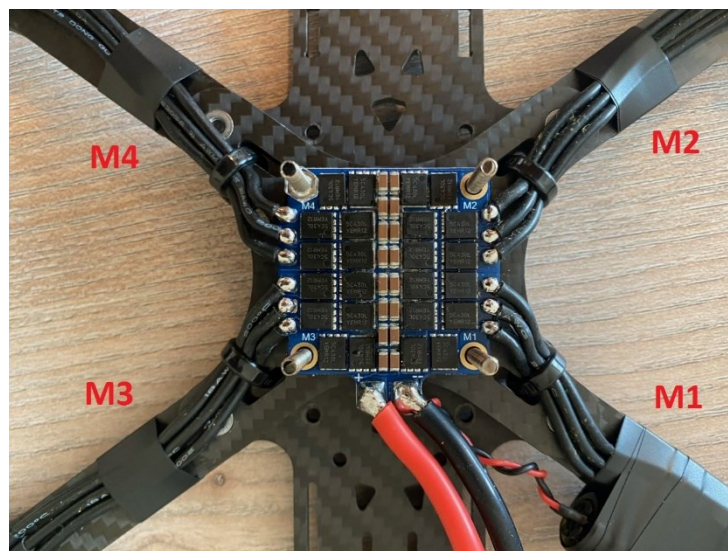


Obrázek 18. Upevnění motorů

13.3 Instalace regulátoru

Dalším krokem stavby byla instalace regulátoru. Regulátor byl uchycen pomocí čtveřice šroubů o velikosti M3 a délce 30 mm. Délka šroubů je záměrně větší, než by bylo nutné, avšak ty stejné šrouby byly následně využity k uchycení řídicí jednotky v další fázi stavby. Jak již bylo zmíněno, každý regulátor typu 4in1 disponuje dvanácti ploškami sloužícími pro připojení jednotlivých motorů. Pro každý motor jsou využity vždy tři pájecí plošky, neboť každý motor disponuje třemi vodiči. Regulátor je v každém jeho rohu označen značkami M1 až M4, které znázorňují jednotlivé motory. Pořadí motorů bylo stanoveno a znázorněno již v předchozím kroku, při jejich instalaci. Regulátor byl tedy osazen tak, aby značky v rozích regulátoru odpovídaly číslům příslušných motorů. V případě že by značky neodpovídaly konkrétním motorům, lze tento problém vyřešit v nastavení firmware dronu tzv. „přemapování“ jednotlivých motorů. V tomto případě však pořadí bylo dodrženo (značka M1 je připojena na motor M1 atd.) a není tedy třeba zasahovat do pořadí motorů při nastavování firmware dronu.

Následně byly jednotlivé motory připojeny pomocí cínu a pájecího pera rozehrátého na teplotu 350° k příslušným pájecím ploškám. Kondenzátor byl následně připevněn izolační páskou k jednomu z ramen dronů. Izolační páska zajistí kondenzátor v pevné poloze a zároveň poskytne dodatečnou ochranu. Dále byly použity stahovací pásy k utažení kabelů motorů k rámu, a dosažení tak ještě větší ochrany vodičů motorů.

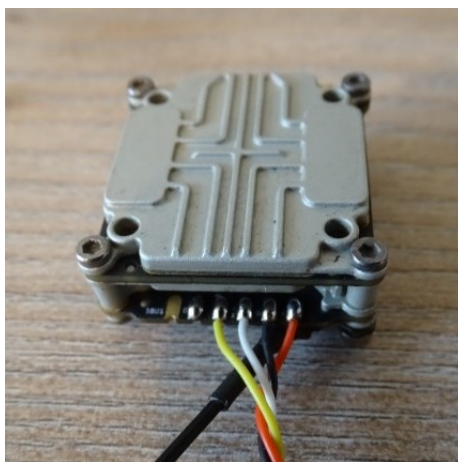


Obrázek 19. Instalace regulátoru

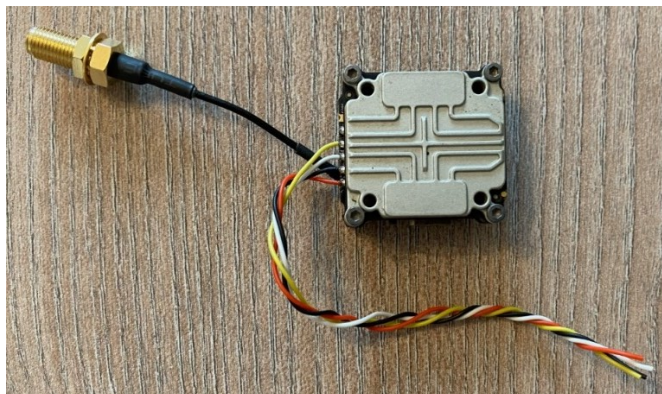
13.4 Příprava video vysílače

V další fázi stavby bylo nutné připravit video vysílač pro jeho následnou instalaci do těla dronu. Video vysílač tohoto typu je k řídicí jednotce připojován pomocí čtyř vodičů. Tyto vodiče však nejsou k video vysílači připojeny již z výroby, ale je nutné je připojit v průběhu stavby. Dva vodiče se starají o napájení a dva o komunikaci s řídicí jednotkou. Pro napájení, stejně jako u regulátoru, byly využity vodiče černé (záporný vodič) a červené (kladný vodič) barvy. Pro zbylé dva vodiče zajišťující komunikaci přijímače s řídicí jednotkou, byly použity vodiče bílé a žluté barvy.

Dále bylo nutné vyčíst z manuálu video vysílače správné zapojení vodičů. Podobně jako u regulátoru, by v případě záměny napájecích vodičů, došlo ke zničení video vysílače. U prohození vodičů, jež se starají o komunikaci video vysílače s řídicí jednotkou by došlo pouze k nefunkčnosti video vysílače. Na základě schématu v manuálu však bylo možné zjistit správné pořadí a umístění jednotlivých plošek. K připojení vodičů k video vysílači byl opět využit cín a pájecí pero rozehráté na 350°. Byly použity vodiče o tloušťce 30AWG. [44]



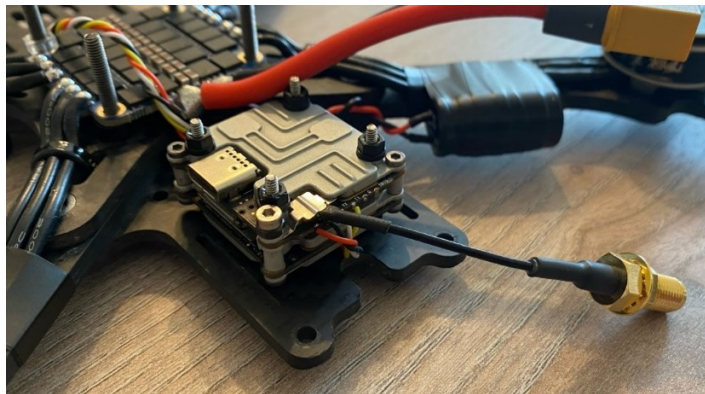
Obrázek 20. Zapojení vodičů video vysílače



Obrázek 21. Připravený video vysílač

13.5 Osazení video systému

Dalším krokem stavby vlastního FPV dronu, bylo osazení připraveného video vysílače do těla samotného dronu. Video vysílač byl osazen do zadní části rámu, neboť se zde nachází otvory o rozteči 20x20mm, díky kterým bylo možné pevně uchytit video vysílač k rámu. Video vysílač bych osazen tak, aby konektor antény směřoval směrem dozadu, neboť právě zde bude následně umístěna anténa video vysílače. Uchycení bylo realizováno za použití čtyř šroubů o velikosti M2 a délce 20 mm. Šrouby byly prostrčeny skrze video vysílač a následně byly všechny zajištěny maticí M2. Vodiče video vysílače byly prostrčeny pod ním tak, aby směřovaly k řídicí jednotce, ke které byly v další fázi stavby připojeny.



Obrázek 22. Osazení video vysílače do rámu

V další fázi stavby, byla osazena kamera. Ta byla osazena do přední části rámu. K uchycení kamery byly použity dva distanční sloupky o délce 30 mm a držáky vytištěné na 3D tiskárně. Ze stran byla kamera zajištěna dvěma šrouby o velikosti M2 a délce 6 mm. Na závěr byla kamera pomocí konektoru propojena s video vysílačem koaxiálním kabelem.



