

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií

**Technická analýza návrhu a konstrukce FPV kvadrokoptéry
s využitím částí vyrobených 3D tiskem**

Bakalářská práce

Autor: Petr Izák
Studijní obor: Aplikovaná informatika

Vedoucí práce: RNDr. Petr Tučník, Ph.D.

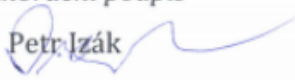
Hradec Králové

duben 2021

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 23.4.2021

vlastnoruční podpis
Petr Izák 

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce RNDr. Petru Tučníkovi, Ph.D. za metodické vedení práce a cenné pokyny při jejím zpracování.

Anotace

Bakalářská práce „Technická analýza návrhu a konstrukce FPV kvadrokoptéry s využitím částí vyrobených 3D tiskem“ pojednává o problematice nynějších dronů všech kategorií, v další části práce, výhradně dronů s FPV systémem. První část teoretické práce je věnována rozdělení dronů dle počtu rotorů společně s úrovněmi automatizace, historií a aktuální legislativě, která je spojena s provozem dronů na území ČR. Zmíněn je rovněž účel použití těchto dronů a princip fungování křídla. Druhá část teoretické práce se zaměřuje na rozbor komponent samotného FPV dronu společně s periferními zařízeními, vysvětlením funkce FPV, letových režimů, signálů a protokolů. Práce se věnuje také samotné konstrukci FPV dronu s použitím vytištěných součástek z 3D tiskárny, pájení a finální konfiguraci řídicí jednotky, provedenou převážně v CLI konfigurátoru Betaflight. V rámci práce je vypracována také analýza nákladů na konstrukci a porovnání vytvořeného dronu, s již existujícími řešeními. Závěr práce tvoří zhodnocení výstupu z mé práce společně se subjektivními názory a fotkami z letu kvadrokoptéry.

Annotation

Title: *Technical Design and Construction of FPV Quadcopter Using 3D Print Components*

The bachelor's thesis "Technical Design and Construction of FPV Quadcopter Using 3D Print Components" deals with an issue of current drones of all categories, in the next part of the thesis, exclusively drones with FPV system. The first part of the theoretical thesis is focused to the division of drones according to the number of rotors together with levels of automation, history, and current legislation, which is associated with the operation of drones in Czech Republic. The purpose of using these drones and the principle of operation of the wing are also mentioned. The second part of the theoretical thesis focuses on the analysis of the components used on FPV drone itself together with peripheral devices, an explanation of the FPV system, flight modes, signals, and protocols. The thesis also deals with the construction of the FPV drone using printed components from 3D printer, soldering and the final configuration of flight controller, performed mainly in the Betaflight CLI software. Thesis also includes a cost analysis of construction and comparison between created drone and already existing solutions. The conclusion of the thesis is an evaluation of the output of my work together with subjective opinions and photos from the flight.

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Klasifikace dronů	3
3.1	Úrovně automatizace dronů.....	4
3.1.1	Úroveň 0.....	4
3.1.2	Úroveň 1.....	5
3.1.3	Úroveň 2.....	5
3.1.4	Úroveň 3.....	5
3.1.5	Úroveň 4.....	6
3.1.6	Úroveň 5.....	6
3.2	Rozdělení dle počtu rotorů.....	7
3.2.1	Jednorotorové drony.....	7
3.2.2	Multikoptéry.....	11
3.2.3	Pevná křídla.....	15
3.2.4	Hybridní pevná křídla VTOL.....	19
3.3	Rozdělení dle účelu použití.....	22
3.4	Historie dronů.....	23
3.5	Legislativa.....	26
4	Rozbor a specifikace FPV kvadrokoptéry	30
4.1	Rozdělení FPV dronů dle velikosti.....	32
4.2	First Person View systém.....	34
4.3	Rám.....	35
4.3.1	Typy rámu.....	36
4.4	Motory.....	36
4.4.1	Bezkartáčové motory.....	37

4.4.2	Kartáčové motory.....	39
4.5	Regulátory a jejich firmware.....	40
4.5.1	Samostatné regulátory	40
4.5.2	Čtyři regulátory na desce.....	41
4.5.3	AIO Regulátory.....	42
4.5.4	Firmware BLHeli_S a BLHeli_32	42
4.5.5	Protokol DShot.....	42
4.6	Řídící jednotka.....	43
4.6.1	Senzory řídicí jednotky	44
4.6.2	Firmware Betaflight 4.2	45
4.6.3	Hodnoty PID	46
4.6.4	Letové režimy.....	47
4.7	FPV kamera.....	47
4.7.1	Obrazový senzor	49
4.7.2	Zorné pole a poměr stran	49
4.7.3	On Screen Display.....	50
4.8	Vysílač a přijímač video signálu.....	50
4.8.1	Vysílání a přijímání signálu	51
4.8.2	Vysílací výkon	52
4.8.3	FPV brýle.....	53
4.8.4	Digital Video Record.....	53
4.8.5	Monitor	54
4.8.6	DJI Digital FPV.....	54
5	Periferní zařízení a komponenty kvadrokoptéry	55
5.1	Antény.....	55
5.1.1	Konektory.....	55

5.1.2	Základní typy antén	56
5.1.3	Polarizace signálu.....	57
5.2	Vysílač a přijímač ovládacího signálu.....	57
5.2.1	Kanály a frekvence	58
5.2.2	Firmware	58
5.2.3	Protokoly rádiového přenosu.....	58
5.2.4	Popis rádiového přijímače	59
5.3	Baterie	60
5.3.1	Bezpečnost	60
5.3.2	Konektory.....	61
5.4	Vrtule.....	62
6	Praktická část – Technický návrh řešení a postup konstrukce dronu	63
6.1	Úprava a tisk částí dronu.....	63
6.2	Instalace regulátoru a motorů.....	64
6.3	Propojení regulátoru a řídicí jednotky.....	65
6.4	Instalace FPV kamery	66
6.5	Instalace přijímače.....	66
6.6	Instalace video vysílače.....	67
6.7	Finální úpravy a dokončení konstrukce	68
7	Praktická část – Implementace řešení a testy funkčních parametrů.....	70
7.1	Připojení kvadrokoptéry a přepis firmware.....	70
7.2	Obecná konfigurace v CLI.....	70
7.3	Nastavení portů komunikace.....	71
7.4	Mapování kanálů vysílače	72
7.5	Nastavení AUX módů	72
7.6	Kalibrace PID a Rate profilů.....	74

7.7	Konfigurace video vysílače a OSD	76
7.8	Nastavení failsafe	77
7.9	Kontrola senzorů a párování s vysílačem.....	78
8	Praktická část - Analýza nákladů na konstrukci dronu, srovnání existujících řešení	80
8.1	Analýza nákladů na konstrukci kvadrokoptéry	80
8.2	Srovnání vlastní kvadrokoptéry s již existujícími 3" řešeními.....	82
9	Závěr.....	85
10	Seznam použité literatury	90
11	Přílohy	96

Seznam zkratek

UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle
RC	Radio Controlled
FPV	First Person View
FBL	Flybarless
CW	Clockwise
CCW	Counterclockwise
V	označení napětí Volt
S	označení článku LiPo baterie
KV	rychlostní konstanta
VTOL	Vertical Take-off and Landing
HALE	High-altitude Long Endurance
DVR	Digital Video Record
ÚCL	Úřad pro civilní letectví
TSA	Temporary Segregated Area
TRA	Temporary Reserved Area
ATZ	Aerodrome Traffic Zone
CTR	Control Zone
DRL	Drone Racing League
DCL	Drone Champions League
TBS	Team Black Sheep
mAh	miliampérhodina
FPS	First Person Shooter
GHz	gigahertz
RPM	Rounds per Minute
A	označení ampéru
AWG	American Wire Gauge
ESC	Electric Speed Controller
FC	Flight controller
VTX	Video transmitter
OSD	On Screen Display
AIO	All in One
PID	Proportional Integral Derivative
PWM	Pulse Width Modulation
CCD	Charge-coupled Device
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
GND	Ground
mW	miliwatt
dBi	jednotka decibelů
LUA	název programovacího jazyka
RP	Reverse Polarity
MMXC	Micro-miniature coaxial
TX	Transmit/Transmitter
RX	Receive/Receiver
C	označení rychlosti nabíjení baterie
SBUS	protokol
LiPo	Lithium-polymerová baterie
BAT	Battery
VID	Video
JST	Japan Solderless Terminal
GNB	Gaoneng
AUX	Auxiliary cable/port/input
NTSC	National Television Systems Committee
PETG	Polyethylene Terephthalate Glycol

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 – rozdělení dronů dle počtu rotorů.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabulka 2 – druhy křídel.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabulka 3 – základní typy VTOL dronů.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabulka 4 – rozdělení dronů dle účelu použití.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabulka 5 – letové zóny a jejich omezení.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabulka 6 – základní typy antén.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka 7 – přehled nejčastěji používaných vrtulí v FPV a jejich benefity.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabulka 8 – ceník nákladů na konstrukci kvadrokoptéry.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabulka 9 – ceník příslušenství.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabulka 10 – porovnání součástí dronů na základě kvality a ceny.....</i>	<i>83</i>

1 Úvod

Možnost využívání dronů v různých oblastech lidských činností je nyní poměrně silně diskutovaným tématem. Nápadů pro začlenění obyčejných dronů do běžného lidského fungování je mnoho, nicméně jsou plnohodnotně využívány pouze v armádě, dále pro zábavu nebo pořizování videí.

V budoucnu se již uvažuje o širším využití dronů např. pro autonomní přepravu balíčků nebo větší integraci do záchranných složek IZS. Do budoucna je také často diskutovaným tématem autonomní přeprava osob či osobní dron k přepravě potřebných nákladů. Zatím poslední evolucí dronů jsou FPV drony, které dokážou přenášet video signál na vzdálenost několika kilometrů a jsou využívány výhradně v armádě, kde většina průzkumných či taktických dronů disponuje FPV systémem. Využití FPV systému je rozmanité zejména pro armádu či složky IZS.

Pro veřejnost jsou u nás víceméně stále neznámé z důvodu malé informovanosti, rozšíření a poměrně složité konstrukce následované nastaveními a kalibracemi, bez kterých dron není schopen letu, což některé uživatele odradí. V ČR existuje pouze jeden kamenný obchod, který se zabývá pouze FPV drony. Uživatelé těchto dronů je využívají k rekreačním účelům. Do budoucna se očekává, že zájem o tyto drony z hlediska veřejnosti rapidně poroste a budou asistovat u různých lidských činností v mnoha vědních oborech.

2 Cíl práce

Cílem této práce je zkonstruování a nalezení rentabilního způsobu konstrukce FPV kvadrokoptéry s použitím částí vyrobených 3D tiskem, která je poté konfigurována a porovnávána s již existujícími řešeními. Práce se také zabývá úrovněmi automatizace dronů, legislativou, historií i rozdělením daných dronů dle různých kritérií. Dále také poukazuje na využití dronů v různých sektorech lidského působení, kde je dělí do kategorií. V práci je také uvedeno poukázání na možné funkce dronů v budoucnosti. Dále také předkládá ucelený a detailní popis každého z komponent FPV dronu včetně kabeláže, pájecích schémat a kompletní ukázkou nastavování řídicí jednotky. Tato práce je doporučena všem, kteří mají o FPV drony zájem z důvodu nedostupných literatur či článků na internetu.

3 Klasifikace dronů

Pojmem dron neboli bezpilotní letadlo (UAV)¹, je označován bezpilotní letecký prostředek bez posádky. V různých sdělovacích prostředcích (např. televize či internet) se spíše setkáváme se slangovým výrazem „*dron*“. Slovo dron vzniklo v období mezi světovými válkami. Používalo se již v první polovině 20. století, kde se odvodilo od slova „*trubec*“, což je označení pro včelího samce. Motivací byl hluboký bručivý zvuk právě těchto trubců, neboť jsou značně mohutnější než včelí dělnice a v neposlední řadě také fakt, že trubci jsou po svém poměrně krátkém životě vystrnaděni z úlu, načež létají, dokud neuhynou, velice podobně, jako nyníjší moderní drony. Slovo dron bylo poprvé užito v roce 1946 jako pojmenování pro bezpilotní letadlo. Původně bylo hovorové a jednalo se spíše o argot, postupem času bylo ustáleno jako plnohodnotné slovo. Pokročilejší uživatelé používají označení kvadroptéra.

Výhodou těchto dronů je fakt, že mohou být ovládány na dálku, pomocí předem naprogramovaných letových tras či s využitím složitých dynamických autonomních systémů. Drony s těmito systémy se dokážou navádět samy podle předem stanovených tras, a proto se aktivně využívají v armádě k průzkumným letům či k zneškodnění cílů (UCAV)² nebo jsou využívány složkami Integrovaného záchranného systému k hašení rozsáhlých požárů, střežení významných objektů či k policejnímu sledování osob. V neposlední řadě dokonce k průzkumu lomů a dolů. V posledních letech našly zalíbení i ve filmovém průmyslu. Ve vyspělých zemích se aktivně používají k zavražování pudy.

Od počátku 80. let (vzniku prvních amatérských radiostanic) jsou drony používány i k rekreačním účelům v podobě tzv. RC modelů³. Od počátku 21. století se drony začlenily do běžného komerčního provozu. Začaly se vyrábět první verze společně s ovládáním, které běžně zvládne každý uživatel.

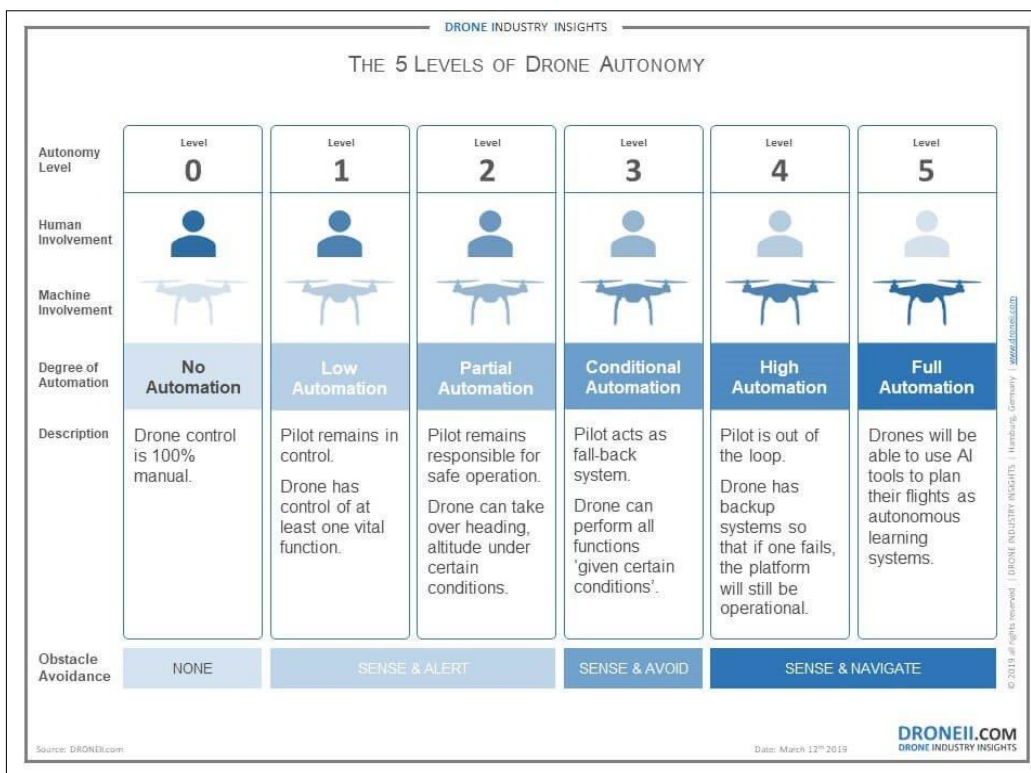
¹ *Unmanned aerial vehicle* – bezpilotní letadlo

² *Unmanned combat aerial vehicle* – bezpilotní bojové letadlo

³ *RC model* – rádiem řízený model

3.1 Úrovně automatizace dronů

Úrovně automatizace dronů můžeme rozdělit do pěti skupin (viz Obr. 1).



Obrázek 1 – úrovně automatizace dronů

zdroj: <https://dronpro.cz/data/images-l/10242-5-stupnu-droni-autonomie.jpg>

Dle míry automatizace dronu můžeme řadit drony do určitých skupin, čím vyšší skupina, tím jsou kladeny menší požadavky na manuální ovládání od uživatele:

3.1.1 Úroveň 0

Drony, které jsou plně bez automatizace, má nad nimi uživatel úplnou kontrolu. Jsou využívány spíše k rekreačním účelům, závodům, freestylu atd. K ovládání se běžně používá vysílačka s přijímačem. Do této skupiny můžeme zařadit i FPV drony⁴, které jsou zpravidla opatřeny externími akčními kamerami pro záznam videa.

⁴ **FPV drony** – dron, který dokáže přenášet živé video do brýlí pilota, čímž mu poskytuje pohled z kokpitu pro adrenalinový zážitek.