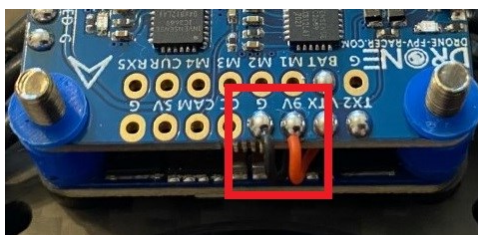
Obrázek 23. Osazení kamery do rámu

13.6 Zapojení video vysílače

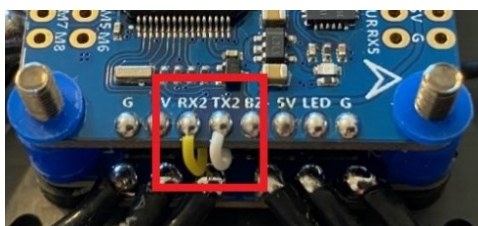
Poté co byl video systém (video vysílač a kamera) osazen a zajištěn do rámu FPV dronu, bylo možné realizovat jeho zapojení do řídicí jednotky stroje. Nejprve však byla do dronu osazena samotná řídicí jednotka. Ta byla osazena stejným způsobem jako regulátor, tedy za pomoci čtveřice šroubů o velikosti M3 a délce 30 mm. Mezi řídicí jednotku a regulátor však bylo nutné umístit ještě gumové podložky, které zabrání zkratu mezi těmito komponenty a zároveň částečně odfiltrují vibrace, které mají negativní vliv na funkci řídicí jednotky.

Před připojením video vysílače však ještě bylo nezbytné zjistit, jak má vypadat připojení k řídicí jednotce. Z manuálu bylo zjištěno že podporované napájecí napětí video vysílače je v rozmezí 7,4-26,4V. Video vysílač byl tedy zapojen na BEC, který má napětí 9V.

Dále bylo nezbytné připojit dva vodiče sloužící pro komunikaci video vysílače s řídicí jednotkou. Toto připojení bylo realizováno pomocí rozhraní UART na řídicí jednotce. Konkrétně UART2. Žlutý vodič byl na video vysílači připojen na plošku TX, což je zkratka pro označení transmitter, neboli vysílač. To znamená že na této plošce video vysílač vysílá signály do řídicí jednotky. Na řídicí jednotce bylo tedy potřeba vyhledat zase plošku označenou RX, která je zkratkou pro označení receiver neboli přijímač, na které bude řídicí jednotka schopna vysílané signály přijmout. Zbýlý vodič, tedy vodič bílé barvy funguje na stejném principu, pouze obráceně. Bílý vodič tedy bylo nutné připojit na plošku TX, neboť na straně video vysílače je ploška označena RX. Konkrétně byly tedy vodiče zapojeny na plošky RX2 a TX2, neboť jak již bylo zmíněno, jedná se o UART2. Zapojení video vysílače do řídicí jednotky proběhlo opět pomocí pájeného spoje. [44]



Obrázek 24. Zapojení napájení video vysílače



Obrázek 25. Zapojení TX a RX video vysílače

13.7 Příprava RC přijímače

V této fázi stavby bylo zapotřebí připravit RC přijímač pro následné zapojení a osazení do těla dronu. Přijímač typu TBS Crossfire Nano RX je k řídicí jednotce, podobně jako tomu bylo u video vysílače, nutné zapojit pomocí čtyř vodičů, které však nejsou připraveny již z výroby, ale je nutné je připojit až v průběhu stavby dronu. Dva ze čtveřice vodičů zajišťují napájení přijímače. Jedná se opět o kladný (+), neboli červený vodič a záporný (-), neboli černý vodič. Další dva vodiče zajišťují komunikaci přijímače s řídicí jednotkou a stejně jako je tomu u video vysílače, na jejich barvě nezáleží. V tomto případě byly použity vodiče bílé a modré barvy.

Následně bylo opět potřeba vyhledat v manuálu přijímače správné pořadí, ve kterém mají být zapojeny veškeré vodiče. Neboť prohození napájecích vodičů přijímače by stejně jako u video vysílače vedlo ke zničení komponenty. Záměna vodičů sloužících pro komunikaci přijímače s řídicí jednotkou by vedla jen k nefunkčnosti. Poté co bylo zjištěno správné zapojení vodičů, byly vodiče připojeny pájeným spojem k přijímači. Pájený spoj byl opět realizován pomocí cínu a pájecího pera o teplotě 350°. I v případě přijímače byly využity vodiče o tloušťce 30AWG. [45]



Obrázek 26. Zapojení vodičů RC přijímače

Po úspěšném zapojení všech čtyřech vodičů k přijímači, bylo dalším krokem připojení antény k přijímači. Ta byla připojena pomocí konektoru typu U.FL. V další fázi přípravy přijímače pro osazení do těla dronu bylo nezbytné zajistit jeho odolnost proti zkratu a částečně přijímač ochránit proti vnějším vlivům. Tato ochrana byla realizována za pomoci smršťovací bužírky.

U FPV dronů bývá přijímač často upevňován do těla dronu za pomoci stahovacího pásku či oboustranné lepicí pásky. I z tohoto důvodu bylo nutné přijímač ochránit výše zmíněnou smršťovací bužírkou, která zabrání také poškození přijímače při montáži. Dále bylo nutné v této bužírce vyřezat díru v místě, kde se nachází tlačítko pro párování přijímače s RC ovladačem a také LED indikátory, které informují o stavu samotného přijímače. Následně byl přijímač připraven k instalaci do těla dronu.

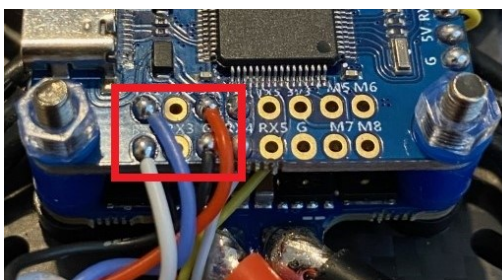


Obrázek 27. Připravení RC přijímač

13.8 Zapojení RC přijímače

Dalším krokem stavby bylo zapojení připraveného RC přijímače do řídicí jednotky a jeho následné upevnění do rámu. Před samotným připojením přijímače však bylo stejně jako u video vysílače nezbytné zjistit správné zapojení jednotlivých vodičů. I zde se jedná o čtyři vodiče a jak již bylo zmíněno, dva z nich se starají o napájení, a dva zajišťují komunikaci mezi přijímačem a řídicí jednotkou.

Z manuálu bylo zjištěno že je nutné, aby tento typ přijímače byl napájen napětím 5V. Bylo tedy potřeba vyhledat na řídicí jednotce 5V BEC. Ten se nachází na zadní straně řídicí jednotky, což značně usnadnilo montáž přijímače. Dále bylo nezbytné zajistit správné připojení vodičů pro komunikaci. I zde je TX ploška na přijímači připojována na RX plošku na řídicí jednotce, a plošku RX na přijímači je nutné zapojit zase na TX plošku na řídicí jednotce. K připojení těchto vodičů bylo použito rozhraní UART1. Konkrétně tedy plošky TX1 a RX1. Samotné připojení bylo poté opět realizováno pájecím perem. [45]

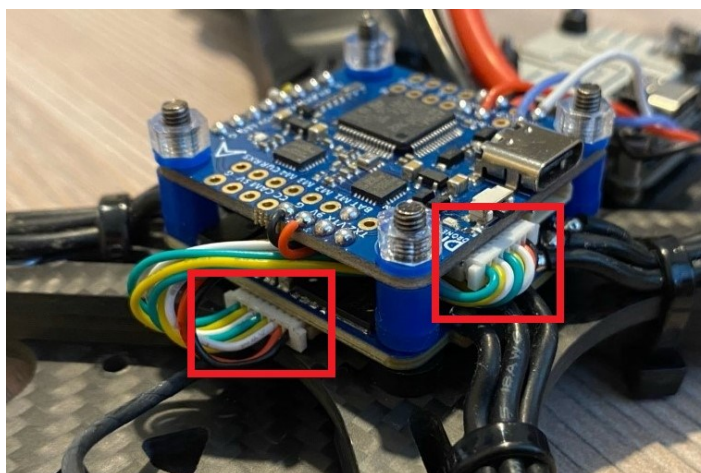


Obrázek 28. Zapojení RC přijímače

13.9 Zapojení řídicí jednotky a regulátoru

V předposlední fázi stavby FPV dronu bylo nutné propojit řídicí jednotku a regulátor. Toto připojení bývá u moderních řídicích jednotek a regulátorů, realizováno pomocí konektorů. Není tedy nutné používat pájený spoj. Vodiče s konektory sloužící pro připojení bývají dodávány společně s regulátorem i řídicí jednotkou. Bylo tedy využito tohoto typu připojení a konektory byly pouze zacvaknuty do obou komponent. Vodiče byly podvlečeny mezi těmito dvěma komponenty, aby byla zajištěna ochrana těchto vodičů v případě nehody.

Dále byla celá jednotka zajištěna pomocí čtyř matic o velikosti M3. Bylo třeba dbát na dotažení každé matice. Málo dotažená matice se může vibracemi, které stroj produkuje sama povolit, což může vést k uvolnění řídicí jednotky. Naopak příliš moc dotažená matice může vibrace produkované strojem přenést ještě ve větším množství a negativně tak ovlivnit letový projev stroje. Bylo tedy potřeba najít kompromis mezi těmito variantami a matici správně dotáhnout.