3.1.2 Úroveň 1

Uživatel má stále kontrolu nad letem dronu, přičemž dron již sám dokáže kontrolovat svoji letovou výšku, včas upozornit uživatele na překážku v letové trase, nicméně vyhnout se překážce musí uživatel již manuálně. Tato skupina dronů je využívána komerčními sektory, složkami IZS či státními podniky.

3.1.3 Úroveň 2

Drony této skupiny jsou tzv. poloautomatizované, uživatel je stále připraven převzít ovládání dronu v případě problému nebo hrozící kolize. Drony této skupiny jsou nejrozšířenější, jsou schopny kontrolovat letovou výšku, rychlost a směr letu. Řadí se sem již modernější drony, které disponují funkcí tzv. předprogramovatelné trasy. Tato funkce zajišťuje nahrání letové trasy přímo do autopilota. Po dokončení trasy je dron také schopen autonomního přistání.

Drony této skupiny se využívají v letecké fotogrammetrii. Tento vědní obor se zabývá vytvářením map různých měřítek, které mají využití v mapování pozemků, výměru půdy atd. Dále se využívají při mapování těžce nebo zcela nepřístupných míst (požár, povodeň, radiace). Snímač je umístěn na rám dronu, který při letu snímá povrch, čímž vytváří vizualizaci modelu terénu. Výhodou záznamu je rozsah záběru terénu.

3.1.4 Úroveň 3

Podobným způsobem jako u druhé úrovně musí být uživatel připraven zasáhnout do řízení dronu, ale nyní uživatel funguje spíše jako rezerva, pokud selžou autonomní systémy. Dron dokáže letět autonomně za určitých podmínek a využívá tzv. podmíněnou automatizaci. Tyto drony se využívají pro průzkumy terénu, nebo doručování lékařského materiálu.

Typickým příkladem dronů úrovně 3 je systém drone-box. Tento systém je naprogramován, aby vykonával v denních intervalech opakovaně stejný úkol, např. dron vylétne z krabice, vyplní úkol a autonomně zaletí zpět do krabice, kde se sám připojí na nabíjení, a proto není nutná interakce uživatele. Využívají se pro monitorování a střežení objektů nebo záznamu postupu práce.

3.1.5 Úroveň 4

Drony úrovně čtyři patří dnes k těm úplně nejmodernějším, disponují nouzovými systémy, což umožňuje bezpečný let i při výpadku jednoho nebo více systémů. Nejnovější typy těchto dronů mají již implementovanou detekci překážek, kdy dron překážku i ve vyšší rychlosti dokáže rozeznat a bez chyby se jí vyhnout.

Tyto typy dronů můžete ovládat jak manuálně, tak autonomně. Za ideálních podmínek jsou schopny plně autonomního letu. Tyto typy se používají k filmovým záběrům nebo fotografování. Oproti dronům nulté úrovně, jež využívají externí akční kamery, které jsou často schopné nahrávat ve vysoké kvalitě a jsou přichycené na rám, používají drony úrovně čtyři kamery implementované přímo ve svém rámu. Díky těmto kamerám, která oplývá stabilizací dokážou pořizovat videa i v rozlišení 4K⁵.

Jedním z výrobců dronů čtvrté úrovně je firma **DJI**. Tato firma minulý rok vydala již třetí verzi technologie **ActiveTrack 3.0**, která dokáže uzamknout kameru přímo na pohybující objekt a sledovat ho.

3.1.6 Úroveň 5

Nejvyšší úrovní se rozumí úroveň 5 kdy se dron pilotuje úplně sám bez zásahu uživatele. V současné době takové drony stále neexistují, i když je vytvořeno několik prototypů. V budoucnu se plánuje využívání takových dronů k přepravě např. poštovních balíčků nebo osob.

⁵ 4K – rozlišení obrazu 3840 x 2160 px

3.2 Rozdělení dle počtu rotorů

Drony se dělí na čtyři základních kategorií, dle počtu rotorů, a to na:

- Jednorotorové drony
- Multikoptéry
 - Trikoptéry
 - Kvadrokoptéry
 - Hexakoptéry
 - Oktokoptéry
- Pevná křídla
- Hybridní pevná křídla VTOL⁶

3.2.1 Jednorotorové drony

Pojmem „jednorotorový dron“ se rozumí dron, který pro let využívá pouze jeden nosný rotor společně s vyrovnávacím. Výhoda využívání tohoto řešení spočívá ve vyšším generování tahu oproti multirotorovým dronům, čímž se také výrazně prodlužuje doba letu. V praxi se využívají dva typy motorů:

- *Elektromotory*
- *Spalovací motory*

Elektromotory využívají bezkartáčové stejnosměrné či střídavé motory spolu s lithium-polymerovou baterií, tyto motory poskytují větší životnost a jsou nyní nejpoužívanější. Otáčky elektromotoru jsou regulovány což umožňuje stálé připojení přímo k převodům.

Spalovací motor využívá ke svému chodu tzv. žhavicí palivo⁷.

⁶ *VTOL* – vertical take-off and landing

⁷ *žhavicí palivo* – sloučenina methanolu, nitromethanu a oleje

Tento typ motorů je limitován minimálními volnoběžnými otáčkami, k převodovému ústrojí není připojen přímo, nýbrž pomocí odstředivé spojky. Ta napomáhá k chodu motoru bez otáčení nosného rotoru. Palivové nádrže jsou záměrně vyráběny z průsvitného plastu a umísťovány zřetelně na stranu dronů, aby bylo možné kontrolovat stav paliva za letu. V praxi se také palivo obarvuje pro lepší zřetelnost.

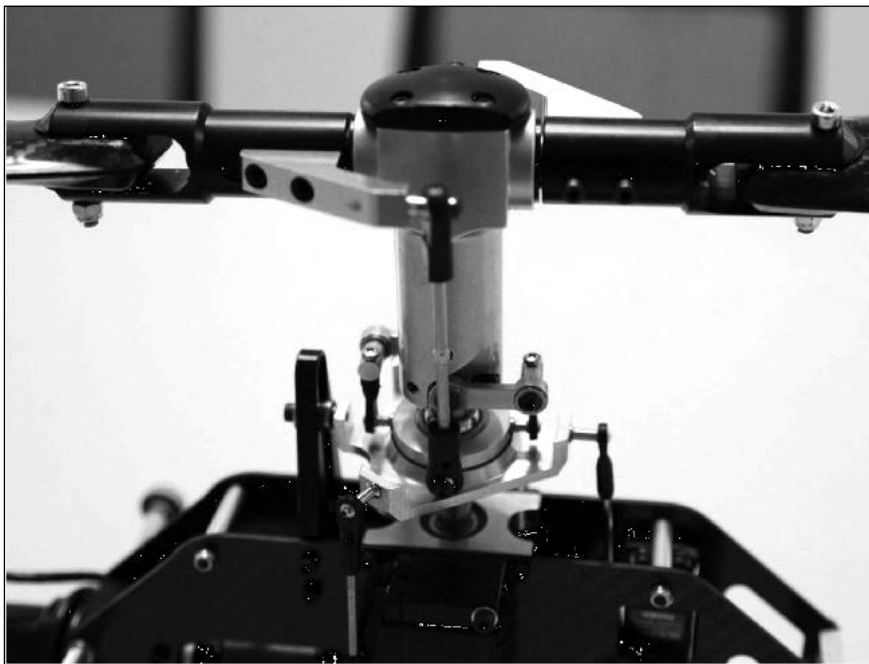
Hlavní rozdíl nastává při chlazení motorů, kde spalovací motory používají velké chladicí hlavy a elektromotory přídatná chladicí žebra, nicméně toto chlazení v praxi nestačí, proto jsou motory osazeny mnoholistými ventilátory.

Stěžejní částí dronů je nosný rotor, který je tvořen listy a rotorovou hlavou. Nejčastěji používaným typem jsou dvoulisté rotory spolu se stabilizátorem a stabilizační tyčí. Oproti dronům s elektromotory, které používají výhradně plastové rotory spolu s listy z uhlíkových kompozitů, se pro drony se spalovacími motory používají výhradně listy vyrobené ze smrkového dřeva. Tento celek je potažen plastovou fólií pro zlepšení ochrany. Důležitou vlastností u listů je správné vyvážení a seřízení rotoru, aby listy obíhaly přímo ve stejné rovině a aby se měnil tzv. úhel náběhu. Tento úhel značí svíraný vektor proudícího vzduchu s danou přímkou tělesa, čímž má vliv na konečnou vztlakovou sílu. Během letu se mění úhel náběhu ve dvou systémech:

- *Kolektivní řízení*
- *Cyklické řízení*

Kolektivní řízení - představuje ovládání úhlu rotorových listů. Pokud je páčka plynu na rádiu posunuta, nastaví se úměrně jejímu posunutí i úhel listů rotoru, čímž vznikne vztlak, což má za následek stoupaní dronu. Pro přesnější sladění kolektivu a plynu se v praxi používá letových režimů (viz Kap. 4.6.4).

Cyklické řízení – používá se pro nastavování rotoru a jeho listů do různých směrů dle potřeb letu (dopředný let, boční let). Pro ovládání úhlu náběhu listů nosného rotoru slouží tzv. deska cyklicky (viz Obr. 2).



Obrázek 2 – deska cyklíky

zdroj:

<https://www.researchgate.net/publication/276511715/figure/fig1/AS:613908645683219@1523378635752/Small-UHs-swashplate-with-three-actuators.png>

Druhým rotorem, který se nachází na ocasní části, je vyrovnávací rotor, který již nedisponuje stabilizátorem, je také tvořen listy, které jsou většinou dvoulisté. Obvykle se používají listy plastové, pro vyšší výdrž se volí i uhlíkové.

Základní částí dronů je nosný rám, na kterém jsou přimontovány všechny komponenty. Tyto rámy musejí být velice pevné a odolné, zejména vůči nárazu. Pro jejich výrobu se používají plastické hmoty plněné skelnými vlákny. Kostra je dále tvořena bočnicemi, které jsou sešroubovány příčkami. Takto tuhá konstrukce je schopna nést všechny potřebné části jako je motor, nosný rotor atd., včetně karoserie, která plní jak vzhledovou funkci dronu, tak i zároveň chrání komponenty před poškozením. Karoserie se nejčastěji vyrábí z plastu, umožňuje tak snadný přístup k případné opravě dronu.

Pod rámem dronu se nachází podvozek. Opravdové drony využívají nejčastěji podvozek s koly, který mají pevný nebo zatahovací. Jednorotorové drony zpravidla využívají podvozek, který je tvořen párem ližin.

Každý dron používá také gyroskop, který kontroluje stabilizaci ve směru svislé osy, pohyb ocasu dronu vyvolaný reakcí větru a točivého momentu. Nejnovější jednorotorové drony již používají tzv. tříosý gyroskop neboli „Flybarless“.

System Flybarless (FBL) přidává stabilizaci na kotouči rotoru, tím napomáhá zlepšení cyklické stability, vylepšuje tak celkové ovládání dronu. Tím je odstraněna potřeba mechanického Flybaru, který je již poměrně zastaralý.

První jednorotorové drony se začaly objevovat již na začátku 50. let 20. století, od 90. let 20. století začaly již vznikat první elektronicky napájené. S nástupem lithium-polymerových baterií, které dokážou poskytnout vysoký proud a zároveň jsou velice lehké, se čas letu ustálil na čtyřech až dvanácti minutách. Proti spalovacím motorům, kde je čas letu přibližně sedm až deset minut, stále lehce zaostávají, neboť záleží na stylu letu.

Tyto drony dokážou provádět manévry např. převrácený let, tzv. loop, atd. (viz Obr. 3).



Obrázek 3 – Trex 250 Micro, obrácený let

zdroj:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0a/Align_Trex_250_RC_Helicopter_flying_inverted.jpg

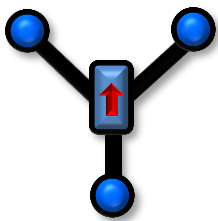

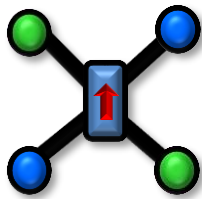

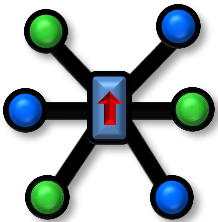

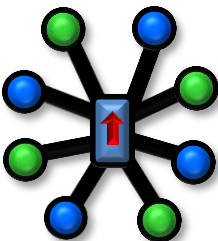

Poslední novinkou je nástup tzv. koaxiálních elektronických dronů, které díky dvěma párům rotorů přimontovaných nad sebou, s identickou osou otáčení (každý rotor otáčející se na opačnou stranu) umí eliminovat točivý moment a mohou mít velice rychlou regulační odezvu.

3.2.2 Multikoptéry

Nejvíce rozšířenou skupinou dronů, do které patří drony s více než dvěma rotory jsou tzv. multikoptéry. Oproti jednorotorovým dronům, využívají takticky rozmístěných rotorů, které přispívají větší stabilitě a kontrole.

Multikoptéry můžeme rozdělit dle počtu rotorů společně s počtem používaných vrtulí (viz Tabulka 1).

Tabulka 1 – rozdělení dronů dle počtu rotorů, zdroj: autor, obr. [40-43]

<i>Název</i>	<i>Počet rotorů</i>	<i>Vizualizace a směr otáčení listů</i>	<i>Zástupce</i>
<i>Trikoptéry</i>	3		
<i>Kvadroptéry</i>	4		
<i>Hexakoptéry</i>	6		
<i>Oktokoptéry</i>	8		

Jedním z hlavních rozdílů multikoptér a jednorotorových dronů je fakt, že již nevyužívají úhlů náběhu, jelikož jejich rotory jsou tzv. zafixované. Úhel náběhu se proto při průběhu letu nemění a zůstává stejný. Ovládání multikoptéry v letu je proto dosaženo změnami rychlostí jednotlivých rotorů pro zvýšení či snížení rychlosti točivého momentu a tahu vytvářeného jednotlivými rotory. Pro vytvoření maximálního vztlaku a tahu rotoru se využívá dvou typů listů dle směru otáčení:

- **CW – Clockwise** (ve směru hodinových ručiček)
- **CCW – Counterclockwise** (proti směru hodinových ručiček)

Hlavní výhodou multikoptér je schopnost vzlétnout vertikálně, což umožňuje vzlet i v omezených prostorách, včetně interiérů. Za vhodné oblačnosti se dají větší modely použít i venku. Multikoptéry jsou také velice levné na provoz, mají nízkou hlučnost a jejich ovládání zvládne za pár minut opravdu každý.

Jejich rozměry se pohybují od 2" až do několika metrů. Z důvodu skladnosti již modernější kvadrokoptéry vlastní schopnost vsunutí ramen do těla, čímž se zmenší na minimum (viz Obr. 4). Výhodou je také velmi rychlé nasazení v případě potřeby oproti jiným letounům.



Obrázek 4 – DJI Mavic Air, složený stav

zdroj: [https://i.ebayimg.com/00/s/NTIxWDC4NQ==/z/c3YAAOSwbqle-06Y/\\$_86.JPG](https://i.ebayimg.com/00/s/NTIxWDC4NQ==/z/c3YAAOSwbqle-06Y/$_86.JPG)

Zásadní nevýhodou multikoptér jsou zejména nepříznivé podmínky, ve kterých let není možný. Ačkoli je let velice jednoduchý a nevyžaduje žádný speciální trénink, je také poměrně krátký, doba letu se pohybuje okolo pěti až dvaceti minut, nejvýkonnější multikoptéry zvládnou i okolo třiceti minut.

Specifikace trikopty – trikopty jsou v dnešní době nejméně používanými multirotorovými drony. Pouze s třemi rotory mnohdy nedokážou vyvinout tak velký tah jako kvadrokopty, proto je jejich letový čas lehce vyšší. Jejich váha je také menší než u kvadrokopty. Překvapivě jsou poměrně drahé, protože jejich výroba již není tak velká jako u kvadrokopty. Let s trikopty vyžaduje již zkušenějšího pilota.

Specifikace kvadrokopty – v dnešní době jsou kvadrokopty nejrozšířenějším typem multikoptér vůbec. Jsou cenově dostupné, lehce se ovládají a nejsou náročné na opravu. Díky jejich skvělé manévrovatelnosti se používají také při FPV závodech či freestyle. Své útočiště našly také v rozsáhlém mapování půdy, větší modely dokážou unést i DSLR⁸. Oproti trikopty umí vyvinout větší tah díky čtvrtému rotoru. Jejich poměr počtu rotorů a manévrovatelnosti je dobře vyvážen. Pouze se čtyřmi rotory se nedokážou vyrovnat výkonu hexakopty, popř. oktokopty. Jsou využívány ve všech sektorech komerčního, armádního či hobby využití. Zdrojem energie jsou lithium-polymerové baterie.

Specifikace hexakopty – hexakopty, jak již název napovídá, mají šest rotorů, což napomáhá generovat vyšší tah než kvadrokopty. Díky vyššímu tahu dosahují vyšších rychlostí a také jsou schopny nést vyšší zátěž v podobě kamer s kvalitnějším záznamem, termokamer či jiného nákladu. Díky šesti rotorům je možný let ve vyšších nadmořských výškách či za silného větru.