Obrázek 29. Zapojení FC a ESC

13.10 Kompletace FPV dronu

Posledním krokem k dokončení stavby tohoto FPV dronu byla jeho kompletace. Bylo tedy nezbytné upevnit antény do příslušných držáků a nainstalovat také vrchní plát rámu. Anténa video vysílače a přijímače byla uchycena do držáku vytištěného na 3D tiskárně. Tyto držáky byly stejně jako držáky na kameru vytištěny z flexibilního filamentu. Ten dokonale splní požadavky na držáky antén pro FPV dron. Antény jsou v těchto držácích zajištěny ve stabilní poloze a v případě nehody dojde z ohnutí držáku, který se následně vrátí do původního tvaru a díky této pružnosti zabrání poškození antény.

Dále bylo potřeba připravit RC přijímač na instalaci do rámu. Na přijímač byla umístěna oboustranná lepicí páska, která umožnila přilepení přijímače k vrchnímu plátu rámu. Následně byl přijímač k vrchnímu plátu zajištěn pomocí stahovací pásky. Poté bylo nutné doplnit chybějící distanční sloupky sloužící k oddělení spodní a vrchní části rámu. Předposledním krokem bylo připevnění vrchního plátu pomocí šroubů o velikosti M3 a délce 6 mm. Nakonec bylo možné našroubovat anténu video vysílače. V tomto okamžiku byla sice stavba hotova, avšak pro uvedení dronu do letuschopného stavu zbývalo učinit ještě několik kroků.



Obrázek 30. Sestavený FPV dron

13.11 Zprovoznění RC přenosu

Pro zajištění možnosti dálkového ovládání FPV dronu, bylo nezbytné učinit několik kroků v RC ovladači. Pro konkrétní FPV dron bylo použito rádio TBS Mambo v kombinaci s externím modulem Crossfire Lite TX. Pro nastavení ovladače byly použity ovládací prvky umístěné na jeho těle. Na levé straně ovladače se nacházejí tlačítka „Page“, „Menu“ a „Exit“. Na pravé straně ovladače se nachází tlačítko „Enter“. Ještě před samotným nastavením ovladače však bylo nezbytné zapojit externí modul. Zapojení externího modulu proběhlo pomocí šachty, která se nachází ze zadní strany ovladače. K externímu modulu byla následně připojena jeho anténa.



Obrázek 31. Použitý RC ovladač a externí modul



Obrázek 32. Zapojení externího modulu

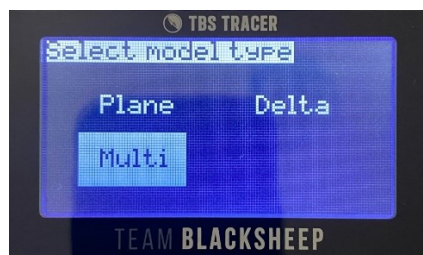
13.11.1 Nastavení ovladače

Nejprve bylo zapotřebí vytvořit nový model v RC ovladači. Pro vyvolání tvorby nového modelu bylo nutné dlouze přidržet tlačítko „Enter“, následně otočením tohoto tlačítka vybrat možnost „Create model“ a poté tlačítko „Enter“ krátce zmáčknout čímž byla možnost „Create model“ potvrzena.



Obrázek 33. Tvorba modelu

Poté co byla vybrána možnost „Create model“, bylo nezbytné zvolit o jaký typ modelu se jedná. V tomto případě byla pomocí tlačítka „Enter“ vybrána možnost „Multi“ což je označení pro multikoptéru. Krátkým stiskem tlačítka „Enter“ byla možnost „Multi“ potvrzena.



Obrázek 34. Výběr typu modelu

V další fázi tvorby modelu bylo potřeba přiřadit jednotlivým osám, ve kterých se dron pohybuje, jejich kanál. Pomocí tlačítka „Enter“ byly přiřazeny jednotlivé kanály (CH1, CH2, CH3 a CH4). Stisknutím tlačítka „Page“ poté došlo k přesunu na další stránku, tedy k přiřazení dalších os, ve kterých se dron pohybuje.



Obrázek 35. Přiřazení kanálů jednotlivým osám

Po přiřazení kanálů jednotlivým osám, bylo nutné přiřadit spínače pro startování motorů neboli „Arm“ a tzv. pípák neboli „Beeper“. Pípák slouží k nalezení dronu v případě nehody, kdy dron pomocí motorů začne vysílat hlasitý, akustický signál, pomocí kterého lze dron snáze lokalizovat. Nastavení pípáku není nutné, avšak může nastat situace, kdy zabrání ztrátě celého dronu. Pro startování motorů byl pomocí tlačítka „Enter“ zvolen spínač s označením „SD“ a pro pípák, spínač s označením „SA“. Spínač „SA“ i spínač „SD“ jsou pouze dvou polohovými spínači a jsou tak ideální pro použití například právě pro startování motorů. V první poloze motory neběží, v druhé naopak běží.



Obrázek 36. Přiřazení spínačů „Arm“ a „Beeper“

13.11.2 Aktivace externího modulu Crossfire

Po úspěšném nastavení kanálů bylo v nastavení vytvořeného modelu, potřeba aktivovat externí modul. Po krátkém stisknutí tlačítka „Menu“ byla zobrazena nabídka nastavení modelu. Zde bylo nutné otočením tlačítka „Enter“ vyhledat možnost „External RF“. Stisknutím tlačítka „Enter“ a následným otáčením tohoto tlačítka, byla zvolena možnost „CRSF“, která je zkratkou pro protokol Crossfire, který byl při této stavbě využit. Tímto byl externí modul aktivován.



Obrázek 37. Aktivace externího modulu Crossfire

13.11.3 Párování ovladače s přijímačem

Po aktivaci externího modulu bylo nutné provést ještě tzv. „Binding“ neboli párování ovladače s RC přijímačem. Dlouhým stiskem tlačítka „Menu“ byla zobrazena záložka „Tools“, ve které bylo nutné pomocí tlačítka „Enter“ zvolit možnost „TBS Agent Lite“.



Obrázek 38. Záložka „Tools“

Po zvolení možnosti „TBS Agent Lite“ bylo zobrazeno konfigurační prostředí externího modulu, kde byla pomocí tlačítka „Enter“ zvolena možnost „Binding“, která spustila párování.



Obrázek 39. Párování RC přijímače

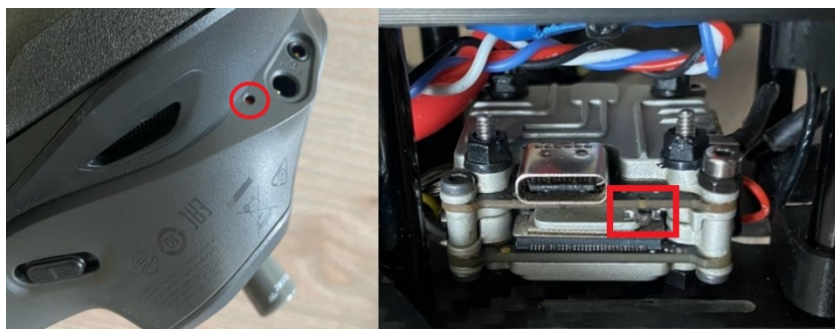
V momentě, kdy bylo vyvoláno párování v ovladači, bylo nutné zapojit baterii do sestaveného dronu a na RC přijímači umístěném v rámu, bylo potřeba stisknout párovací tlačítko nacházející se vedle červené LED diody, která značí že ovladač a přijímač není spárován. Jakmile došlo ke stisknutí párovacího tlačítka na přijímači, červená LED dioda zhasla a rozsvítla se LED dioda zelené barvy. Ta značí že párování ovladače a přijímače proběhlo v pořádku. V tento moment bylo nastavení RC ovladače dokončeno.



Obrázek 40. LED indikátory stavu párování

13.12 Zprovoznění video systému

Poté co bylo úspěšně spárováno dálkové ovládání dronu, bylo nezbytné podobný proces aplikovat i v případě video systému dronu. V případě video systému byl však proces párování daleko jednodušší a nebylo potřeba žádné nastavení FPV brýlí, či video vysílače. Párování použitého digitálního FPV systému bylo realizováno pomocí párovacího tlačítka na brýlích a video vysílači. V případě brýlí se párovací tlačítko nachází ze spodní strany. U video vysílače je párovací tlačítko umístěno z boční strany.



Obrázek 41. Umístění párovacích tlačítek video systému

Po lokalizaci párovacích tlačítek bylo možné zahájit párovací proces. V prvním kroku párování bylo zapotřebí zapojit baterii do brýlí a následně stisknout párovací tlačítko. Tímto se brýle dostaly do režimu párování. V tomto režimu brýle vydávají akustický signál v podobě pípání. V druhém kroku bylo nutné připojit baterii k dronu a poté stisknout párovací tlačítko na video vysílači. V tento moment brýle přestaly vydávat akustický signál v podobě pípání, čímž bylo oznámeno úspěšné spárování brýlí a video vysílače. Následně byl zahájen přenos obrazu do brýlí.

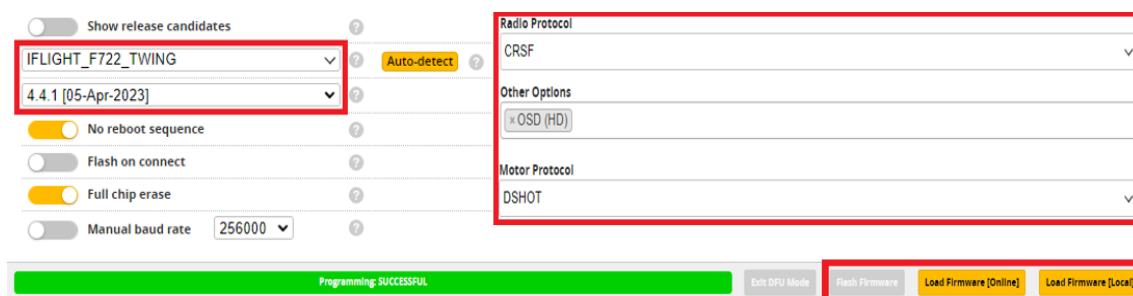
13.13 Nastavení firmware

Pro uvedení dronu do letuschopného stavu, bylo nutné provést také nastavení firmware řídicí jednotky. Jak již bylo zmíněno, byla využita řídicí jednotka s firmware Betaflight. Pro konfiguraci toho firmware bylo zapotřebí nainstalovat desktopovou aplikaci Betaflight Configurator. Následně byl dron připojen k počítači za pomoci konektoru USB typu C, který se nachází na boční straně řídicí jednotky.

13.13.1 Aktualizace firmware

V prvním kroku nastavení firmware, bylo potřeba provést jeho aktualizaci. Tuto aktualizaci je možné provést v záložce „Firmware Flasher“, avšak před samotnou aktualizací bylo nutné u jednotky aktivovat režim DFU, ve kterém je možné provádět změny ve firmware. Pro aktivaci tohoto režimu bylo využito tlačítko nacházející se na řídicí jednotce, hned vedle konektoru USB typu C. Poté co byl aktivován režim DFU, bylo možné provádět úpravy samotného firmware.

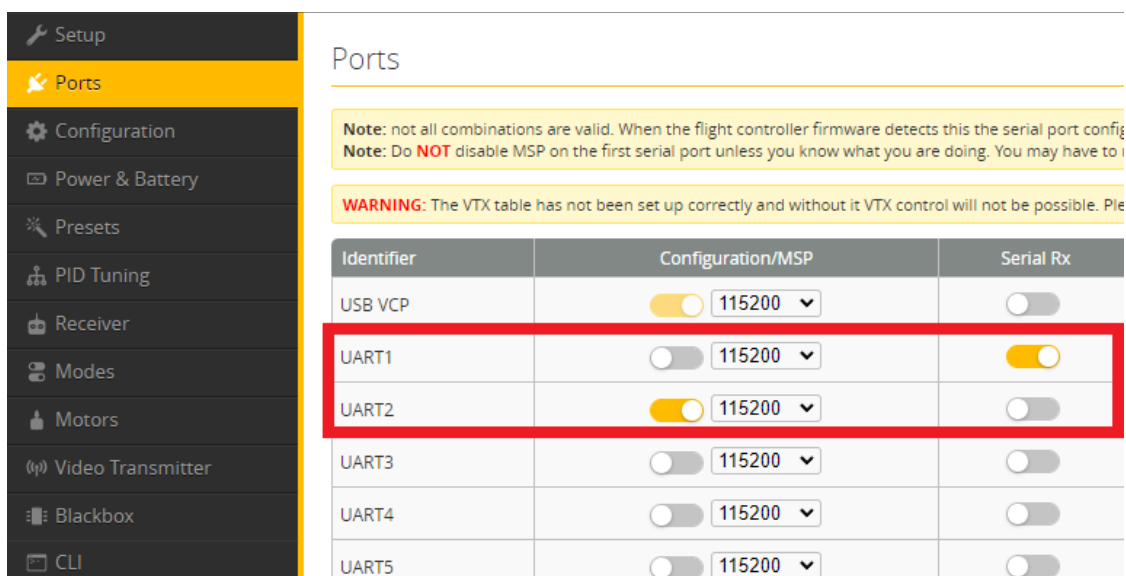
V levé horní části záložky „Firmware Flasher“ byl nastaven název použité řídicí jednotky a také konkrétní verze firmware. Byl použit nejnovější možný firmware. Dále byl v okně „Build Configuration“ nastaven používaný protokol RC přenosu, v tomto případě se jednalo o Crossfire neboli CRSF. V okně „Build Configuration“ byl následně zvolen protokol regulátoru DSHOT a také používaný typ OSD. Zde byla zvolena možnost HD, neboť je používán digitální FPV systém. Poté co byly nastaveny veškeré požadované parametry, v dolní část této záložky bylo nutné kliknout na tlačítko „Load Firmware“ a následně „Flash Firmware“. Během následujících 30 vteřin proběhla aktualizace firmware.



Obrázek 42. Aktualizace firmware

13.13.2 Nastavení UART

V druhém kroku bylo nutné nastavit jednotlivé rozhraní UART. V tomto případě byly využity dvě rozhraní UART. Prvním z nich byl UART1, který byl použit pro RC přijímač. Z tohoto důvodu bylo nezbytné aktivovat možnost „Serial RX“ u UART1. Druhým využitým rozhraním UART byl UART2. Ten byl využit pro připojení video vysílače. Bylo tedy nutné aktivovat možnost „Configuration/MSP“ u UART2. Žádné další rozhraní UART, nebylo využito, a proto nebylo potřeba dalšího zásahu do nastavení.



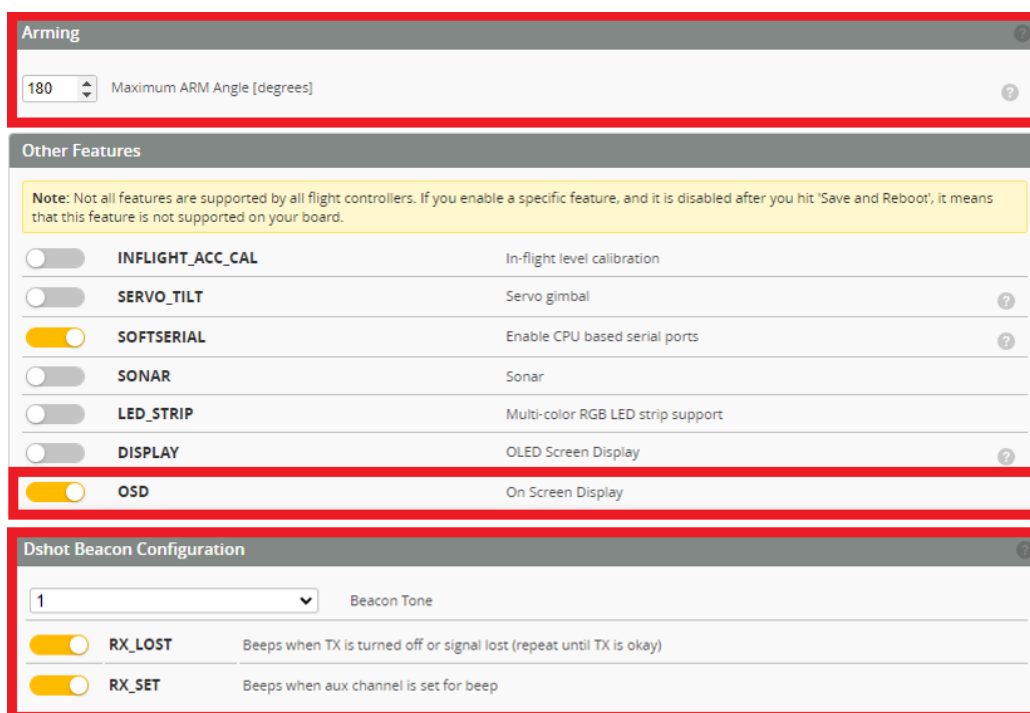
The screenshot shows the 'Ports' configuration page in a flight controller interface. A sidebar on the left contains menu items: Setup, Ports (highlighted), Configuration, Power & Battery, Presets, PID Tuning, Receiver, Modes, Motors, Video Transmitter, Blackbox, and CLI. The main content area is titled 'Ports' and contains two notes: 'Note: not all combinations are valid. When the flight controller firmware detects this the serial port config' and 'Note: Do NOT disable MSP on the first serial port unless you know what you are doing. You may have to'. Below the notes is a warning: 'WARNING: The VTX table has not been set up correctly and without it VTX control will not be possible. Ple'. A table below lists UART configurations:

Identifier	Configuration/MSP	Serial Rx
USB VCP	<input checked="" type="checkbox"/> 115200	<input type="checkbox"/>
UART1	<input type="checkbox"/> 115200	<input checked="" type="checkbox"/>
UART2	<input checked="" type="checkbox"/> 115200	<input type="checkbox"/>
UART3	<input type="checkbox"/> 115200	<input type="checkbox"/>
UART4	<input type="checkbox"/> 115200	<input type="checkbox"/>
UART5	<input type="checkbox"/> 115200	<input type="checkbox"/>

Obrázek 43. Nastavení UART

13.13.3 Konfigurace parametrů

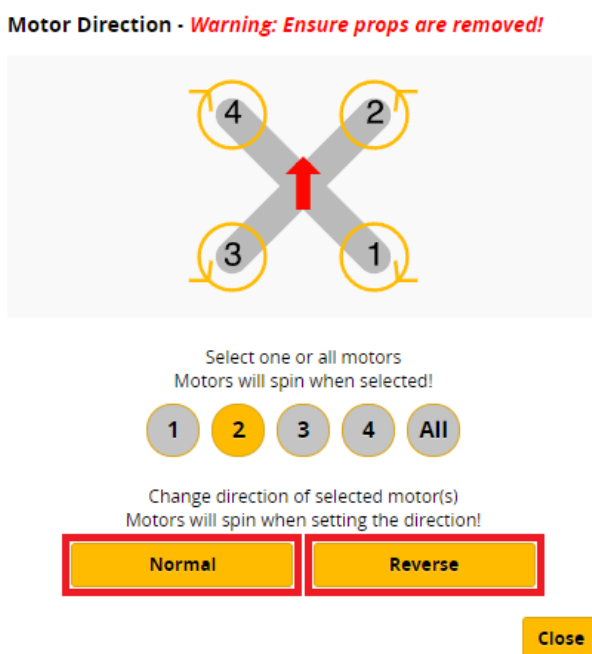
Následně bylo potřeba provést nastavení několika parametrů v záložce „Configuration“. Nejdříve byl nastaven parametr v okně „Arming“ a to konkrétně na hodnotu 180. Jedná se o maximální úhel dronu, ve kterém je možné spustit motory. Úhel 180 stupňů je zde nastaven z důvodu možné nehody. Možnost spustit motory dronu až při úhlu 180 stupňů může být využita například při uvíznutí stroje v koruně stromu, kdy pomocí roztočení motorů dojde k uvolnění dronu. Dále bylo nutné provést nastavení v okně „Other Features“ a zapnout možnost „OSD“, která aktivuje zobrazení letových hodnot dronu do brýlí pilota. Následně bylo nutné zapnout možnost „RX_LOST“ a „RX_SET“ v okně „Dshot Beacon Configuration“. Tato možnost aktivuje pípák a umožní tak dronu vydávat akustický signál v podobě pípání. Možnost „RX_LOST“ umožní automatickou aktivaci pípáku v případě ztráty RC signálu a možnost „RX_SET“ umožňuje aktivovat pípák pomocí spínače na ovladači.



Obrázek 44. Konfigurace parametrů

13.13.4 Konfigurace směrů otáčení motorů

Jak již bylo zmíněno v teoretické části, v případě kvadrokoptér, neboli dronů se čtyřmi motory, je nezbytné, aby se dva motory točily po směru hodinových ručiček a dva proti směru hodinových ručiček. Platí také, že se nikdy nesmí nacházet dva motory o stejném směru otáčení nad sebou, nebo vedle sebe. Na základě těchto pravidel bylo nezbytné nastavit motory tak, aby se motor 1 a 4 točil po směru hodinových ručiček a motor 2 a 3 proti směru hodinových ručiček. Tato konfigurace proběhla v záložce „Motors“. Po kliknutí na tlačítko „Motor Direction“ bylo zpřístupněno prostředí sloužící pro nastavení směru otáčení jednotlivých motorů. U motoru 1 a 4 byla zvolena možnost „Normal“ a u motoru 2 a 3 naopak možnost „Reverse“. V tento moment byly úspěšně nastaveny směry otáčení všech motorů.



Obrázek 45. Konfigurace směrů otáčení motorů

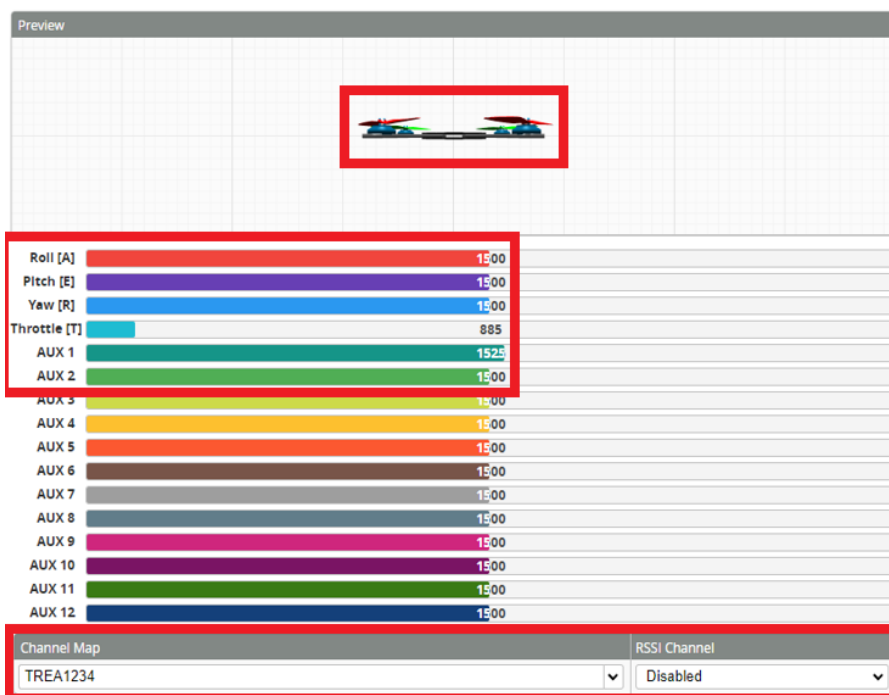
13.13.5 Konfigurace kanálů

Dalším krokem při konfiguraci firmware Betaflight, bylo nastavení jednotlivých kanálů. Tato konfigurace proběhla v záložce „Receiver“.

Při tvorbě modelu v RC ovladači bylo zvoleno pořadí kanálů následovně:

- Throttle – kanál č.1 (CH1), který je označen písmenem T
- Yaw – kanál č.2 (CH2), který je označen písmenem R
- Pitch – kanál č. 3 (CH3), který je označen písmenem E
- Roll – kanál č. 4 (CH4), který je označen písmenem A

Z tohoto důvodu, bylo nezbytné do okna „Channel Map“ zapsat pořadí kanálů tak, aby byly kanály seřazeny postupně od prvního, po čtvrtý kanál. Do okna „Channel Map“ byly tedy kanály zapsány v pořadí „TREA“. Správnost zapsání byla ověřena v okně „Preview“ kde se nachází 3D model dronu, který při pohybování s kniply na ovladači, simuluje pohyb reálného dronu.



Obrázek 46. Konfigurace kanálů

13.13.6 Konfigurace spínačů

Kromě nastavení kanálů potřebných pro ovládání dronu v jednotlivých osách, byly při tvorbě modelu v RC ovladači nastaveny také kanály pro startování motorů a aktivaci pípáku. Tyto kanály byly označeny AUX1 a AUX2, dalo by se říct že se po kanálech CH1 až CH4 určených pro Throttle, Yaw, Roll a Pitch, jedná o kanály CH5 a CH6, akorát nemají za úkol ovládání pohybu dronu, ale ovládání spínačů. Oba z těchto kanálů byly přiřazeny k ovládání dvoupolohových spínačů. Konfigurace spínačů proběhla v záložce „Modes“. AUX1 byl přiřazen jako spínač určený pro startování motorů neboli „Arm“. AUX2 byl zvolen jako spínač, který aktivuje pípák. Pomocí žlutých posuvníků, které jsou zobrazeny na obrázku níže, bylo možné určit, ve které poloze bude spínače bude „Arm“ či „Beeper“ aktivován. U obou spínačů byla zvolena spodní poloha.