Hlavní výhodou hexakopty je schopnost manévrovatelnosti a klidného přistání i při vysazení jednoho či dvou rotorů, což by u kvadrokopty nebylo možné.

Oproti kvadrokopty jsou i finančně náročnější na opravy či údržbu, jejich pořízení je také zřetelně dražší. Zdrojem energie může být velkokapacitní lithium-polymerová baterie či žhavicí palivo.

⁸ **DSLR** – digitální zrcadlovka, z angl. *digital single-lens reflex*

Specifikace oktokoptéry – nejvyšší třídou jsou oktokoptéry se svými osmi funkčními rotory. Nejen, že svými rychlostmi hravě přesahují rychlost hexakoptéry, nýbrž nabízejí skvělé ovládní, kterému oproti kvadrokoptérám i hexakoptérám nevadí horší povětrnostní podmínky či déšť. Stejně jako hexakoptéry jsou schopny bezpečně přistát, a to i bez dvou až tří nefunkčních rotorů. Zdroj energie může být velkokapacitní lithium-polymerová baterie (miliampérhodina > 5000), popř. žhavicí palivo.

Díky jejich extrémnímu výkonu jsou schopny dosahovat i extrémních nadmořských výšek. Ovšem mají i pár nevýhod jako například na úkor výkonu krátká doba letu, avšak záleží na stylu letu. Jsou také velice neskladné a v neposlední řadě velice nákladné na pořízení a údržbu. Díky jejich funkcím a hbitosti se doporučují spíše profesionálům.

Jak je již patrné, s narůstajícími rotory narůstá i stabilita, proto je oktokoptéra využívána hlavně pro záznam živého 4K videa, přepravu těžších nákladů. V neposlední řadě i k aplikování zemědělských ochranných postřiků, což je nejen rentabilní řešení, ale umožňuje i přístup bez poškození půdy. Významným zástupcem těchto práškovacích oktokoptér je **Agras MG-1S od firmy DJI** (viz Obr. 5).

Novák (2018) udává, že: *„Stroj o rozměrech 147 x 147 x 48 centimetrů (bez vrtulí) má standardní vzletovou hmotnost 23,8 kilogramů a jako užitečný náklad nese nádrž o objemu 10 litrů. Rozstřikování pracovní látky dvěma tryskami zajišťuje dvojice čerpadel, přičemž řídicí jednotka dronu se sama stará o to, aby byl postřik stejnoměrný nezávisle na rychlosti letu. Trojice senzorů přitom stroji umožňuje přesně kopírovat terén i na nerovných pozemcích. Výhodou stroje je inteligentní řízení, které maximálně usnadňuje jeho přípravu k letu i vlastní pilotáž. Operátorovi stačí pouze s ovládací jednotkou obejít pozemek, přitom svou trasu uložit do její paměti a dron poté podle těchto údajů letí.“*



Obrázek 5 – Agras MG-1S, práškující pole

zdroj: <https://maquinac.com/wp-content/uploads/2018/12/Drone-DJI-MG-1S.jpg>

3.2.3 Pevná křídla

Označením pevná křídla se v terminologii dronů rozumí dron, který nevyužívá rotorů generujících vztlak pro svislé vzletnutí, jak u jednorotorových či multirotorových dronů, nýbrž pár křídel, společně s jedním hnacím rotorem. V praxi jsou tyto drony uváděny do vzduchu „hodem z ruky“ (viz Obr. 6).



Obrázek 6 – start průzkumného křídla, AeroVironment RQ-11 Raven

zdroj:

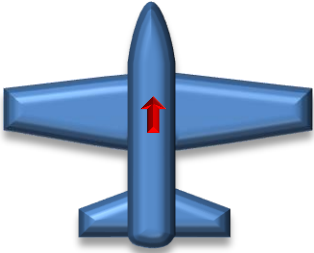

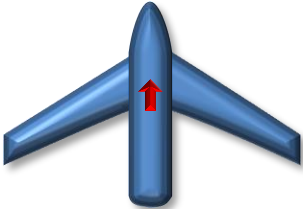

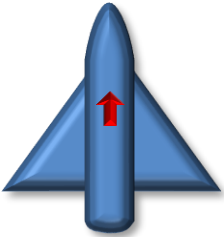

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Defense.gov_News_Photo_091009-A-3108M-009.jpg

Jejich hlavní výhodou je doba letu, která se pohybuje v řádu několika hodin. Další zajímavostí je dosah signálu, který je oproti multikoptérám mnohonásobně vyšší, což napomáhá při práci např. v armádních sektorech, kde jsou aktivně využívány k pokrytí terénu, průzkumným letům na delší vzdálenosti a při časově náročnějším sledování objektu.

Díky své aerodynamice je křídlo schopné doplachtit po vysazení motorů či ztrátě signálu bezpečně zpět na zem s minimálním poškozením. V případě klasického vzletu ze země či přistání je vyžadována větší plocha než u kvadroptér, které přistávají kolmo k terénu. Větší modely těchto křídel, kde se jejich rozpětí pohybuje v řádu metrů, jsou startovány přímo ze vzletové dráhy.

Pevná křídla se rozlišují dle tvaru křídel na tři základní typy (viz Tabulka 2).

Tabulka 2 – druhy křídel, zdroj: autor, obr. [44-46]

<i>Typ křídla</i>	<i>Vizualizace</i>	<i>Zástupce</i>
<i>Přímé křídlo</i>		
<i>Šípkovité křídlo</i>		
<i>Delta křídlo</i>		

Všechny typy těchto křídel fungují na principu dynamického vztlaku a úhlu náběhu (úhlu křídla vůči plynutí vzduchu), nicméně záleží také na tvaru křídla. Křídlo, je v pohybu, proráží molekuly vzduchu, které následně okolo něj plynou a tím vzniká tření. Tento pohyb křídla vychyluje trasu vzduchu pod křídlo (akce), načež je působením vzduchu vyvolána reakce v podobě síly tlačící křídlo směrem nahoru. Resp. jedná se o Třetí Newtonův zákon akce a reakce, který zní:

„Proti každé akci vždy působí stejná reakce; jinak: vzájemná působení dvou těles jsou vždy stejně velká a míří na opačné strany.“ – Isaac Newton

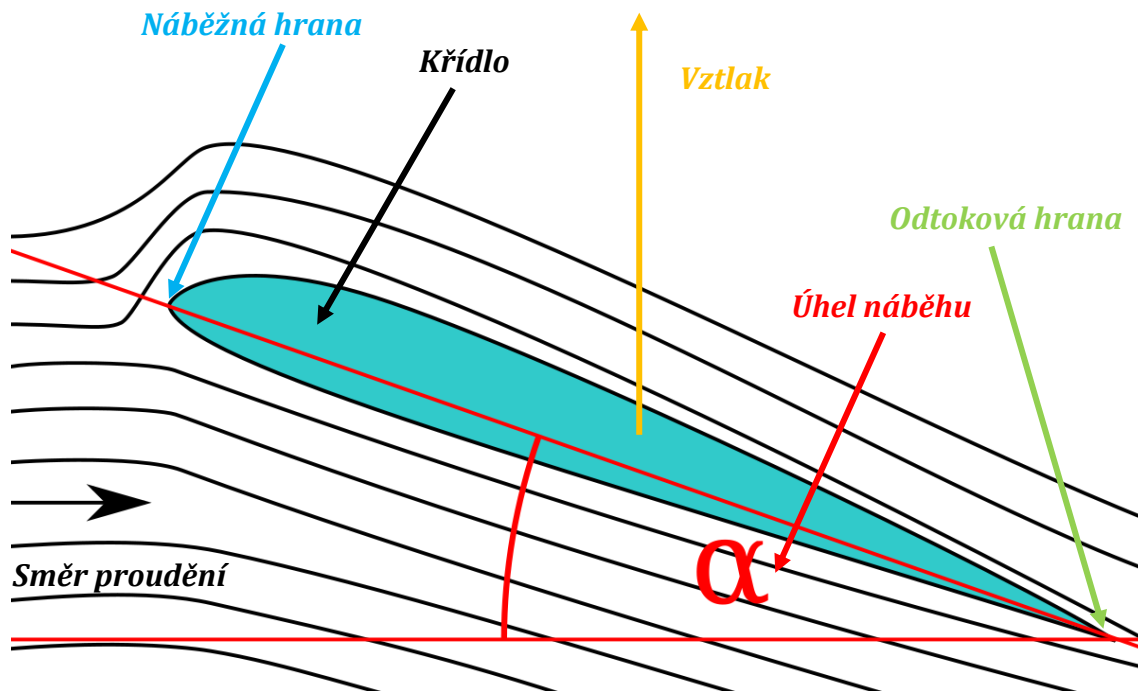
Existuje však ještě jedno vysvětlení vzniku dynamického vztlaku, o kterém bude nyní psáno. Dle expertů chybné s použitím vzorců **Bernoulliho rovnice**⁹. Molekuly vzduchu proudící pod křídlem jsou pomalejší nežli molekuly vzduchu nad křídlem, čímž vzniká nízký tlak nad křídlem, tím pádem je křídlo tlačeno vzhůru.

Obecně chybným tvrzením této teorie je také domněnka, že dynamický vztlak je generován také díky vzdálenosti plynutí vzduchu nad křídlem (delší vzdálenost) a pod křídlem (kratší vzdálenost). Důkazem o nesprávnosti jsou např. stíhačky, které mají stejnou vzdálenost jak pod křídlem, tak nad křídlem, nýbrž jsou stále schopné generovat vztlak.

Druhým chybným tvrzením této teorie je rozpad molekul vzduchu na náběžné hraně a jejich opětovné setkání na hraně odtokové. Důkazem nesprávnosti tohoto tvrzení je, že nad křídlem molekuly plynou vícenásobně rychleji než pod křídlem.

Toto tvrzení nemůžeme aplikovat ani pokud letadlo letí tzv. vzhůru nohama. Což by znamenalo, že nad křídlem by vznikal vyšší tlak než pod křídlem, což by mělo za následek klesání letadla. Let vzhůru nohama je proto možný s využitím úhlu náběhu. Pro lepší vizualizaci (viz Obr. 7).

⁹ https://cs.wikipedia.org/wiki/Bernoulliho_rovnice



Obrázek 7 - vznik dynamického vztlaku, úhel náběhu, vysvětlivky: autor
zdroj:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6d/Angle_of_attack.svg/1200px-Angle_of_attack.svg.png

Specifikace přímého křídla – typ přímých křídel je již od historie základním tvarem křídel. Většina moderních dronů již využívá křídel šípovitých z důvodu lépe umístěného těžiště a následné stability. Základem těchto křídel je fakt, že při letu je vztlak generován rovnoměrně celým křídlem. Přímá křídla se stále používají u low-cost dronů, rekreačních letadel a armádních UAV.

Specifikace šípovitého křídla – jedním z nejvíce používaných typů křídel v letectví jsou tzv. šípovitá křídla. Hlavní výhodou těchto typu křídel je fakt, že dokážou zmírnit tah při nadzvukovém letu. Při letu není vyvíjen tlak vzduchu na celé křídlo rovnoměrně, nýbrž pouze na špičku křídla, což má za následek již zmiňované zmenšení tahu. Drony s těmito křídly zdaleka nedokážou letět nadzvukovou rychlostí. Využití v oblasti dronů je proto zcela odlišný. Hlavním důvodem je těžiště těchto křídel, které je umístěno v přední části křídla, což zajišťuje perfektní stabilitu oproti přímým křídům.

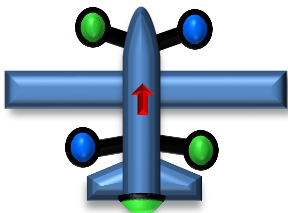

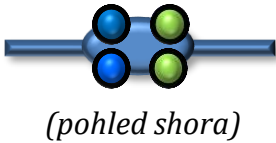

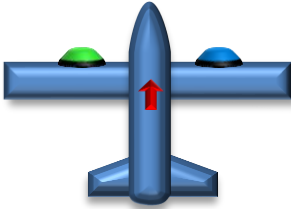

Specifikace delta křídla – křídlo připomínající tvar trojúhelníku je dalším z nejvyužívanějších typů křídel v letectví. Jeho hlavní výhodou je perfektní generování vztlaku ve vysokých rychlostech. Dopravní letadla s těmito typy křídel

nejsou ovlivněna turbulencemi a jsou schopna vystoupat až do výšky 20 km při rychlosti Mach 2. V neposlední řadě architektura křídla umožňuje velice úsporný let. Ovládání letadel s delta křídly je ovšem náročnější nežli s ostatními typy. Mezi hlavní nevýhody patří vysoké rychlosti vzletu a přistání spolu s vysokým úhlem náběhu. Tento typ křídel je z hlediska dronů využíván zejména v armádních složkách a pro rekreační hobby účely.

3.2.4 Hybridní pevná křídla VTOL

Mixem rychlosti a doby letu pevného křídla a vertikálního vzletu multikoptér vznikly tzv. hybridní pevná křídla VTOL. Z angl. VTOL – Vertical Take-off and Landing. Architektura těchto dronů je založena na skutečných VTOL letadlech, která se testují a vyrábí od 50. let 20. století. V dnešní době jsou VTOL drony stále experimentálním tématem a oproti multikoptérám a pevným křídly je vyvíjí a testuje pouze malé množství firem včetně armády. Postupem času se vývoj těchto VTOL dronů zaměřil na tzv. QuadPlanes, Tailsitters a Tiltrotors (konvertoplán) (viz Tabulka 3).

Tabulka 3 – základní typy VTOL dronů, zdroj: autor, obr. [47-49]

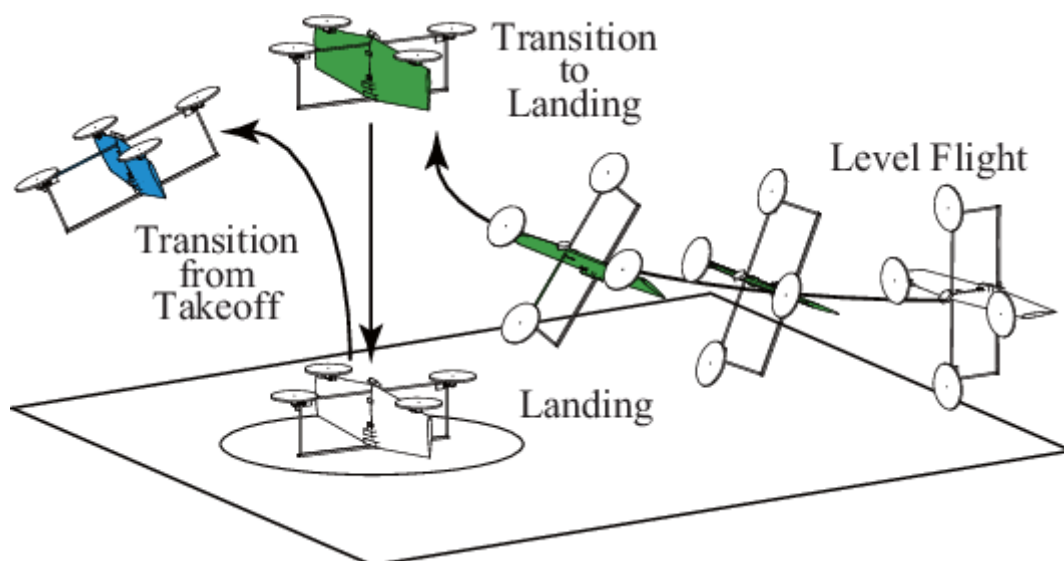
<i>Typ VTOL dronu</i>	<i>Počet rotorů</i>	<i>Vizualizace</i>	<i>Zástupce</i>
<i>QuadPlane</i>	5		
<i>Tailsitter</i>	2-4		
<i>Konvertoplán</i>	3 - x		

Specifikace QuadPlane – pokusem mixu multikoptéry, která se pohybuje na základě generování tahu společně s křídlem, kterému stačí pouze hnací rotor a dynamický tlak vzduchu, vznikly první quadplany. Hlavní výhodou těchto quadplanů je jejich svislý vzlet pomocí čtyř postranních rotorů (v praxi existují i quadplany s dvěma či šesti postranními rotory). Po vystoupení do dostatečné výšky je spuštěn hnací (pátý rotor), který umožní dopředný let. Při následném zrychlení začne na křídla působit vzduch, čímž vzniká dynamický vztlak. Jakmile je dosaženo dostatečného vztlaku jsou postranní rotory vypnuty a dron již letí stejně jako pevné křídlo.

Naopak přistání dronu je realizováno opačným postupem, kdy nejprve hnací rotor začne zpomalovat a rychlost dronu směrem vpřed je minimální. Poté jsou spuštěny čtyři postranní rotory, které již úplně eliminují dynamický vztlak na křídlech. Následně je vypnut hnací rotor. Postupným zpomalováním rychlosti čtyř rotorů je způsobeno klesání až do úplného kontaktu se zemí. Rozdíl mezi stylem letu pomocí vztlaku rotorů a stylem kdy dron letí jako křídlo se nazývá přechod, angl. transition.

Specifikace Tailsitteru – tento typ dronů vzlétá a přistává kolmo k povrchu na svoji ocasní část. Tailsittery oproti quadplane využívají zpravidla stejné rotory pro vzlet, přistání i dopředný let. Přechod je nyní vytvořen pouze pomocí rotace dronu. Díky své lehké konstrukci je dron schopen vyvinout pomocí čtyř rotorů poměrně velký tah. Kvůli své malé hmotnosti neumí tailsittery nést těžší náklady. Princip letu těchto tailsitterů spočívá v tom, že nejprve vzlétnou kolmo k povrchu a následným horizontálním náklonem zrychlí svoji dopřednou rychlost. Naopak přistání funguje na principu vzletu vzhůru ke snížení rychlosti a následnému přistání kolmo k povrchu (viz Obr. 8).

Adekvátním postupem přechodu vzletu do fáze letu, kdy dron vystoupá kolmo k povrchu do výšky a následným náklonem dopředu začne rapidně klesat, je způsob, který se nazývá přechod klesáním.



Obrázek 8 - vzlet a přistání Tailsitter dronu
zdroj:

https://www.researchgate.net/profile/Atsushi_Oosedo/publication/261415864/figure/fig4/AS:668695147859983@1536440755847/Take-off-and-landing-of-a-tail-sitter-VTOL.png

Specifikace Konvertoplánu – označení Tiltrotor neboli Konvertoplán nesou drony, které pro svůj vzlet a přistání (je také vertikální) i samotný let, využívají stejné rotory. Jejich hlavním rozdílem od ostatních typů je fakt, že své rotory dokážou natáčet dle potřeb letu. Jejich váha, která je lehce větší než u tailsitterů a zároveň menší než u quadplanů, umožňuje efektivní přepravu i těžšího nákladu. Stejně jako u reálných konvertoplánů se nejčastěji využívá architektury Osprey (jeden rotor na každém křídle). Hlavní využití těchto dronů se nachází v armádním sektoru.

3.3 Rozdělení dle účelu použití

Drony také můžeme rozdělit dle účelu, kde jsou právě použity (viz Tabulka 4).

Tabulka 4 – rozdělení dronů dle účelu použití, zdroj: autor

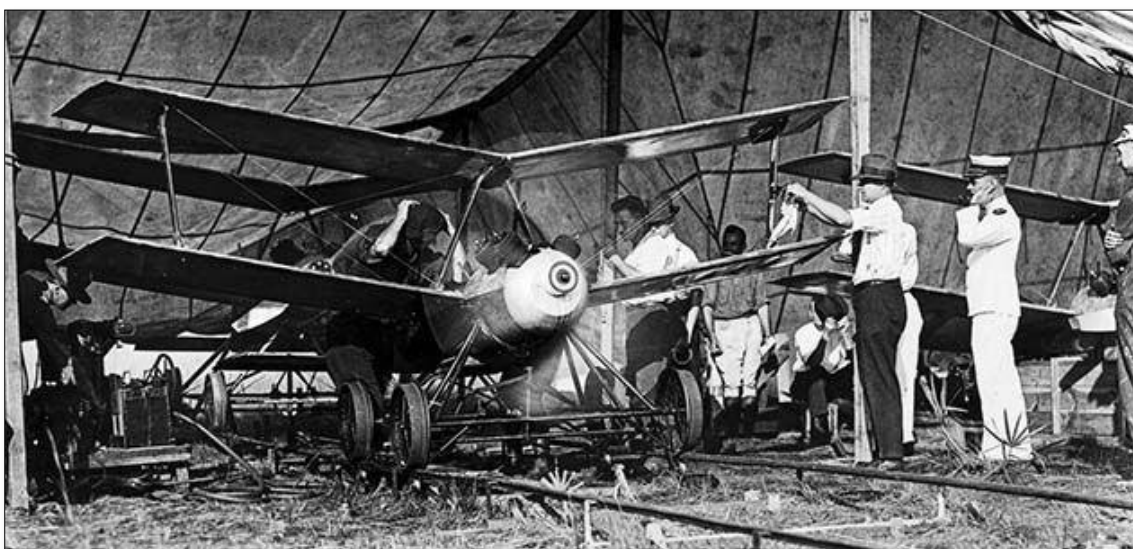
Oblast použití	Rozdělení	Popis	Zástupce	Konstrukce
Vojenské	Taktické	Nebojový dron, využíván armádou pro sledování osob a objektů, často osazen infračervenou kamerou pro lepší viditelnost v noci, samozřejmostí je zabudovaná GPS	AeroVironment RQ-11 Raven váha: 1906g dosah: 10 km výdrž: 60-90 min	Pevné křídlo
	Průzkumné	Jedná se o nebojový dron určený pro průzkum terénu, umí letět nepřetržitě i dva dny ve výšce 10 km. (HALE) ¹⁰	RQ-4 Global Hawk váha: 6,781kg dosah: 22,780 km	Pevné křídlo
	Velké bojové drony	Používán armádou k bojovým účelům, osazen naváděnými raketami a bombami. Používán v Pákistánu.	Atomics MQ-1 Predator váha: 1,035 kg rychl.: 129 km/h	Pevné křídlo
	Sloužící jako cvičný cíl	Tento dron má více využití, může být využit pro rozptýlení nepřítele, simulaci balistické střely atd.	MQM 107E Streaker max. r.: 925 km/h rozpětí k.: 3 m	Pevné křídlo
Civilní a komerční	Drony s FPV systémem	Využití pro závodění, či freestyle, osazen FPV kamerou s DVR ¹¹ přenosem pro přímý přenos do brýlí.	Eachine Wizard X220S váha: 561g	Kvadroptéra
	Mikro drony	Využití pro hobby let indoor, skladný dron, velikost pár cm	Tiny Whoop váha: 25g	Kvadroptéra
	GPS drony	Propojení se satelitem přes GPS, mapování letu, možnost plánování trasy, využití v telemetrii	DJI Phantom 4 rozlišení v.: 4K doba letu: 28 min	Kvadroptéra
	Drony pro fotografování	Využití armádou pro špionáž, focení objektů, lidí. Hobby focení ve vysoké kvalitě.		
Ve využití v IZS	Hasičský sbor	Drony je využití pro kontrolu požářiště, hledání lidí v sutinách, hašení požárů a indikaci požáru dle termokamery.	DJI Matrice 210 váha: 4910g max. r.: 81 km/h	Hexakoptéra
	Policie	Využití pro hledání osob, záznamy z termokamery, nepovolené stanování a skládky či těžba dřeva	DJI Mavic 3 Rozlišení v.: 4K Gimbal: tříosý	Kvadroptéra
	Záchranný sbor	Využití pro nalezení zraněných lidí, doručování vakcín a léků	Zipline váha nákl.: 1,75kg dosah: 80 km	Pevné křídlo

¹⁰ **HALE** - high-altitude long endurance – označení dronu, který je schopen letět ve výškách >18km

¹¹ **DVR** – digital video record – funkce pro nahrávání videa z FPV kamer

3.4 Historie dronů

Již dlouho dobu se lidstvo snažilo vytvořit motorově poháněné letadlo a dostat se tak do vzduchu. První lidé, kteří to dokázali byli bratři Wrightové se svým pilotním Wright-Flyerem I. v roce 1903, ovšem myšlenka na sestavení bezpilotního systému je známa již z roku 1898. V tomto roce světoznámý vynálezce Nikola Tesla patentoval princip tzv. teleautomatizace, která popisovala principy dálkového ovládání loďky a měla být poháněna motorem. Jeho myšlenky ale směřovaly i mnohem dál, až k bezpilotním leteckým systémům. První bezpilotní letadlo, které bylo zkonstruováno roku 1916 inženýrem Archibaldem Montgomerym Lowem se nazývalo Aerial Target (v překladu Vzdušný cíl). Ihned po představení letadla následovalo velké množství různých prototypů, řízených dálkově za účelem vzniku tzv. ovládatelného torpéda. Za zmínku stojí stroj s názvem Kettering Bug, což bylo jedno z prvních experimentálních letadel. První let se uskutečnil v prosinci roku 1918. Skoro čtyři metry dlouhé a 240 kg vážící letadlo bylo schopné zasáhnout a zničit cíl na vzdálenost až 121 kilometrů (viz Obr. 9).



Obrázek 9 – Kettering Bug, jedno z prvních bezpilotních letadel
zdroj: <https://thumbs-prod.si-cdn.com/BxFv7wCUEBaat5LhAWmiElo01jE=/fit-in/1600x0/https://public-media.si-cdn.com/filer/Design-Decoded-Drones-WWI-631.jpg>

Postupem času se začalo uvažovat i o jiném využití než jako ovládané torpédo. Začaly vznikat první nápady o bezpilotním prostředku sloužícím jako

cvičný terč, což se o pár let později ve 30. letech 20. století opravdu stalo realitou a tyto letouny byly využívány britským královským námořnictvem při výcviku.

První průzkumné drony vznikly na začátku 60. let a poprvé byly nasazeny v průběhu války ve Vietnamu. Postupem času a vstupem do 70. let začalo dobývání vesmíru, kde soupeřilo USA a SSSR, načež se výzkum a vývoj dronů přesunul do Izraele, kde byl sestrojen první Izraelský dron s názvem Tadiran Mastiff, který jako první umožňoval živý přenos videa a figuroval například ve válce v Libanonu. V průběhu devadesátých let našly sledovací drony útočiště při konfliktu v Bosně a Kosovu, kde sloužily pro sledování konfliktů. Vojenské drony vždy vznikaly za účelem monitorování osob a pro výzkumné lety. Častým kritériem u vojenských dronů byla doba letu společně s velice kvalitní kamerou, která dokáže i na tisíce kilometrů zachytit data ve vysokém rozlišení. Od roku 1994 je nejznámějším vojenským dronem **MQ-1 Predator** od firmy General Atomics.

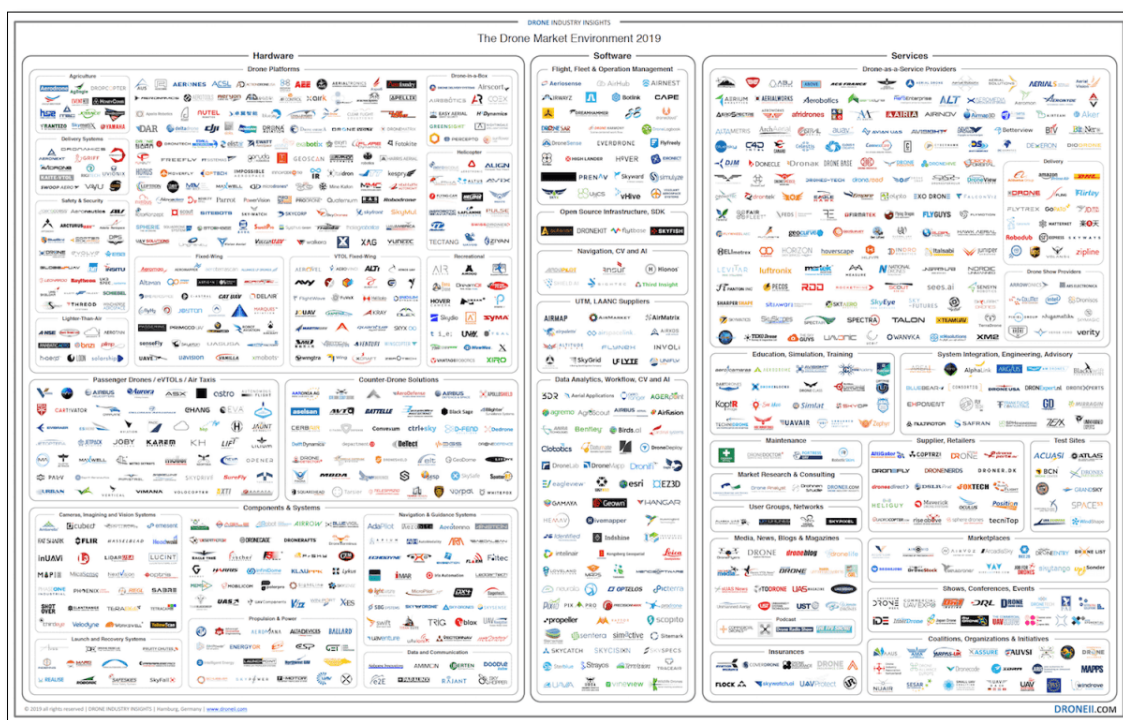
Tichý a Karas (2016) udávají, že: *„Dříve byl znám pod označením RQ-1 Predator, kde „R“ označuje výzkumný a „Q“ bezpilotní systém. Byl využíván výhradně pro průzkumné účely ve válečných konfliktech a byl nasazen při hledání Usámy Bin Ládina. Vše změnilo teroristické útoky dne 11. září 2001 ve Spojených státech. Netrvalo dlouho, a ještě v tomto roce se z označení RQ stalo označení MQ, kde „M“ označovalo multi-role (víceúčelový). To fakticky znamenalo, že se dron modifikoval a vznikla ozbrojená verze s řízenými střelami (Hellfire a Stinger) a ze systému sloužícího původně k průzkumnému účelu se stal plnohodnotným systémem k cílené likvidaci teroristů na vzdálených územích.“*

Takto bojově upravené drony byly nasazeny ve válečných konfliktech v Afghánistánu, Iráku, aj. Armáda České republiky, jejíž neznámějším průzkumným dronem je **Sojka III**, ji provozovala do roku 2010. Nyní je možné ji vidět v kbelském muzeu. V posledních letech jsou drony aktivně využívány všemi armádami po celém světě, novinkou jsou tzv. nanodrony, které slouží ke špionážním činnostem především uvnitř interiérů. Nanodrony disponují také živým přenosem obrazu. Jejich velikost je pouze pár centimetrů.

Obrovský technický pokrok, který byl proveden za posledních dvacet let, otevřel bránu nejen pro vojenské drony, ale zejména pro drony komerční.

S rozvojem lithium-polymerových baterií, stabilizační techniky, softwaru k nastavování dronů a kvalitnějších součástek začaly vznikat drony, které začaly být rapidně využívány v oblastech zábavy a komerčních činností. Dostupnost těchto dronů obyčejným lidem je blíže než kdy dříve, čímž rapidně narůstá počet uživatelů, kteří již dron vlastní. Někteří z nich je zdokonalují pro své individuální použití (závody, freestyle, long-range) a někteří je využívají právě pro účely čistě komerční (focení, mapování oblastí).

V dnešní době je na trhu velké množství značek, které se specializují na výrobu a vylepšování dronů pro různé účely využití (viz Obr. 10).



Obrázek 10 – znázornění četnosti značek dronů na trhu pro rok 2019
 zdroj: <https://i1.wp.com/www.droneii.com/wp-content/uploads/2019/06/Drone-Market-Environment-Map-2019-blog-post.png?resize=1200%2C761&ssl=1>

Ať již je či bude využití jakékoli, je již patrné, že v následujících letech se drony stanou výraznými pomocníky ve všech oblastech lidských činností.

3.5 Legislativa

Létání s drony v ČR je podmíněno předpisem pravidel tzv. **Doplňkem X předpisu L2**, který spravuje Úřad pro civilní letectví (dále ÚCL). Tato pravidla mají pilota poučit jak o bezpečnosti, soukromí tak i o odpovědnosti či o letových zónách. Piloti jsou děleni dle svých schopností a účelu využití dronu na dvě skupiny:

- **Hobby piloti** – pro hobby piloty dronů platí ta nejmírnější omezení. Ačkoli se jedná o piloty, kteří svůj dron využívají čistě k rekreačním účelům, jsou stále řízeny základními pravidly.

Pokud dron váží více než 0,91 kg, musí mít aktivní fail-safe systém¹² a zároveň musí být opatřen ID štítkem, pokud méně jak 0,91 kg může ho mít neaktivní či ho nemít vůbec.

- **Profesionální piloti** – profesionálním pilotem se rozumí ten pilot, který je evidován spolu s dronem u ÚCL a zároveň absolvoval praktickou a teoretickou zkoušku. Pilot, který absolvuje tyto požadavky, získá pilotní licenci a může poté požádat o povolení k provádění leteckých prací. Při vykonávání těchto prací je poté podáváno hlášení ÚCL. Povolení k létání a pilotní licenci musí vlastnit i hobby pilot, pokud chce pilotovat drony, které jsou těžší nežli 25 kg.

Další z hlavních faktorů letu je bezpečná vzdálenost. Bezpečná vzdálenost se udává v metrech ve třech veličinách oddělených pomlčkou.

1. Dodržení bezpečné vzdálenosti od osob při vzletu i přistání

2. Bezpečná vzdálenost při letu od osob a budov

3. Vzdálenost od hustě zalidněných prostorů

Drony o hmotnosti do 7 kg: 10-30-50

Drony o hmotnosti 7 – 25 kg: 50-100-150

Drony o hmotnosti nad 25 kg: 50-100-150 s dozorem poučené osoby

¹² **fail-safe systém** – systém, který při poruše či ztrátě signálu zajistí bezproblémové přistání

Dalším omezením při letu s dronem jsou tzv. letové zóny, které určují zkrátka kde je možné s dronem létat či nikoli (viz Tabulka 5).