Obrázek 47. Konfigurace spínačů

V tento moment byla kompletně dokončena konfigurace firmware v aplikaci Betaflight Configurator. Tento konfigurátor nabídne daleko více možností konfigurace dronu, avšak v tomto případě není potřeba konfigurovat žádné další příslušenství, ani nijak více upravovat defaultní nastavení firmware. Kliknutím na tlačítko „Save and reboot“ v dolní části konfigurátoru, bylo veškeré nastavení uloženo a proběhl také restart desky doprovázený akustickým signálem, který signalizuje že konfigurace proběhla v pořádku, nastavení bylo uloženo a řídicí jednotka je tak schopna provozu.

13.14 Uvedení do letuschopného stavu

V momentě, kdy byl dron sestaven a nakonfigurován, zbývalo již jen několik málo kroků k dosažení letuschopného stavu. Mezi činnosti nezbytné pro učinění stroje letuschopným patří především otestování stavu failsafe, montáž vrtulí a externí kamery, a také předletová kontrola.

13.14.1 Test failsafe

Failsafe je stav, který u FPV dronu nastane v situaci, kdy je přerušena signál dálkového ovládní a pilot tak nad dronem nemá kontrolu. Z FPV dronu se při tomto stavu stává nekontrolovaný objekt, pohybující se rychlostí několika desítek kilometrů v hodině, který může způsobit zranění nebo škodu. Právě z tohoto důvodu je nezbytné, aby byl failsafe správně nastaven a bylo tak minimalizováno riziko ohrožení třetí osoby či majetku. V případě FPV dronů je failsafe nastaven defaultně v režimu „Drop“. Režim „Drop“ zajistí okamžité vypnutí motorů při ztrátě signálu, což povede k pádu dronu, avšak nenastane situace, kdy by se dron pohyboval nekontrolovatelně, po delší časový úsek.

Správné fungování failsafe bylo otestováno doporučeným způsobem. Test byl proveden bez osazených vrtulí, z důvodu zajištění bezpečnosti. Pro uskutečnění testu bylo nezbytné zapojit baterii do dronu a zapnout ovladač. Dalším krokem bylo spuštění motorů pomocí předem nastaveného spínače na ovladači. Jakmile se motory roztočily, bylo potřeba vypnout ovladač, čímž byla simulována situace, kdy dojde k přerušení signálu. Následovalo okamžité vypnutí motorů, což znamenalo, že failsafe je nastaven správně a při ztrátě signálu budou motory vypnuty.

13.14.2 Montáž vrtulí

Při montáži vrtulí bylo nezbytné dodržet směr otáčení, pro který je vrtule určena. Vrtule určená pro otáčení ve směru hodinových ručiček, byla osazena na motor, jehož směr otáčení je také ve směru hodinových ručiček. V tomto případě se jednalo o motory číslo jedna a čtyři. Naopak vrtule určená pro otáčení proti směru hodinových ručiček byla osazena na motory číslo dva a tři. Jednotlivé vrtule byly dotaženy klíčem určeným pro dotažení matic o velikosti M5.



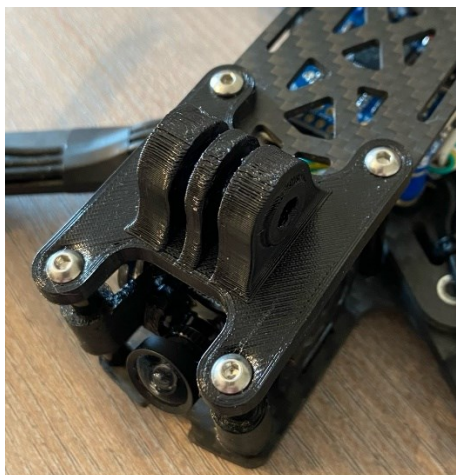
Obrázek 48. Montáž vrtulí

13.14.3 Nastavení externí kamery

Ještě před samotnou montáží externí kamery na dron, bylo provedeno její nastavení. Nastavení externí kamery pro FPV dron je nezbytnou záležitostí pro dosažení co nejpůsobivějších záběrů. Externí kamera použitá v tomto případě disponuje možností nahrávat video záznam v rozlišení až 5,3K, avšak z důvodu úspory paměti SD karty a také z důvodu snížení náročnosti následné postprodukce těchto záběrů, bylo zvoleno rozlišení 4K. Snímková frekvence byla nastavena na 25 snímků za vteřinu. Dalším parametrem, který bylo nutné zvolit, byl poměr stran. Ten byl zvolen na 16:9. Dále bylo potřeba zvolit vhodnou šířku záběru neboli FOV, často bývá u FPV dronů volen tzv. „SuperView“, který nabídne velmi široký úhel záběru, avšak vytváří efekt rybího oka, a právě z tohoto důvodu byl zvolen režim „Wide“, který sice nabídne podstatně menší úhel záběru, ale částečně eliminuje nežádoucí efekt rybího oka. Interní stabilizace obrazu byla vypnuta, neboť stabilizace bude realizována v software Gyroflow. Nakonec bylo nezbytné zvolit barevný profil. Jelikož budou záběry po jejich pořízení editovány a bude probíhat i color grading, byl zvolen profil „Flat“, který při postprodukci umožní lépe pracovat s barvami.

13.14.4 Montáž externí kamery

Pro montáž externí kamery bylo nejprve nutné, osadit dron držákem do kterého bude kamera uchycena. Držák byl stejně jako držák antény přijímače a video vysílače, vytištěn na 3D tiskárně a to z flexibilního filamentu. Pomocí čtyřech šroubů o velikosti M3 a délce 8 mm, byl držák upevněn k rámu. Následně byla do držáku zasunuta externí kamera. Tu bylo ještě nutné zabezpečit pomocí šroubu o velikosti M5 a délce 20 mm. Z druhé strany byl šroub zajištěn pomocí matice o velikosti M5.



Obrázek 49. Držák externí kamery

13.14.5 Předletová kontrola

V průběhu předletové kontroly byla zkontrolována pevnost veškerých spojů nacházejících se na sestaveném stroji. Pomocí imbusových šroubováků bylo dodatečně zkontrolováno dotažení všech šroubů na stroji, neboť uvolnění, byť jen jednoho šroubu by mohlo mít fatální následky. Dále byla pomocí pinzety zkontrolována pevnost veškerých pájených spojů. V neposlední řadě proběhla kontrola konektorů na řídicí jednotce a regulátoru. Dále byly zkontrolovány U.FL konektory na přijímači a video vysílači. Na závěr byl zkontrolován SMA konektor sloužící pro připojení antény. V průběhu předletové kontroly nebyl odhalen žádný problém, který by mohl způsobit komplikace v průběhu letu. Během předletové kontroly byl dron také označen přidělenou značkou. Štítek byl umístěn na spodní stranu ramena dronu. Na závěr byl k vrchnímu plátu dronu upevněn pásek, který slouží pro uchycení baterie. Po provedení důkladné předletové kontroly bylo možné dron označit jako letuschopný.



Obrázek 50. Letuschopný FPV dron

14 ZÁLET SESTAVENÉHO FPV DRONU

Poté co dron dosáhl letuschopného stavu, bylo možné provést první zkušební let a pořízení záběrů sestaveným FPV dronem. Nejdříve však bylo nezbytné vybrat správnou lokaci, která je dobře dostupná, a především aby let provedený na této lokaci byl podle pravidel aktuální legislativy týkající se bezpilotních letounů. Také bylo zapotřebí zajistit, aby se v blízkém okolí lokace nenacházely žádné vysílače, které by mohly komplikovat RC přenos nebo přenos videa. Jako vhodná lokace, splňující veškeré požadavky, byla zvolena louka o velké rozloze, nacházející se nedaleko města Hranice na Moravě.

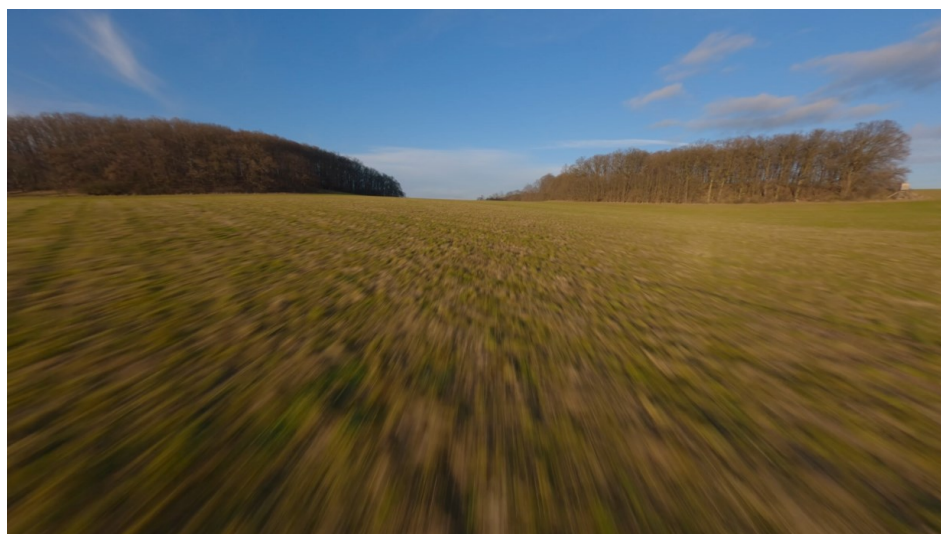
Pro úspěšný a bezpečný vzlet bylo potřeba učinit několik kroků, v následujícím pořadí:

1. Zapnutí RC ovladače
2. Zapojení baterie do FPV dronu
3. Zapnutí FPV brýlí
4. Nasazení ND filtru a zapnutí nahrávání externí kamery

V tento moment byl sestavený FPV dron připraven k pilotnímu letu. Během letu byl otestován pohyb dronu ve všech jeho osách. V průběhu celého letu nebyly pozorovány žádné nežádoucí prvky v letovém projevu stroje. Signál RC přenosu a video přenosu se po celou dobu letu projevoval stabilně a spolehlivě. Let probíhal necelé čtyři minuty, poté bylo nutné přistát z důvodu vybité baterie. Po přistání byla zkontrolována teplota motorů a regulátoru, ani zde však nebyl odhalen žádný problém. Následně bylo vypnuto nahrávání externí kamery a k dispozici tak byl záznam pořízený na sestavený FPV dron. Na přiložených záběrech lze pozorovat letový projev dronu z množiny FPV a také styl a dynamiku záběrů, které jsou tyto drony schopné produkovat.



Obrázek 51. Zálet sestaveného FPV dronu



Obrázek 52. Ukázka přiložených záběrů č.1



Obrázek 53. Ukázka přiložených záběrů č.2

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vypracování uceleného přehledu, obsahujícího relevantní informace týkající se bezpilotních letounů a jejich využití ve filmové tvorbě. Tato práce by měla čtenáře uvést do dané problematiky a po nastudování by čtenář měl disponovat znalostmi týkajícími se dronů jako takových a jejich rozdělení, také znalostmi z oblasti tzv. FPV dronů, legislativy omezující provoz těchto letounů, komponent nezbytných pro stavbu dronů z této množiny a také možných využitelných kamer pro FPV drony.

První kapitola teoretické části byla věnována obecně dronům, jejich využití a rozdělení. Následně byla podrobně rozebrána možnost využití dronů pro záznam videa. Další kapitola byla zaměřena na drony z množiny tzv. FPV (First Person View) a jejich rozdělení dle využití a následně také dle jejich velikosti. Dále byla rozebrána Legislativa České republiky, která nově omezuje provoz bezpilotních letounů. V další kapitole byly detailně rozebrány jednotlivé komponenty nezbytné pro stavbu FPV dronu. Byly popsány jejich vlastnosti a rozdělení. V následující části proběhl popis možných využitelných druhů video systémů u tohoto typu dronů a byly charakterizovány jednotlivé komponenty video systému. Další část byla věnována dostupným možnostem dálkového ovládání FPV dronů. Dále byly popsány možnosti napájení těchto letounů a také kamery, kterými je možné tyto drony osadit.

V praktické části pak proběhla stavba samotného FPV dronu. Na úvod byly stanoveny konkrétní cíle praktické části, následované návrhem a výběrem správných komponent pro stavbu FPV dronu. V první kapitole týkající se samotné stavby proběhla příprava regulátoru. Další kapitola byla věnována instalaci motorů. Dále byla popsána instalace regulátoru do těla dronu. Dalším bodem praktické části byla příprava RC přijímače a video vysílače, následovaná jejich připojením a instalací. V dalších kapitolách praktické části bylo realizováno zprovoznění dálkového ovládání a také video systému. Další kapitola byla zaměřena na aktualizaci a nastavení firmware dronu. Poslední kapitola pak byla věnována osazení a nastavení externí kamery, následovaném předletovou kontrolou, na jejichž závěru byl stroj označen za letuschopný.

Komunita pilotů FPV dronů se v České republice rychle rozrůstá, s čímž je spojeno velké množství nejasností a dotazů, především tedy ze strany začátečníků. To je dle mého názoru způsobeno také nedostatkem informací o této problematice, dostupných v českém jazyce. Právě zde vidím možné využití této bakalářské práce. Především tedy pro studium problematiky týkající se těchto dronů a také jako podklad při stavbě samotného FPV dronu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Co je to dron? *Cojeto.superia.cz* [online]. 2023 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://cojeto.superia.cz/technika/dron.php>
- [2] KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 97880-25146804.
- [3] Drony v průmyslu. *Dronpro.cz* [online]. 2023 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://dronpro.cz/drony-v-prumyslu>
- [4] HARDYN, Michal. Využití dronů. *Icesty.cz* [online]. 2022 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.icesty.cz/vyuziti-dronu/>
- [5] Drony v zemědělství a lesnictví. *Telink.eu* [online]. [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: <https://www.telink.eu/cs/content/122-drony-v-zemedelstvi-a-lesnictvi>
- [6] KOCOUREK, Jaroslav a Jaroslav ŘEŠÁTKO. *Drony: praktická příručka pro majitele dronů DJI*. Praha: TELINK, spol. s r.o., 2017. ISBN 9788073462284.
- [7] Filmy a reklamy. *Dronpro.cz* [online]. 2023 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://dronpro.cz/filmy-a-reklamy>
- [8] IFlight Nazgul Evoque F5D 6S HD. In: *Amazon.com* [online]. [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: https://m.media-amazon.com/images/I/51dAINMDj0L._AC_SL1001_.jpg
- [9] FIEDLER, Jiří. Legislativa. *Live.rotorama.cz* [online]. 9. 12. 2020 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://live.rotorama.cz/tutorial/legislativa/>
- [10] Rámy. *6sfull.cz* [online]. 2023 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://www.6sfull.cz/ramy/>
- [11] LIANG, Oscar. FPV Drone Frames. *Oscarliang.com* [online]. 2023, 20 February 2023 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/fpv-drone-frames/>
- [12] LUMENIER QAV-S JOHNNYFPV. *Drone-fpv-racer.com* [online]. 2023 [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: https://www.drone-fpv-racer.com/32582-large_default/lumenier-qav-s-2-johnnyfpv-special-edition-5-freestyle-frame.jpg
- [13] LIANG, Oscar. Brushed vs Brushless motor. *Oscarliang.com* [online]. 2 April 2019 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/brushed-vs-brushless-motor>
- [14] LIANG, Oscar. How to Choose FPV Drone Motors. *Oscarliang.com* [online]. 26 March 2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/motors/>

- [15] Motory. *Rotorama.cz* [online]. 2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.rotorama.cz/motory>
- [16] FPV Drone Maintenance and Cleaning Guide. *Getfpv.com* [online]. 11 January 2020 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.getfpv.com/learn/fpv-essentials/fpv-drone-maintenance-and-cleaning-guide/>
- [17] JURAČKA, Petr Jan. *Drony – fotografování z ptačí perspektivy: co všechno potřebujete vědět o dronech a jejich využití pro leteckou fotografii a video* [online]. Praha: Grada, 2017 [cit. 2023-04-06]. ISBN 978-802-4757-872.
- [18] LIANG, Oscar. The Ultimate Guide to FPV Drone Propellers. *Oscarliang.com* [online]. 27 February 2023 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/propellers/>
- [19] TMOTOR T5146 FPV Drone Propellers Freestyle&Indoor racing. *Shop.tmotor.com* [online]. [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://shop.tmotor.com/products/fpv-drone-racing-propellers-t5146>
- [20] LIANG, Oscar. What is an ESC. *Oscarliang.com* [online]. 30 March 2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/esc/#What-is-an-ESC>
- [21] Cyclone 35A BLHeli_S DSHOT ESC. *Aliexpress.com* [online]. 2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/i/1005001501573872.html>
- [22] XRotor FPV 30x30 ESC. *Hobbywing.com* [online]. 2023 [cit. 2023-03-31]. Dostupné z: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0109/9702/products/XRotor60A4in1ESCHDD12_5000x.jpg?v=1626192549
- [23] ŽANDA, Martin. *DRONY A JEJICH VYUŽITÍ*. Brno, 2020. Dostupné také z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=212202. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VUT.
- [24] Řídící jednotky. *Rotorama.cz* [online]. [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.rotorama.cz/ridici-jednotky>
- [25] LIANG, Oscar. Flight Controller Explained. *Oscarliang.com* [online]. 28 February 2023 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/flight-controller-explained/#Flight-Controller-What-it-is-and-How-it-Works>
- [26] FPV Drone Flight Modes. *Academy.wedio.com* [online]. [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://academy.wedio.com/fpv-drone-flight-modes/>