Tabulka 5 – letové zóny a jejich omezení, zdroj: autor pro vizuální znázornění (viz Příloha 1, str. 5)

		Omezení	Popis
Omezené oblasti	<i>Prohibited</i>	<i>Zakázáno</i>	Zahrnují okolí vojenských prostor či skladů nebo jaderných elektráren
	<i>Dangerous</i>	<i>Povoleno pod rizikem</i>	Tato zóna označuje místa, kde je povolené létání s určitými riziky
	<i>Ochranné pásmo</i>	<i>Zakázáno</i>	Elektrické vedení, okolí dálnic či vojenských objektů
Omezené prostory	<i>TSA (Temporary Segregated Area)</i>	<i>Zakázáno pouze v časech aktivního využívání</i>	TSA a TRA jsou zóny, ve kterých je letový provoz zakázán pouze ve dnech či hodinách, kdy je využit armádou či cvičením
	<i>TRA (Temporary Reserved Area)</i>		
Letištní zóny	<i>ATZ (Aerodrome Traffic Zone)</i>	<i>Povoleno s omezeními</i>	Zóna okolo letiště 5,5 km od středu. Pro modely <0,91 kg se zde dá létat do výšky 100 metrů. V případě těžších dronů je zapotřebí kontaktovat Letištní informační službu.
	<i>CTR (Control Zone)</i>		Výška zóny je od 0 – 1500 m. Vzdálená 5,5 km od středu letiště. S drony <0,91 kg je možné létat i blíže, vždy však s maximální letovou výškou 100 m.

Jak již je patrné, dle doplňku X se drony dělí dle váhy, detailní popis pravidel pro různé váhové kategorie je popsán v tabulce (viz Příloha. 1, str. 6).

Začátkem tohoto roku byl doplněk X nahrazen novou legislativou. Evropská agentura pro bezpečnost letectví ji představila evropským státům již minulý rok. Dne 1. července 2020 měla být tato legislativa oficiálně uvedena do provozu v ČR. Kvůli koronavirovým opatřením vešla v platnost až 1. ledna 2021, kdy začalo tzv. přechodné období. Ačkoli je u uživatelů dronů, kteří byli donedávna

zvyklí na normu dle doplňku X poměrně obávaná, má jednu hlavní výhodu. Doplněk X, který je v provozu již pár let, **upravuje legislativu pouze pro ČR**. Nová legislativa modifikuje zákon pro drony ve všech členských státech Evropské unie, čímž se při cestování s dronem eliminuje nutnost studovat letové zákony dronů konkrétní země. Hlavním cílem nové legislativy je vylepšení bezpečnosti provozu dronů a zejména sjednocení pravidel pro všechny země EU. Registrace je formou školení a následné zkoušky online. Zkoušku může vykonat pouze osoba starší 16 let. Po následném složení zkoušky obdrží uživatel dvanáctimístné ID.

Oproti Doplněku X, který povoluje let do výšky letového prostoru G (300 m), je možné nově létat nejvýše 120 m. Drony také obdrží nové štítky, které budou označeny příslušnými třídami C.

Evropská legislativa oproti doplňku X, který dělil uživatele dronů na hobby a profesionální, spolu s několika hmotnostními třídami od 0,91kg po více než 25 kg, bude nyní nově nahrazena třemi kategoriemi a mnoha podkategoriemi.

- **Kategorie Open** – kategorie Open zahrnuje drony, které jsou provozovány bez certifikací, prohlášení či různých povolení. Mezi základní podmínky této kategorie patří hmotnost dronu, musí být menší než 250 g a dron musí být opatřen kamerou. V případě ztráty signálu a následného pádu nesmí dron vyvinout vyšší kinetickou energii nežli 80 joulů, aby nedošlo k poranění osob. V případě nesplnění těchto podmínek dron a jeho uživatel podléhají registraci a musí absolvovat kurz a zkoušku online. Kategorie Open se dále dělí na třídy A, třídy C. Třídy A představují omezení provozu, třídy C se týkají technických vlastností dronů, přehled tříd v open kategorii (viz Příloha 2).
- **Specifická kategorie** – ve specifické kategorii se drony porovnávají dle typu provozování. Většina profesionálnějších dronů, které nesplňují požadavky Open kategorie a jsou z většiny využívány ke komerční či profesionální činnosti, se řadí do této kategorie. Na základě tzv. posouzení provozních rizik, které je následně podáno na ÚCL, kde je následně vystaveno povolení. Při vystavování povolení se uvažuje velikost dronu a také zda je při letu dron v přímém dohledu pilota či nikoli.

- **Certifikovaná kategorie** – poslední z kategorií nové legislativy je tzv. certifikovaná kategorie. Tato kategorie uvažuje o autonomních bezpilotních systémech úrovně pět a jejich využití na přepravu lidí a nákladu. Z hlediska přepravy osob se pravidla pro tuto kategorii budou zřejmě řídit již ustálenými pravidly pro provoz letadel. Provozovatelé, kteří se budou chtít aktivně zapojit do této kategorie budou muset projít velice náročnou certifikací dronu. Pokud provozovatel bude dron využívat k přepravě nebezpečného nákladu, transportu osob či provozu nad skupinami lidí, musí zažádat o zařazení do certifikované skupiny. Drony této skupiny jsou stále ve vývoji, nicméně vzniklo již pár konceptů (viz Obr. 11).



Obrázek 11 – UberAir VTOL, koncept firem Uber a Hyundai
zdroj: <https://siamagazin.com/wp-content/uploads/2019/06/3232-min.jpg>

4 Rozbor a specifikace FPV kvadroptéry

V dnešní době má již většina lidí zkušenosti s drony, či nějaké dokonce vlastní zejména pro účely focení, zachycení kvalitního videa, či jiným aktivitám. S nástupem prvních DJI dronů v roce 2013 se poptávka po dronech exponenciálně zvýšila. Ve stejné době se již několik lidí snažilo o vytvoření prvních prototypů dronů s FPV systémem. Se stále rostoucí oblibou FPV kvadroptér začala vznikat různá odvětví jejich využití na profesionální či hobby úrovni. V roce 2015, kdy FPV kvadroptéry již byly na lehce pokročilé úrovni se tato odvětví definitivně rozdělila na tři hlavní směry létání, a to na: **Racing, Freestyle** a **Long-range**.

Racing – již od roku 2013 kdy byly testovány jedny z prvních FPV dronů vznikaly také první amatérské závody. Opravdový zvrát přišel až v roce 2015, kdy vznikly dvě světové ligy tzv. **DRL** – Drone Racing League a **DCL** – Drone Champions League, ve kterých dodnes závodí nejlepší piloti světa. Ve světě existují již velice prestižní závodní ligy např. Formule 1 či NASCAR. Místo závodních formulí či aut se ve vzduchu prohánějí závodní drony mnohdy rychlostí vyšší nežli 250 km/h (DRL Racer 4 (viz Obr. 12)) za účelem zvítězit. Tyto speciálně upravené rádiově řízené kvadroptéry opatřené neonovými páskami pro lepší viditelnost létají skrze kruhové branky, překážky či vlajky (viz Obr. 13). Zájem o tento sport raketově vzrostl a očekává se i jeho účast na OH 2022 v Pekingu. Česká republika má v tomto sportu zastoupení v podobě týmu Rotorama, který se aktivně účastní závodů DCL.



Obrázek 12 – DRL Racer 4

zdroj: <https://hips.hearstapps.com/amv-prod-gp.s3.amazonaws.com/gearpatrol/wp-content/uploads/2019/08/DRL-Drone-4-Gear-Patrol-Lead-Full.jpg>



Obrázek 13 – neonová závodní branka

zdroj: https://sporttechie-prod.s3.amazonaws.com/2019/03/ITS_5891.jpg

Freestyle – mezitím, co klíčovým faktorem v závodu je rychlost, ve freestylu je to preciznost. Jedná se o volný let, který se soustředí na akrobacii kvadrokoptéry, létá se nejčastěji přírodou či různými staveništi, parky atd. Piloti létají kdekoli, kam se jejich kvadrokoptéra vejde, provádějí také různé série triků. Závodní piloti aplikují tento styl letu za účelem plného osvojení ovládnání dronu, což je poté výhodou při závodu. Závodní drony zpravidla využívají pouze přední FPV kameru, přes kterou je přenášen obraz do brýlí, který není moc kvalitní, ale pro účely závodu vystačí. Freestyle piloti většinou zaznamenávají svoji akrobacii na outdoorové kamery, které jsou připevněny nad FPV kamerou. Postupem času vznikl odlišný styl freestylu, který kombinuje akrobatické prvky a 4K video záběry s názvem Cinematic (viz Obr. 14).



Obrázek 14 – pilot JohnnyFPV provádějící *dive*¹³ z budovy Burj Khalifa
zdroj: <https://www.helicomicro.com/wp-content/uploads/2020/01/johnnyfpv-burj.png>

Long-range – long-range (v překladu dálkový) označuje styl letu, který je určen spíše pro zkušenější piloty nežli začátečníky. Kvadrokoptéra je zpravidla větší, osazena 6“ vrtulemi pro efektivní a stabilní let. Radio vysílače jsou upraveny o další vysílací moduly např. FrSky R9M 2019¹⁴, což umožňuje bezpečný dolet v řádech kilometrů. Pro maximální dosah a kvalitu FPV signálu se využívají moduly pro FPV brýle např. rapidFIRE¹⁵, TBS Fusion.

¹³ **dive – freestyle trik.** Po vystoupení na vrchol budovy, jsou vypnuty motory a dron padá volným pádem co nejbliže k budově

¹⁴ **FrSky R9M 2019** – vysílací modul pro rádio, který vysílá na nižších frekvencích, oproti klasickým 2,4 GHz, na pouhých 868MHz, čímž rapidně zvyšuje dolet kvadrokoptéry

¹⁵ **rapidFIRE** – brýlový modul, který spojuje přijímaný video signál dvou antén do jednoho obrazu

Drony této skupiny obvykle využívají větší kapacity baterie pro nejdelší možnou dobu ve vzduchu. V dnešní době není Long-range létání tolik rozšířené oproti ostatním stylům. Absolutní nutností narozdíl od Freestyle a Race je osazení GPS modulem z důvodu stálé informovanosti o pozici kvadrokoptéry.

4.1 Rozdělení FPV dronů dle velikosti

FPV drony se dělí zejména podle velikosti, nejčastěji v měrné jednotce palců. Každá palcová velikost je využita k jinému účelu létání.

- Tiny Whoop (velikost rámu 110 mm)
- Brushless Whoop (velikost rámu 110 – 120 mm)
- 2" – 3" (velikost rámu 120 – 150 mm), (velikost motoru 1103 – 1106 mm)
- 3" – 4" (velikost rámu 150 – 160 mm), (velikost motoru 1306 – 2204 mm)
- 5" (velikost rámu 210 mm), (velikost motoru 22xx - 23xx mm)
- 6" a větší (velikost rámu >250 mm), (velikost motoru 23xx – xxxx mm)

Tím úplně nejmenším modelem je tzv. **Tiny Whoop**, který váží okolo 30 gramů. Na rozdíl od většiny FPV dronů Tiny Whoop využívá stejnosměrné kartáčové motory, které mají kryté vrtule, proto je naprosto bezpečný a vhodný pro použití ve vnitřních prostorech, zejména při nepříznivých venkovních podmínkách, kdy není možné létat s velkou kvadrokoptérou venku. Jsou poháněny pouze jednočláňkovou baterií. Tento typ dronů je využíván zejména pro létání doma či v tělocvičně. Tiny Whoop je také ideálním startem do světa FPV dronů. Pro jeho nízké pořizovací náklady a výdrž je pořizován mnoha začátečníky. V dnešní době jsou organizovány indoor závody Tiny Whoopů o drobné ceny či součástky. Cena těchto dronů začíná na 1 200 Kč.

Druhým a poněkud silnějším Whoopem je **Brushless Whoop**, který využívá bezkartáčové motory, což mu oproti Tiny Whoopovi dodává nejen větší rychlost, ale i váhu. Dron je napájen jednočláňkovou a někdy i dvoučláňkovou baterií pro větší mrštnost, která zajišťuje dostatečný výkon pro provádění akrobatických prvků a prvků freestyly. Za výborného venkovního počasí je již možné létat i na zahradě či hřišti, nýbrž je primárně určen do indoor prostor. Kvůli kvalitnějšímu zpracování či bezkartáčovým motorům se cena těchto dronů pohybuje okolo 2 000 Kč.

Třetí skupinou jsou kvadrokoptéry o velikosti od **2“ - 3“**, které se slangově nazývají Micro nebo Toothpick. Speciálním typem je pak tzv. Cinewhoop (viz Kap. 4.3.1). Jedná se o menší, avšak plně použitelné drony jak venku, tak i v tělocvičně. Nejčastěji jsou osazeny motory velikostí od 1103 do 1106 mm. V plně sestaveném režimu s baterií (nejčastěji dvoučlámkovou či tříčlámkovou) váží okolo 150 gramů, díky této váze a velice silným motorům dokáže vyvinout velkou rychlost. Dalším benefitem je také její obratnost, spolu s faktem, že takto lehká kvadrokoptéra dokáže unést HD kamery pro pořízení kvalitních záběrů. Tento rozměr se využívá k závodnímu létání v tělocvičnách či k outdoorovým freestylovým letům. Díky své velikosti je možné létání venku místy, kam by se velká kvadrokoptéra nedostala např. průlet větvemi stromu. Cenově se tyto drony pohybují okolo 2 000 – 5 000 Kč.

Čtvrtá skupina se od třetí zásadně neliší. Jedná se o kvadrokoptéry ve velikosti **3“ - 4“**. Oproti třetí skupině jsou osazeny většími motory (1306 – 2204 mm), díky kterým jsou schopny vyvinout větší rychlost než předchozí skupina. Společně s baterií (nejčastěji tříčlámkovou či čtyřčlámkovou) váží okolo 250 gramů. Samozřejmostí je HD kamera, kterou dron unese bez problémů. Využívá se zejména při závodech, kde je použita na tratě, které vyžadují větší obratnost. Cenově se tyto drony pohybují okolo 3 000 – 5 000 Kč.

Pátou a nejvíce rozšířenou skupinou jsou pětípalcové kvadrokoptéry (5“), které mají rozměr od 210 do 260 mm. Díky svým velkým motorům velikosti od 22xx do 23xx mm, dokážou vyvinout obrovskou rychlost. Udává se, že snadno zvládnou rychlost **160 km/h**. O napájení se stará čtyřčlámková či šestičlámková baterie s kapacitou okolo 1200 – 1800 mAh. S pětípalcovou kvadrokoptérou je možné létat freestyle. Ta je navíc osazena HD kamerou. Díky obrovské rychlosti je s ní let možný výhradně venku. Drony této velikosti se účastní soutěží Drone Championship League. Kvalitní pětípalcový drone se pohybuje okolo 5 000 až 20 000 Kč.

Poslední ačkoli méně využívanou skupinou jsou kvadrokoptéry 6“ a větší. Díky těmto rozměrům, je kvadrokoptéra těžší, což znemožňuje provádění akrobatických prvků. Tyto drony, nejčastěji osazené 7“ vrtulemi se využívají k Long-range letům, které provádějí spíše zkušenější piloti. Osazení HD kamery je

samozřejmostí stejně tak jako GPS modul. Další nutností je také velká výdrž baterie, nejčastěji se používá šestičláňková baterie s kapacitou okolo 2200 mAh. Z důvodu využití na Long-range lety se cena těchto dronů včetně Long-range vybavení pohybuje okolo 12 000 Kč a výš.

Orientační pohled na velikosti FPV kvadrokoptér (viz Obr. 15).



Obrázek 15 – vizuální porovnání velikosti kvadrokoptér
zleva: TinyWhoop, 2", 3", 4", 5", 6" a větší

zdroj: <https://oscarliang.com/ctt/uploads/2017/08/x-class-size-comparison-5-inch-4-3-whoop-quadcopter-fpv-drone-mini-quad.jpg>

4.2 First Person View systém

Zkratkou FPV, z angl. First Person View se označuje schopnost vidění z perspektivy první osoby. Toto označení pohledu se často využívá např. v počítačových hrách, zejména pak v žánru FPS¹⁶, kde hráč hraje hru přímo z vlastního pohledu, „jako by ve hře opravdu byl“. Stejná myšlenka je využívána v

¹⁶ **FPS** – first-person shooter (v překladu Střílečka z první osoby)

problematicke dronů, kde se pohledem z první osoby rozumí analogové video, které je zaznamenáváno FPV kamerou a poté předáváno do Video transmitteru, který je přichycen na dronu. Následně je vysíláno na frekvenci nejčastěji 5,8 GHz, kde je zachyceno přijímačem v podobě FPV brýlí. Tento způsob patří mezi nejoblíbenější z důvodu plného zážitku z FPV, který je přirovnatelný k virtuální realitě. Dalším možným způsobem je přijímání signálu na speciální obrazovku či mobilní telefon. Let s FPV dronem je unikátním zážitkem, který nám otevírá úplně nový pohled na prostředí okolo nás.

4.3 Rám

První a zároveň z velké části viditelnou či dokonce designovou komponentou dronu je rám. Jedná se o páteřní část dronu, na kterou jsou montovány všechny ostatní komponenty. Rámy se nejčastěji vyrábí z uhlíkového vlákna¹⁷, které díky svým vlastnostem poskytuje extrémně pevnou a zároveň lehkou konstrukci. Jedním z rozhodujících faktorů pro výběr rámu je jeho hmotnost, na jejímž základě se poté vybírají vhodné motory. V praxi platí, že čím větší rám, tím větší motory a vrtule. Ve světě dronů existují rámy různých velikostí, od miniaturních 2“ rámu po 6“ i větší, jejich velikost se měří diagonálně mezi středy dvou motorů a jejich tloušťka je od 2 – 6 mm. Rám by se dal pomyslně rozdělit na spodní část, kde se nachází dolní podstava, většinou připomínající písmeno X, a vrchní část, která je oddělena od spodní hliníkovými sloupky (viz Obr. 16). Mezi nimi se nachází komponenty dronu, kde jsou dokonale chráněny před pádem či kolizí. Na trhu se setkáme s více typy rámu dle potřeb pilotů.



Obrázek 16 – AstroX X5 freestyle rám
zdroj:

https://cdn.getfpv.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/c/-/c-_users_tim_desktop_j5-f01.jpg

¹⁷ **uhlíkové vlákno** – velice lehký a extrémně pevný materiál, který se využívá v různých oblastech

4.3.1 Typy rámu

Závodní – u závodních rámu se klade velký důraz na hmotnost, která musí být co nejnižší. Kvůli aerodynamice jsou komponenty do rámu montovány tak, aby se pokryla co nejmenší plocha. Výsledkem je poté rám, který je velice obratný a rychlý.

Freestyle – freestyle rám je zpravidla těžší a objemnější nežli rám závodní z důvodu výdrže při častých kolizích dronu. Jeho ramena jsou navržena tak, aby vrtule nezasahovaly do záběru kamery. Uvnitř rámu se také nachází více místa na komponenty a na rozdíl od závodního dronu je možné umístit baterii na vršek horní části dronu, kde se také nachází držák HD kamery.

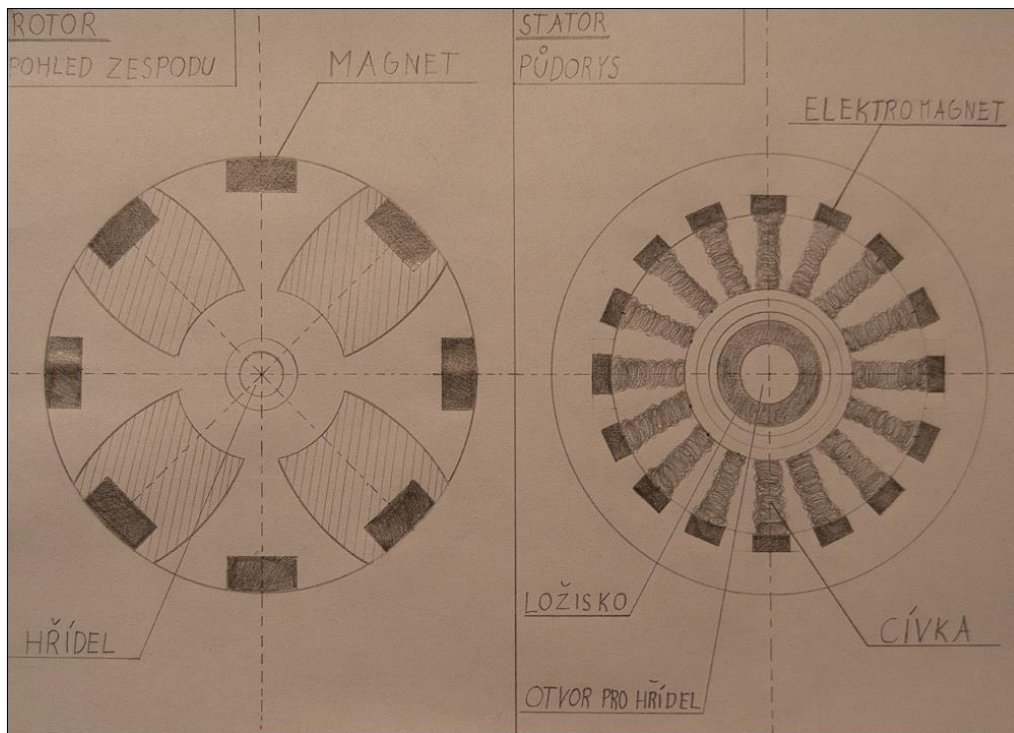
Cinewhoop – speciálním typem rámu je rám s názvem Cinewhoop. Jedná se o rám, který je většinou 3“ a má kryté vrtule, což umožňuje bezpečně létat blízko stěn či objektů. Hmotnost tohoto rámu je poněkud vyšší, nicméně se správnými motory zvládne unést i HD kameru.

Toothpick – dalším speciálním typem rámu je tzv. Toothpick (v překladu párátko). Tento název získal díky svým tenkým ramenům, kvůli kterým dokáže létat i pět a více minut. Jedná se o velice lehký a obratný rám nejčastěji o velikosti 2,5“.

4.4 Motory

Hlavní pohonnou jednotkou dronu jsou nepochybně motory, které mají za úkol generování vztlaku, což má za následek vzlet kvadrokoptéry. Motor dronu funguje na principu elektromagnetismu¹⁸, s využitím **elektromagnetu**. Magnetické pole je vytvořeno na základě nabití elektromagnetů, které se nacházejí na vnější straně statoru. Stator je pevně připevněn k rámu, společně s magnety, které se nacházejí na vnitřní straně rotoru. Výsledkem působení je rotace ložisek uvnitř statoru, což dává do pohybu hřídel společně s rotorem (viz Obr. 17).

¹⁸ **elektromagnetismus** – vědecká oblast, která zkoumá vzájemné postavení elektřiny a magnetů



Obrázek 17 – technický výkres bezkartáčového motoru, zdroj: autor

4.4.1 Bezkartáčové motory

Jedná se o nejpoužívanější typ motorů v oblasti dronů. Na svoji poměrně malou velikost dokážou vyvinout ohromný výkon, za cenu velké spotřeby energie z baterie. Bezkartáčový motor se dělí na dvě samostatné jednotky, a to na: Rotor a Stator, které spolu navzájem interagují. Výsledkem je poté efektivní generování tahu. Kvadrokoptéry osazené těmito motory jsou schopné dosáhnout rychlostí i 160 km/h (viz Obr. 18).

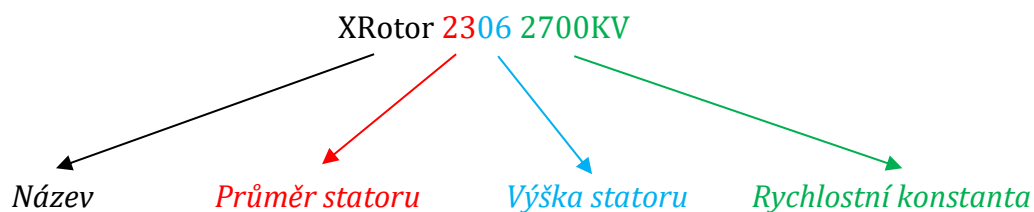


Obrázek 18 – bezkartáčový motor – XRotor 2306 2700KV

zdroj:

<https://cdn.shopify.com/s/files/1/0109/9702/products/Xrotor2306a1.jpg?v=1536795375>

Prvním klíčovým znakem při samotném výběru motoru jsou funkční parametry, dle kterých se motor vybírá. Pro demonstraci byl využit motor (viz Obr. 18).



Název - XRotor - výrobce motoru, někteří výrobci vyrábí motory určené pro různé styly letu (Racing, Freestyle, Long-range).

Průměr statoru - **23** - toto dvojčíslí určuje průměr statoru, v tomto případě 23 mm. Jedná se o důležitý faktor při výběru velikosti rámu (viz Kap. 4.1).

Výška statoru - **06** - toto druhé dvojčíslí určuje výšku statoru, v tomto případě 6 mm. Jedná se také o důležitý faktor při výběru velikosti rámu (viz Kap. 4.1).

Rychlostní konstanta - **2700KV** - tato konstanta udává počet RPM, z angl. Rounds Per Minute (v překladu otáčky za minutu). V podstatě čím vyšší číslo kV, tím silnější magnetické pole působí na stator a tím rychleji se rotor dokáže točit. Motory s menším kV jsou většinou osazeny většími vrtulemi a používají se při Long-range letech kdy není rychlost důležitá a naopak. Motory s větším kV jsou využívány pro Racing či freestyle, kdy rychlost hraje klíčovou roli.

Hodnota RPM se v našem případě, uvažujeme-li použití čtyř-článekové baterie vypočítá vztahem

$$x = 2700KV * (4S * 4,2V)$$

$$x = 45\ 360$$

kde x označuje RPM, KV rychlostní konstantu, S počet článků baterie, V počet voltů napětí nabité baterie.

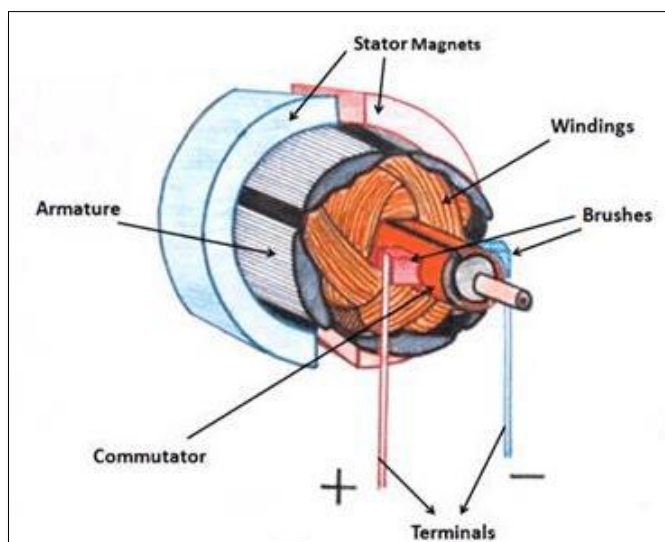
Z průměru statoru již můžeme usoudit, že motor je vhodný pro 5", zejména závodní kvadrokoptéry díky vysokým otáčkám rotoru za minutu.

Každý motor je opatřen tzv. AWG kabely, zpravidla se na každém motoru nacházejí tři. Tyto kabely jsou připájeny na regulátory, které se starají o správné otáčky motoru a dodávají jim dostatečný proud. Obecně platí čím větší motor, tím větší odběr energie z baterie, tím silnější kabely. V praxi jsou kabely voleny dle

potřeby a můžeme se setkat s AWG kabely označenými od 8 do 30, např. 8AWG dokáže přenášet proud až 200 A, přičemž 28AWG pouze 1,25 A. Nicméně pro bezkartáčové motory se používají nejčastěji kabely s označeními 18AWG – 20AWG.

4.4.2 Kartáčové motory

Vedlejším typem stejnosměrného motoru, který je používán spíše na Tiny Whoop či mikro kvadrokoptérách, je kartáčový motor, který funguje také na principu rotoru a statoru. Na rozdíl od bezkartáčového motoru, stator poskytuje permanentní magnetické pole. Název kartáčový motor je odvozen od používání tzv. kartáčů. Tyto kartáče jsou připojeny k napájení motoru a jsou plně v kontaktu s tzv. komutátorovým prstencem, který při rotaci obrací svoji polaritu a tím zajišťuje chod celého motoru (viz Obr. 19).



Obrázek 19 – schéma stejnosměrného kartáčového motoru
zdroj:

https://www.researchgate.net/profile/Michal_Sustek/publication/320204209/figure/fig2/AS:545825409048576@1507146326727/Brushed-DC-motor-14.png

4.5 Regulátory a jejich firmware

Pojmem regulátor neboli **ESC** – Electric Speed Controller (v překladu Elektrický regulátor otáček) se rozumí klíčová součástka dronu, která má za úkol řízení otáček jednotlivých motorů, na základě příkazů z řídicí jednotky. Jak je již patrné, regulátor přímo propojuje motor a řídicí jednotku. V podstatě funguje na principu přijmutí příkazu od řídicí jednotky, dle kterého si upravuje výši tažené energie z baterie, což má za následek rotaci motoru. Obecně platí, čím dynamičtější létání, tím více energie si regulátor z baterie žádá, což má za následek kratší let. Regulátory jsou opatřeny kabelem pro jejich napájení a pro přijímání signálu z řídicí jednotky. Pokročilejší regulátory mají již tzv. *telemetrický výstup*, kdy mohou monitorovat telemetrii a následně ji přes telemetrický výstup zasílat zpět na řídicí jednotku. Monitorované hodnoty mohou být např. napětí, počet otáček či teploty. V dnešní době se využívají tři architektury regulátorů.

4.5.1 Samostatné regulátory

V dnešní době nejsou již samostatné regulátory tak rozšířené jako tomu bylo dříve, ačkoli stále se hojně využívají na pevných křídlech. Ovšem stále se objevují na freestyle kvadrokoptérách, kde se neupřednostňuje nízká hmotnost, a především pokud dojde ke zničení jednoho regulátoru, z důvodu častých pádů při freestyle letu, není nutné měnit celou destičku. Jedná se o typ regulátoru, který se upevňuje na vrchní straně ramene dronu, přesně mezi motorem a řídicí jednotkou dronu. Pro každý motor se používá jeden regulátor. Každý z nich je popsán základními informacemi, aby nešlo k jejich zničení.

Nejčastěji se jedná o informace o výrobci, proud v ampérech, který ESC může udržet, počet článků LiPo baterie, pro kterou je ESC vhodné. V neposlední řadě i název Firmware a Protokolu, které ESC využívá (viz Obr. 20).



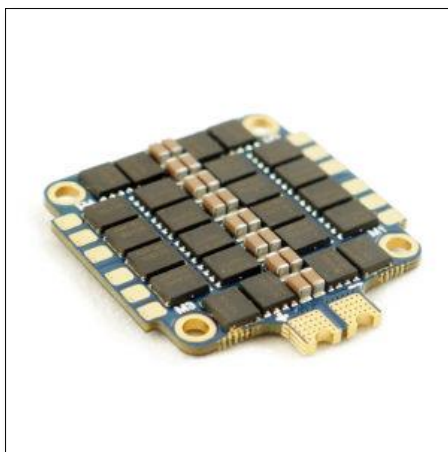
Obrázek 20 – individuální regulátor - **SPEDIX IS30 30 A**
zdroj: <https://oscarliang.com/ctt/uploads/2020/05/spedix-is30-2-4s-30a-esc.jpg>

Jak je již z obrázku patrné, na regulátoru se nachází destičky pro pájení a v zadní části kabely k připojení na řídicí jednotku, můžeme tedy určit že:

Destičky s označením A, B, C slouží k připájení kabelů z motoru. Černý a červený silný kabel slouží k napájení ESC. Černý tenký kabel značí zem (ground). Bílý tenký kabel slouží k přijímání signálu z řídicí jednotky. Maximální proud, který je schopno ESC udržet je 30 A. Doporučení pro použití 2-4 článkové baterie. Použitý firmware – BLHeli_S, protokol – DShot

4.5.2 Čtyři regulátory na desce

Druhým a nejvíce využívaným způsobem je použití desky, kde jsou integrovány čtyři regulátory najednou. Motory jsou připájeny přímo na desku, která je následně propojena pomocí kabelu s konektorem s řídicí jednotkou. Tato metoda architektury je nejoblíbenější zejména pro své minimální použití pájky pro propojení ESC a řídicí jednotky. Při výběru regulátoru je třeba dbát také na velikost řídicí jednotky, z důvodu správné montáže pod řídicí jednotku. V dolní části regulátoru se také nacházejí destičky pro připájení kladného a záporného kabelu k baterii, na které je napájena koncovka pro připojení LiPo baterie (viz Obr. 21).



Obrázek 21 – deskový regulátor

zdroj: https://live.rotorama.cz/wp-content/uploads/2020/10/5851-1788_1788-1-e1603109003957-300x300.jpg

4.5.3 AIO Regulátory

Poslední opět méně rozšířenou skupinou jsou *All in One regulátory*. Jedná se o integrované ESC přímo do řídicí jednotky dronu. Využívá se zejména tam, kde je potřeba ušetřit místo či zmenšit hmotnost celého dronu, zejména pak u mikro či Toothpick dronů.

4.5.4 Firmware BLHeli_S a BLHeli_32

Každé ESC je ovládáno firmwarem, který je po připojení řídicí jednotky k PC pomocí USB nastavován přes tzv. *BLHeli Suite* software. Jedná se o takový „ovladač“, přes který se dá nastavit zejména směr otáčení jednotlivých motorů. Nejnovější regulátory ovládají pouze BLHeli_32 firmware, přičemž BLHeli_S se již moc často nepoužívá. Důvodem jsou nové dostupné funkce a protokoly, které nový firmware nabízí. Jedná se zejména o podporu nejmodernějších protokolů pro co nejrychlejší odezvu kvadrokoptéry na pilotovo ovládání. Za zmínku stojí firmware *KISS*, který se vyrovná BLHeli_32, ten není na trhu tolik populární z důvodu jeho nevyužití.