- [27] LIANG, Oscar. Firmware for FPV Drone Flight Controller Overview. *Oscarliang.com* [online]. 21 February 2023 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/fc-firmware/>
- [28] T-MOTOR F7 HD FLIGHT CONTROLLER. *Drone-fpv-racer.com* [online]. [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.drone-fpv-racer.com/en/t-motor-f7-hd-flight-controller-5547.html>
- [29] LIANG, Oscar. FPV System. *Oscarliang.com* [online]. 9 February 2023 [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/fpv-system/>
- [30] Video Transmitter For FPV Drones. *Shopz.off-75.ml* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://shopz.off-75.ml/ProductDetail.aspx?iid=490465374&pr=65.88>
- [31] DJI O3 Air Unit. *Rotorama.cz* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: <https://www.rotorama.cz/video-vysilace/dji-o3-air-unit>
- [32] DJI FPV GOGGLES V2. *6sfull.cz* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: https://cdn.myshoptet.com/usr/www.6sfull.cz/user/shop/big/1209_dji-fpv-goggles-v2.jpg?605f2cac
- [33] Foxeer Lollipop 4 High Gain FPV Antenna. *Avifly.pl* [online]. [cit. 2023-04-02]. Dostupné z: https://avifly.pl/16879-large_default/foxeer-lollipop-4.jpg
- [34] LIANG, Oscar. Choosing the Best Radio Transmitter for Your FPV Drone. *Oscarliang.com* [online]. 6 March 2023 [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/radio-transmitter/>
- [35] Frsky Taranis Plus 2019. *Rotorama.cz* [online]. [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: https://www.rotorama.cz/assets/images/0525ca1044a4ad351a45afb015e5aa2a/6397-1000_1000.jpg
- [36] FrSky XM+ Plus 16 Kanal 2,4 GHz. *Micro-squad.com* [online]. [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://micro-squad.com/product/https-micro-squad-com-product-frsky-xm-16-kanal-2-4-ghz-accst-empfaenger-sbus-eu-lbt-receiver/>
- [37] NOVÁK, Jan A. *Drony: kompletní průvodce včetně přehledu nové legislativy* [online]. Praha: Grada Publishing, 2021 [cit. 2023-04-05]. ISBN 9788027107759.
- [38] LIANG, Oscar. How to Use LiPo Battery for FPV Drones Beginners Guide. *Oscarliang.com* [online]. 28 January 2023 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/lipo-batthey-guide/>

- [39] Tattu "R-Line 5.0" 6s LiPo Battery 150C (22.2V/1200mAh). *Hobbytown.com* [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://www.hobbytown.com/tattu-rline-5.0-6s-lipo-battery-150c-22.2v-1200mah-tat-taa12006s15x6/p1422771>
- [40] HERO11 Black. *Gopro.com* [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://gopro.com/en/cz/shop/cameras/hero11-black/CHDHX-111-master.html>
- [41] Outdoorová kamera GoPro HERO 11 Black. *Euronics.cz* [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.euronics.cz/image/product/800x800/626882.jpg>
- [42] Blackmagic Pocket Cinema Camera 6K PRO. *Videoking.cz* [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://videoking.cz/shop/blackmagic-pocket-cinema-camera-6k-pro/>
- [43] RED KOMODO. *Syntex.cz* [online]. [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.syntex.cz/red-komodo>
- [44] VISTA KIT: Quick Start Guide [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://cdn.shopifycdn.net/s/files/1/0036/3921/4169/files/VISTA-MANUAL-V1.4.pdf?v=1638181732>
- [45] TBS CROSSFIRE Nano RX: Quickstart guide [online]. 2021 [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.team-blacksheep.com/media/files/tbs-crossfire-nano-quickstart.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

FPV	Pohled z první osoby (F irst P erson V iew)
UAV	Bezpilotní letoun (U n m anned A erial V ehicle)
LiPo	Lithium Polymer
Li-Ion	Lithium-ion
GPS	Globální polohový systém (G lobal P ositioning S ystem)
3D	Trojrozměrný
KV	Počet otáček za minutu
RC	Dálkové ovládání (R emote C ontrol)
CW	Po směru hodinových ručiček (C lock W ise)
CCW	Proti směru hodinových ručiček (C ounter C lock W ise)
ESC	Regulátor (E lectronic S peed C ontroller)
PDB	Rozbočovač napětí (P ower D istribution B oard)
FC	Řídicí jednotka (F light C ontroller)
IMU	Inerciální měřicí jednotka (I nertial M eamurment U nit)
BEC	Regulátor napětí (B attery E liminator C ircuit)
UART	U niversal A synchronous R eceiver/ T ransmitter
USB	Univerzální sériová sběrnice (U niversal S erial B us)
PC	Osobní počítač (P ersonal C omputer)
VTX	Video vysílač (V ideo T ransmitter)
HD	Vysoké rozlišení (H igh D efinition)
OSD	Letové data (O n S creen D isplay)
LHCP	L eft H and C ircular P olarized
RHCP	R ight H and C ircular P olarized
AWG	A merican W ire G auge

GHz	gigahertz
MHz	megahertz
A	ampér
V	volt
mAh	miliampér hodina
m/s	metrů za sekundu
cm	centimetr
mm	milimetr
kg	kilogram
°C	stupeň Celsia
např.	například
tzv.	takzvaně
LED	Elektroluminiscenční dioda (L ight E mitting D iode)
DFU	Aktualizace firmware zařízení (D evice F irmware U date)
TX	Vysílač (T ransmitter)
RX	Přijímač (R eceiver)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. FPV Dron [8].....	16
Obrázek 2. Rám FPV dronu [12]	21
Obrázek 3. Motor FPV dronu [16].....	23
Obrázek 4. Vrtule FPV dronu [19]	24
Obrázek 5. Separátní regulátory [21].....	25
Obrázek 6. Regulátor 4v1 [22]	26
Obrázek 7. Řídící jednotka [28].....	30
Obrázek 8. Analogový FPV systém [30]	31
Obrázek 9. Digitální FPV systém DJI [31].....	32
Obrázek 10. Brýle pro digitální FPV systém DJI [32]	33
Obrázek 11. Všesměrová anténa pro video vysílač [33]	34
Obrázek 12. RC ovladač [35]	37
Obrázek 13. RC přijímač [36].....	38
Obrázek 14. Baterie pro FPV dron [39].....	40
Obrázek 15. Kamera GoPro [41]	41
Obrázek 16. Připravené komponenty pro stavbu.....	48
Obrázek 17. Připravený regulátor	49
Obrázek 18. Upevnění motorů.....	50
Obrázek 19. Instalace regulátoru	51
Obrázek 20. Zapojení vodičů video vysílače.....	52
Obrázek 21. Připravený video vysílač	52
Obrázek 22. Osazení video vysílače do rámu.....	53
Obrázek 23. Osazení kamery do rámu.....	53
Obrázek 24. Zapojení napájení video vysílače	54
Obrázek 25. Zapojení TX a RX video vysílače	54
Obrázek 26. Zapojení vodičů RC přijímače	55
Obrázek 27. Připravení RC přijímač.....	56
Obrázek 28. Zapojení RC přijímače	57
Obrázek 29. Zapojení FC a ESC.....	58
Obrázek 30. Sestavený FPV dron	59
Obrázek 31. Použitý RC ovladač a externí modul.....	60
Obrázek 32. Zapojení externího modulu	60

Obrázek 33. Tvorba modelu	61
Obrázek 34. Výběr typu modelu	61
Obrázek 35. Přiřazení kanálů jednotlivým osám	61
Obrázek 36. Přiřazení spínačů „Arm“ a „Beeper“	62
Obrázek 37. Aktivace externího modulu Crossfire	62
Obrázek 38. Záložka „Tools“	63
Obrázek 39. Párování RC přijímače	63
Obrázek 40. LED indikátory stavu párování	63
Obrázek 41. Umístění párovacích tlačítek video systému	64
Obrázek 42. Aktualizace firmware	65
Obrázek 43. Nastavení UART	66
Obrázek 44. Konfigurace parametrů	67
Obrázek 45. Konfigurace směrů otáčení motorů	68
Obrázek 46. Konfigurace kanálů	69
Obrázek 47. Konfigurace spínačů	70
Obrázek 48. Montáž vrtulí	72
Obrázek 49. Držák externí kamery	73
Obrázek 50. Letuschopný FPV dron	74
Obrázek 51. Zálet sestaveného FPV dronu	75
Obrázek 52. Ukázka přiložených záběrů č.1	76
Obrázek 53. Ukázka přiložených záběrů č.2	76

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Ideální velikost motorů dle velikosti rámu a použité vrtule [14].....	23
Tabulka 2 Zvolené komponenty FPV dronu.....	47

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Obsah přiložené SD karty

PŘÍLOHA P I: OBSAH PŘILOŽENÉ SD KARTY

Příložená SD karta obsahuje následující soubory:

- Soubor **fulltext.pdf**, který obsahuje elektronickou verzi práce ve formátu PDF/A
- Soubor **zabery.mp4**, který obsahuje záběry natočené sestaveným FPV dronem