4.5.5 Protokol DShot

Jak již bylo řečeno, komunikace mezi ESC a řídicí jednotkou probíhá čistě přes signální kabel prostřednictvím protokolů. Nejnovějším a nejrozšířenějším protokolem je **DShot**, který je jedním z prvních digitálních protokolů. Na rozdíl od starých PWM, OneShot125, OneShot42 protokolů dokáže přenášet data rychleji, což

má za následek robustnější signál s eliminací elektrického šumu¹⁹. V současnosti se jedná o nejpoužívanější protokol vůbec, což dalo za vznik třem jeho variantám:

- **DShot600** – rychlost přenosu dat 600,000 bit/s
- **DShot300** - rychlost přenosu dat 300,000 bit/s
- **DShot150** - rychlost přenosu dat 150,000 bit/s

Oscar Liang (2016) udává, že: „*Nejprve musíme vědět, kolik bitů je v datovém paketu, poté rozdělit rychlost protokolu. Datový paket DShot se skládá z celkem 16 bitů: 11 bitů pro hodnotu plynu (211 = 2048 kroků), 1 bit pro požadavek telemetrie a 4 bit pro kontrolní součet CRC (kontrola cyklické redundance). Například DShot600 by měl frekvenci $600\,000/16 = 37\,500\text{ Hz} = 37,5\text{ KHz}$, což znamená, že odeslání jedné hodnoty z FC do ESC bude trvat přibližně 26,7 milisekundy.*“ (překlad vlastní)

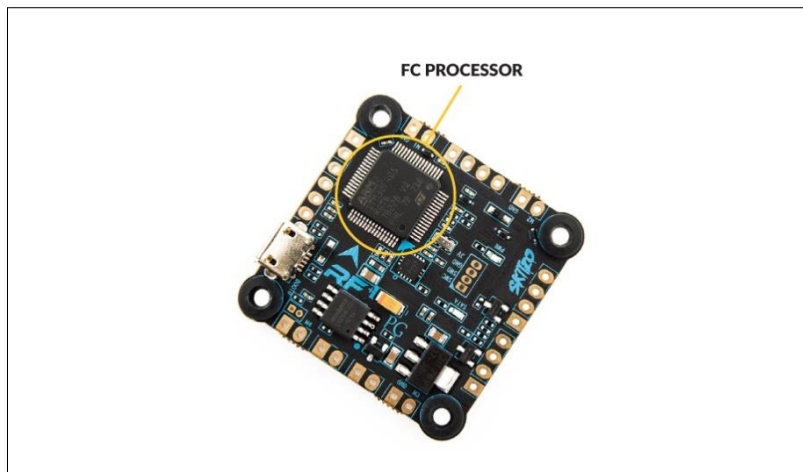
4.6 Řídící jednotka

Hlavním prvkem dronu, jehož funkce se často přirovnává funkci procesoru u počítače je tzv. řídicí jednotka neboli **FC** – Flight Controller (v překladu letový ovladač). Jedná se o takový mozek dronu, který se stará o chod všech komponent, vykonává procesy a řídí správný chod celého systému. Zpracovává signál z vysílače, udržuje FPV přenos a zejména kontroluje a obsluhuje ESC (viz Obr. 22). Velikosti řídicích jednotek jsou následující (dle rozteče montážních děr):

- **16 x 16 mm** – nejmenší velikost, používá se u mikro či Toothpick dronů.
- **20 x 20 mm** – střední velikost, používá se u 3“-4“ dronů.
- **30,5 x 30,5 mm** – standardní a nejrozšířenější velikost, používá se u 5“ dronů a více.

Při výběrů ESC, na kterém se nacházejí čtyři regulátory je třeba brát ohled i na velikost řídicí jednotky, a naopak z důvodu rozteče montážních děr.

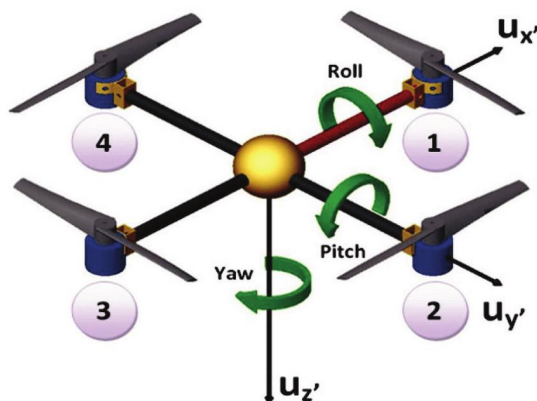
¹⁹ **elektrický šum** – rušivý nechtěný signál



Obrázek 22 – řídicí jednotka se znázorněným hlavním procesorem
 zdroj: <https://learnassets.getfpv.com/learn/wp-content/uploads/2018/01/05182005/1-FC-Processor.jpg>

4.6.1 Senzory řídicí jednotky

Gyroskop - prvním senzorem je gyroskop byl již vynalezen v 18. století jistým Léonem Foucaultem²⁰. V dnešní moderní době se využívá například v mobilních zařízeních pro detekci náklonů přístroje. Ve světě dronů plní stejnou funkci, kdy snímá rychlost, kterou se dron otáčí v osách (Yaw, Pitch, Roll) (viz Obr. 23). Jedná se o druhý největší mikroprocesor na řídicí jednotce využívající matematické výpočty. Gyroskop využívají také různé letové módy pro stabilizaci letu.



Obrázek 23 – znázornění letových os kvadroptéry
 zdroj:

https://www.researchgate.net/profile/Venkatapathy_Prithiviraj/publication/280573614/figure/fig1/AS:391604515950593@1470377200482/Yaw-pitch-and-roll-rotations-of-a-Quadcopter.png

²⁰ **Léon Foucault** – francouzský fyzik z 18. století, vynálezce gyroskopu

Akcelerometr - na podobném způsobu funguje i druhý čip s názvem akcelerometr, který monitoruje a poskytuje informace o zrychlení dronu v osách **X**, **Y**, **Z**. Dále poskytuje informace o zemské gravitaci, v dnešní době však stále nejsou akcelerometry dosti přesné.

GPS - kromě gyroskopu a akcelerometru se na kvadroptéře může vyskytovat například GPS senzor, který při letu monitoruje přesnou pozici, jeho výšku či rychlost letu dronu. S využitím GPS senzoru přichází i možnost autonomního návratu na předem stanovený bod, či naplánování trasy.

Barometr – posledním senzorem, který se může nacházet na kvadroptéře je tzv. barometr, který se stará o povětrnostní podmínky a jeho hlavní výhodou je možnost nastavení výšky letu. Oproti GPS je tato možnost přesnější a využívá se zejména pro dálkové lety.

4.6.2 Firmware Betaflight 4.2

Stejně jako u regulátorů, i řídicí jednotka obsahuje svůj vlastní firmware, který se stará o její správný chod. Na trhu existuje mnoho typů firmwarů, nicméně všechny víceméně vycházejí z toho nejpoužívanějšího, kterým je *Betaflight*. Jedná se o freeware vyvíjený programátorským týmem působícím na GitHubu. S použitím tzv. Betaflight konfiguratoru v aktuální verzi 4.2 a následného připojení dronu k PC pomocí USB je možné nastavovat porty pro posílání dat, otáčky motoru, frekvence, testování gyroskopu a akcelerometru pomocí real-time grafů, nastavení vysílačky, nastavení LED pásků, PID, failsafe, letové módy a v neposlední řadě také rozmístění ikoněk v OSD²¹ a černou skříňku.

Černá skříňka – jedná se o dovednost Betaflightu, která umožňuje zaznamenávat data ze všech senzorů v čase letu kvadroptéry, např. na SD kartu.

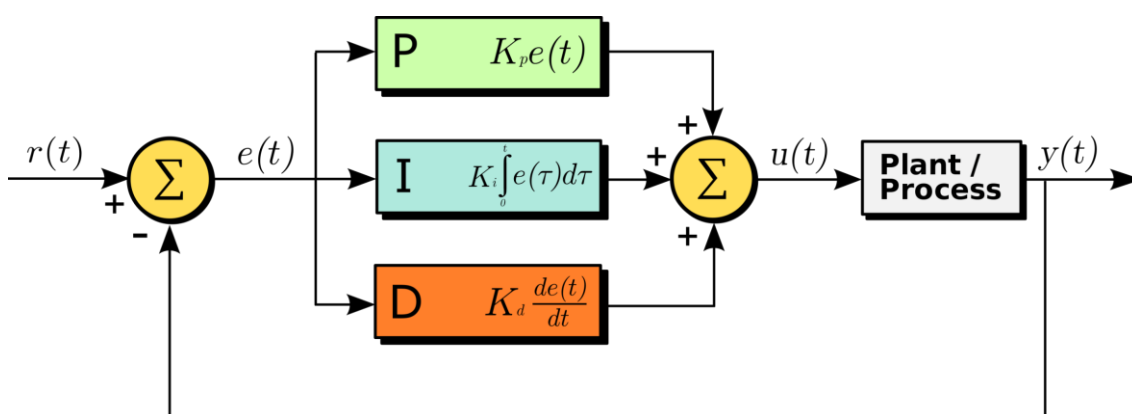
²¹ **OSD** – on screen display – FPV display obohacený o ikonky stavu baterie atd., viditelný pilotem.

Failsafe – další dovednost, která umožňuje nastavit případné akce po ztrátě signálu s dronem, aby nedošlo k poničení dronu, např. pomalé klesání na zem.

Při pořízení nové řídicí jednotky nemusí být firmware aktuální, Betaflight 4.2 nabízí také službu smazání a nahrání nového firmwaru, tzv. flashnutí. Což má za následek objevení nových funkcí této verze, a ještě větší vůli v nastavování dronu.

4.6.3 Hodnoty PID

Hodnoty PID jsou klíčové v ovládání kvadrokoptéry. Jedná se o prostý algoritmus fungující na principu *násobení, integrace a derivace* (viz Obr. 24). Algoritmus, má na vstupu naměřené hodnoty ze senzorů, které se odečtou od těch požadovaných v PID a výsledkem je odchylka, která projde třemi výpočty. Je vynásobena *P*, integrována *I* a derivována *D*. Výsledky se sečtou a řídicí jednotka upraví hodnoty RPM všech motorů, aby byly co nejbližší požadované hodnotě. Poté se již proces opakuje s nově naměřenými hodnotami. Tento proces běží na řídicí jednotce až **10 000x za sekundu**. Volby hodnot PID, které se nastavují v Betaflight konfiguratoru jsou čistě na preferenci pilota, hledání správných hodnot se nazývá **kalibrování PID**.



Obrázek 24 – schéma principu výpočtu PID hodnot

<https://i2.wp.com/fpvdrone.cz/wp-content/uploads/2019/02/pid.png?w=2340&ssl=1>

Hodnota P – hodnota P zastává tzv. proporcionální složku. Udává, míru ovladatelnosti kvadrokoptéry, čím je P vyšší, tím je ovladatelnost lepší. Příliš velká

nastavená P hodnota znamená přehnanou reakci řídicí jednotky, což má za následek nutnost hodnotu P zmenšit.

Hodnota I – hodnota I zastává tzv. integrační složku, která zaznamenává předchozí naměřené hodnoty senzorů a snaží se je vyrovnávat s těmi, které do algoritmu přichází a tím stabilizovat celý let. Hodnota I stabilizuje i vnější vlivy, které při letu vznikají, např. vítr.

Hodnota D – hodnota D zastává tzv. derivační složku, která se snaží tlumit hodnoty P. Moc vysoké hodnoty D tzv. otupí kvadrokoptéru a stane se hůře ovladatelná, proto se hodnota D nastavuje opatrně s cílem nastavení na co nejnižší hodnotu.

4.6.4 Letové režimy

Letovým režimem se rozumí chování kvadrokoptéry v letu. V praxi existují tři hlavní používané režimy, a to:

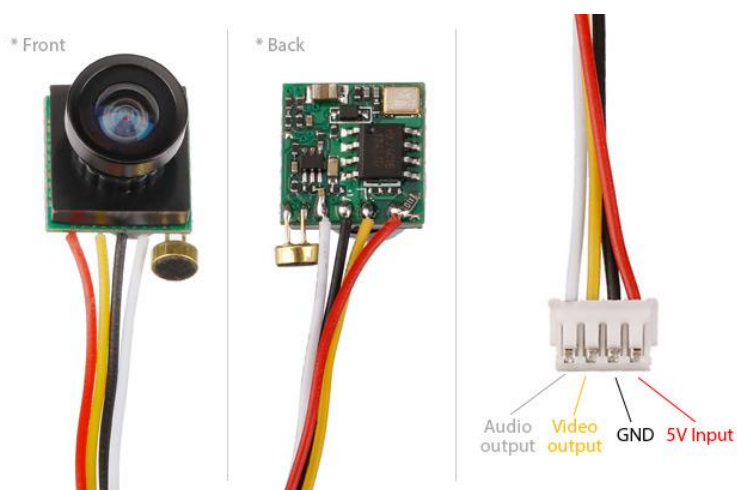
- **Angle režim** – kvadrokoptéra je v letu ovládána náklonem. Pokud se pilot při letu bude dron pokoušet naklonit o více než stanovený maximální úhel, bude zpět vyrovnán na vodorovnou polohu. Tato metoda vyrovnávání se využívá v menších prostorech, např. pro létání v hale.
- **Horizon režim** – horizon režim funguje na principu angle režimu s využitím odemknutého úhlu, což umožňuje kvadrokoptéru převracet či provádět jiné akrobatické prvky, pokud je ale pravá páčka na vysílači ve své výchozí pozici, řídicí jednotka zahájí vodorovné vyrovnání.
- **Acro režim** – v praxi nejoblíbenější režim letu, jedná se o plně manuální let, bez vyrovnání či omezení. Využívá se ve všech směrech létání. Začátečnickům se doporučuje využívat zejména tento režim, z důvodu maximální zážitku z ovládání.

4.7 FPV kamera

Kamera je další klíčovou komponentou architektury FPV dronu. Zajišťuje real-time obraz, který je zasílán do řídicí jednotky, ta ho předává do video vysílače, kterým je vysílán. Následně je zachytáván video přijímačem ve formě FPV brýlí či

obrazovky. Tyto kamery se nacházejí v přední části dronu, kde se klade důraz na čistý záběr, např. bez viditelných vrtulí. Většinou pod úhlem okolo 30° pro freestyle a 50° pro závodní drony. Kamery se vyrábí v různých velikostech dle velikosti rámu:

- **Mini** – klasický rozměr 21x21 mm, používaný u 4“ – 5“ kvadrokoptér. Jedná se o dnešní standard (viz Obr. 25).
- **Mikro** – rozměr těchto kamer se pohybuje okolo 19x19 mm. V praxi se používá u dronů s rozměrem rámu 2“ – 3“.
- **Nano** – posledním a zároveň nejmenším typem FPV kamer je nano kamera. Její velikost se pohybuje okolo 14x14 mm. Zmenšování vedlo k vytvoření také Nano AIO kamery, která v sobě má již **zabudovaný video vysílač**. Nano kamery se nejčastěji používají u nejmenších kvadrokoptér, ale jsou k vidění i na 3“ strojích.



Obrázek 25 – FPV CMOS kamera s obvyklou viditelnou kabeláží
zdroj: <https://d1f3xz7hjchz45.cloudfront.net/images/le-0329-big002.jpg>

Na obrázku je možné vidět schéma kabeláže FPV kamery.

Audio output, slouží k přenesení zvuku.

Video output, slouží k přenesení videa.

GND, značí ground (zem).

5V Input, pro napájení kamery z baterie.

4.7.1 Obrazový senzor

Uvnitř každé FPV kamery se nachází senzor, který převádí vstup do kamery v podobě obrazu do elektrických signálů, které jsou poté odesílány přes video vysílač do video přijímače. V FPV se využívají dva senzory:

CCD – celým názvem Charge-Coupled Device, je senzor, který je využíván zejména v kamerách. Postupem času našel uplatnění i v FPV kamerách, kde dosahuje výborných výsledků. Kamery s tímto senzorem mají nižší míru vibrací a trhaného obrazu, jejich obraz je více kontrastní nežli u CMOS, za cenu vyšší spotřeby energie z baterie. Latence CCD kamer je vyšší, nežli je tomu u CMOS kamer, proto jsou voleny spíše pro long-range lety.

CMOS – celým názvem Complementary Metal Oxide Semiconductor, je další senzor využíván v kamerách a zejména FPV kamerách, kde je v praxi považován za nejlepší senzor pro FPV kameru z důvodu nízké latence (20 ms), která je při FPV důležitým faktorem. Ačkoli je jeho spotřeba baterie nižší nežli u CCD, dokáže vytvořit video o vyšším rozlišení, již ne tak kontrastově silné.

4.7.2 Zorné pole a poměr stran

Při výběru vhodné FPV kamery se zvažují právě tyto dva parametry. Zorné pole je udáváno v mm. V praxi platí čím větší číslo, tím větší je zorné pole kamery, je stále lepší vlastnit kameru s menším zorným polem z důvodu větší kvality videa. Nejčastěji jsou k vidění kamery se zorným polem 2,8 mm, avšak existuje mnoho velikostí od 1,8 mm do 2,8 mm. Mezi nejoblíbenější však patří ty se zorným polem 2,5 mm.

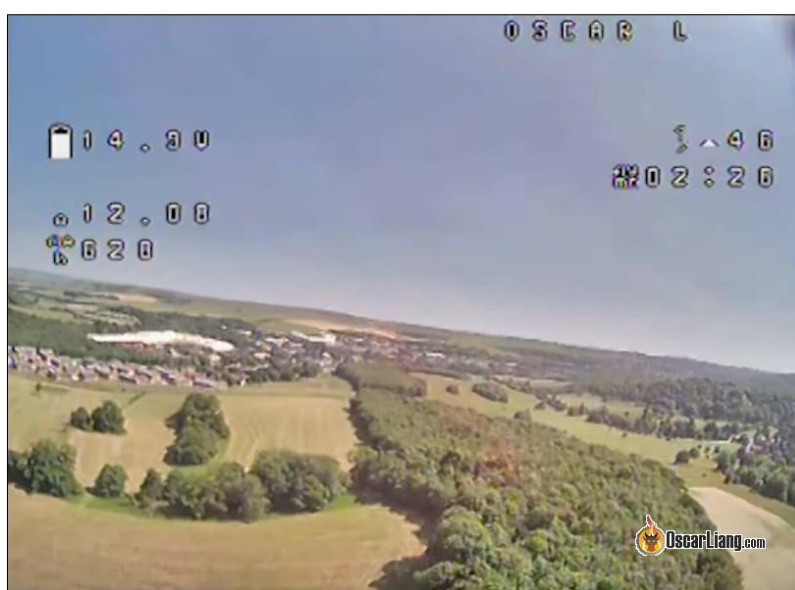
Druhým důležitým parametrem je právě poměr stran kamery, které odpovídá poměru, které FPV kamera podporuje. V praxi je možné se setkat s dvěma typy, a to:

- **16:9** – poměr stran, který je využíván například u počítačových monitorů.
- **4:3** – poměr stran čtvercového rázu, který je již zastaralý a používá se při FPV.

Výběr poměru stran je na volbě každého FPV pilota a jeho preferencích.

4.7.3 On Screen Display

Pod zkratkou OSD se skrývá další funkce kamery, která je dnes již většinou integrována přímo do řídicí jednotky, kterou využívají piloti FPV dronů. On Screen Display (v překladu Displej na Obrazovce), je funkce, která umožňuje zobrazit důležité hodnoty např. *Doba letu, síla signálu, volty v baterii atd*, přímo na obrazovce přijímaného signálu. V praxi je tato funkce kamery velice účinná, jelikož každý pilot si může přes konfigurační Betaflight nastavit pozici, velikost či počet ikonků dle svého uvážení a získávat tak důležité informace po čas letu (viz Obr. 26).



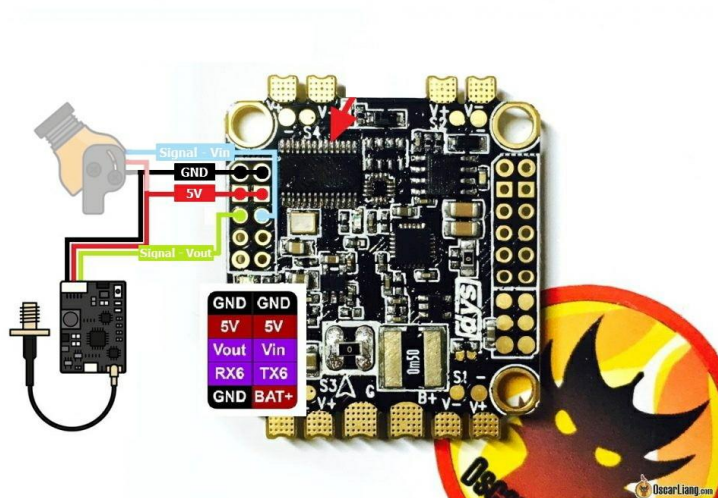
Obrázek 26 – OSD zobrazující volty baterie a čas letu

zdroj: <https://oscarliang.com/ctt/uploads/2017/07/betaflight-osd-exmample-menu-display-1.jpg>

4.8 Vysílač a přijímač video signálu

Video přenos je hlavním prvkem pro FPV létání, o tento přenos mezi dronem a pilotem se stará video vysílač neboli VTX. Video vysílač přijímá data od řídicí jednotky (existují také architektury, kde je připojena kamera přímo na VTX) a vysílá je na frekvenci 5,8 GHz, kde jsou zachyceny video přijímačem a převedeny na živé video. Pro přenos videa existuje mnoho kanálů a každé VTX může mít různý výstupní anténní konektor. VTX může existovat v podobě samostatné komponenty

v zadní části kvadrokoptéry, nebo se může dát tzv. „do stacku“, nad regulátory a řídicí jednotku. Schéma připojení VTX s kamerou a řídicí jednotkou (viz Obr. 27).

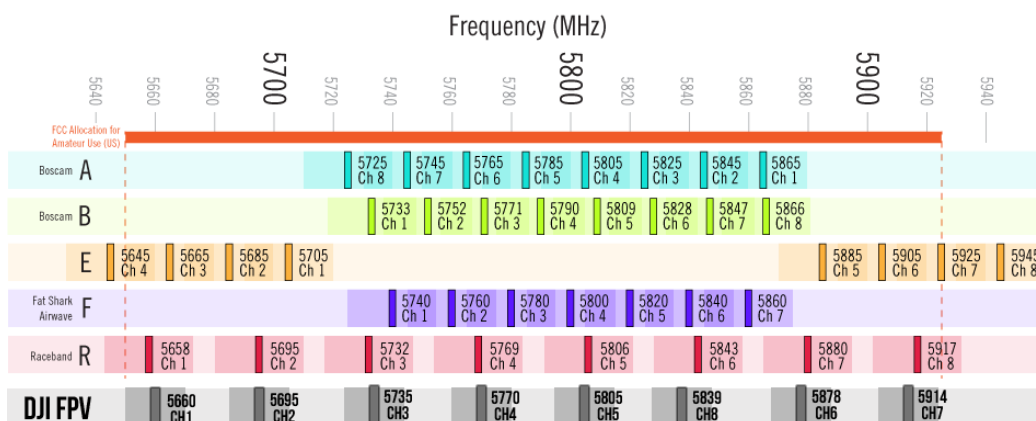


Obrázek 27 – schéma zapojení VTX

zdroj: <https://oscarliang.com/ctt/uploads/2019/09/connect-vtx-to-flight-controller-fpv-drone.jpg>

4.8.1 Vysílání a přijímání signálu

VTX vysílá analogové video napojené na jeden z kanálů. Obecně každé VTX má podporovat okolo 40 kanálů, což značí 5 pásem signálu po 8 kanálech. Toto se využívá např. při závodních či skupinových letech k zamezení rušení signálu ostatních pilotů. Pokud je přijímač naladěný na stejné frekvenci jako vysílání VTX, dostaneme obraz. Jednotlivé kanály jsou popsány tabulkou (viz Obr. 28).



Obrázek 28 – tabulka frekvencí

zdroj: <https://live.rotorama.cz/wp-content/uploads/2020/10/0hmpzt328pk31.png>

Jak je již patrné z tabulky, rozmezí frekvencí pro přenos videa pro FPV drony je od 5640 - 5940 MHz. Pásmo s názvem Raceband, které má velké frekvenční rozestupy slouží pouze pro závodní účely z důvodu úplného zamezení rušení signálu.

Video z VTX je nejčastěji přijímáno do FPV brýlí z důvodu plného zážitku z First Person View. Druhým, již méně akčním způsobem je příjem signálu na Monitor, oba tyto způsoby využívají analogový příjem na **frekvenci 5,8 GHz**. Přijímače využívají k zachycení signálu antény, existují přijímače s dvěma či více anténami, které mezi sebou na základě síly signálu přepínají pro dosažení co nejlepšího signálu, tyto přijímače se nazývají diversitní.

Dalším typem je přijímač, který také funguje na principu dvou antén, kdy je aktivní pouze jedna z antén. Každých pár sekund probíhá měření signálu, na základě kterého, se přepne na druhou anténu nebo zůstane na té první. Tyto přijímače se nazývají duální.

Třetím typem přijímače je tzv. přijímače s fúzí neboli moduly. Modul je připnut ze strany na brýle, osazen zpravidla dvěma anténami. Modul poté spojuje signál z obou antén dohromady pro nejlepší výsledek. Typickým příkladem modulu je například již zmíněný Rapidfire.

4.8.2 Vysílací výkon

Každý video vysílač jde nastavit na určitý výkon vysílání, čím vyšší výkon vysílání, tím čistší a kvalitnější obraz. Výkon se udává v miliwattech. Vysílat je možné od výkonu **25mW až po 2 W**, *v ČR je maximální povolený výkon 25mW*. Video vysílač je poměrně zahřívána komponenta dronu, která se chladí okolním vzduchem. Při konfiguraci VTX, kdy není dron v letu se používá tzv. Pit mode, který umožňuje vysílat pouze na 2 metry s nízkým výkonem a slouží ke konfiguraci vysílače.

Nastavení správného vysílacího výkonu nebo frekvence, pásma či kanálu probíhá přes tlačítko, které se nachází přímo na video vysílači, kde při opakovaném mačkání či podržení nastavíme vysílací výkon. Nejčastěji však používaným

způsobem je nastavení přes konfigurátor Betaflight, kde můžeme nastavit ovládání přes OSD, což znamená, že vysílací výkon půjde upravovat v brýlích či jiném přijímači, nebo pomocí LUA skriptů, které umožňují nastavení pomocí switchů na vysílače.

4.8.3 FPV brýle

FPV brýle představují poměrně akční či adrenalinový zážitek z FPV. Ve světě dronů nalezneme dvě kategorie brýlí, a to:

- **Krabicové brýle** – tento typ brýlí je ve velké oblibě zejména u začátečníků z důvodu nízkých pořizovacích nákladů okolo 2 000 Kč. V konstrukci má jeden velký displej, který má rozlišení okolo 800 x 480 pixelů. Poměr stran je volen na základě preferencí pilota. Nevýhodou je poměrně velká hmotnost a nízká kvalita displeje. Většina krabicových brýlí již má integrovanou baterii, což je výhoda, nicméně za cenu vyšší hmotnosti. Taková baterie se dá nabít pomocí USB kabelu.
- **Klasické brýle** – druhým typem jsou brýle klasické, které se pohybují okolo 12 000 Kč. Klasické brýle disponují dvěma displeji, každý na jedno oko. Jsou lehčí a komfortnější nežli brýle krabicové. Rozlišení brýlí je větší nežli u krabicových, zpravidla okolo 1290 x 960 pixelů. Obvykle jsou osazeny modulem. Napájení těchto brýlí je řešeno externě, většinou se používá dvoučlánková či tříčlánková LiPo baterie (viz Obr. 30).

4.8.4 Digital Video Record

Video, které vidí pilot dronu v brýlích, je možné nahrávat přes funkci DVR. Je doporučeno záznam letu nahrávat pro účely případné ztráty dronu. DVR se nehodí pro ukázkou záběru z letu široké veřejnosti. Pro takový účel se používají akční kamery, které již natáčejí v plnohodnotném Full HD.

4.8.5 Monitor

Druhou, již méně oblíbenou metodou je zachytávání signálu na FPV monitor. Jedná se o takový „tablet“, opatřen anténou pro příjem signálu. Na trhu se tyto monitory pohybují v řádu několika tisíc korun.



Obrázek 30 – klasické brýle a monitor pro příjem signálu
zdroj: https://www.rchelicopterfun.com/images/FPV_Goggles_Title_500pics.jpg

4.8.6 DJI Digital FPV

Firma DJI, která se proslavila po celém světě tvorbou řady DJI Mavic a DJI Phantom dronů, v roce 2019 představila svoje řešení prostřednictvím prvního digitálního FPV setu, který mnoho FPV pilotů již využívá (viz Obr. 29). Hlavními benefity digitálního FPV jsou vysoká kvalita obrazu, nízká latence společně s velkým vysílajícím výkonem. Cena celého setu včetně brýlí s rozlišením 1440 x 810, vysílačky a kamery s VTX stojí okolo 25 000 Kč.



Obrázek 29 – porovnání digitálního a analogového DVR
zdroj: https://cdn.fstoppers.com/styles/medium/s3/media/2019/10/22/screen_shot_2019-10-22_at_12.01.14_pm.png?itok=xE1B0A5b×tamp=1571760106

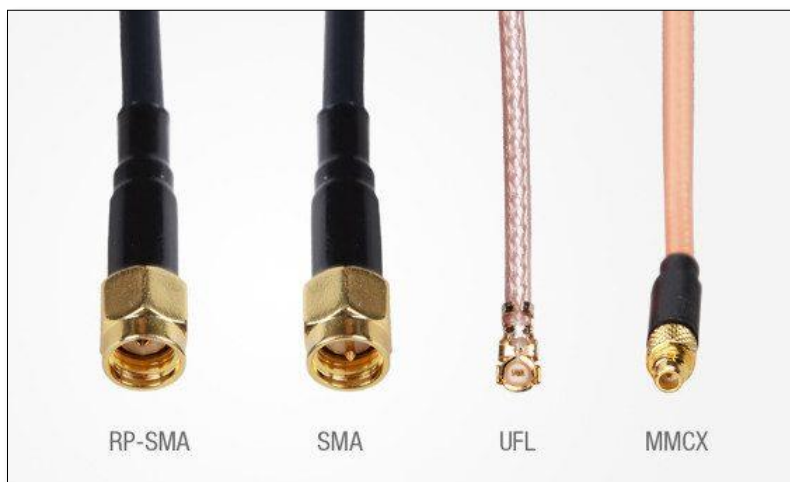
5 Periferní zařízení a komponenty kvadroptéry

5.1 Antény

V FPV světě existuje široká škála antén, které jsou využívány zejména video vysílačem a přijímačem. Při výběru antény je třeba sledovat tzv. **Zisk**, který je udáván v **decibelech**. Platí, že čím vyšší je zisk, tím větší má anténa dosah. Účelově platí, že každých 6dBi zvýší dosah signálu na dvojnásobek. Všechny antény jsou tvořeny koaxiálním kabelem, který přenáší signál od konektoru po aktivní prvek a obráceně.

5.1.1 Konektory

Každá anténa má jiný konektor pro její montáž na VTX nebo brýlích. Jedním z nejpoužívanějších konektorů je u.FL, který se používá na lehčích kvadroptérách. Dále MMCX, což je dnešní standard na straně video vysílačů. Posledními využívanými konektory jsou SMA a RP-SMA (viz Obr. 31).









Obrázek 31 – konektory antén

zdroj: <https://www.myfpvstore.com/wp-content/uploads/2018/11/Foxeer-Pagoda-Pro-5.8G-FPV-Antenna-w-MMCX-Connector-2-e1543340542172.jpg>

5.1.2 Základní typy antén

Šest základních typů antén (viz Tabulka 6).

Tabulka 6 – základní typy antén, zdroj: autor, obr. [50-55]

Název	Hodnota dBi	Polarizace	Konektor	Brýle/VTX	Obrázek
<i>Lineární</i>	<i>Nízká</i>	<i>Lineární</i>	<i>SMA</i>	<i>Brýle</i>	
<i>Clowerleaf</i>	<i>Nízká</i>	<i>Kruhová</i>	<i>Různé</i>	<i>Dron</i>	
<i>Pagoda</i>	<i>2dBi +-</i>	<i>Kruhová</i>	<i>RP-SMA/SMA</i>	<i>Obojí</i>	
<i>Mikro</i>	<i>Nízká</i>	<i>Kruhová</i>	<i>u.FL</i>	<i>Obojí</i>	
<i>Helical</i>	<i>Závisí na délce</i>	<i>Kruhová</i>	<i>RP-SMA/SMA</i>	<i>Brýle</i>	
<i>Patch</i>	<i>Vysoká</i>	<i>Lineární</i>	<i>SMA</i>	<i>Brýle</i>	

5.1.3 Polarizace signálu

Každá anténa vydávající signál pracuje na principu polarizace, v FPV se rozlišují dva základní typy polarizace, a to:

- **Lineární polarizace** – jedná se o šíření signálu vlněním v jedné rovině. Tento princip antén se využívá nejčastěji v diversitních přijímačích, přesněji v anténách typu **Patch**. Pokud jsou k sobě vysílač a přijímač natočeny ve špatném úhlu, dochází lehce ke ztrátě signálu.
- **Kruhová polarizace** – tento druh polarizace, se šíří v kruzích, které mohou být pravotočivé (RHCP), či levotočivé (LHCP). Polarizace zde funguje na základě směru otáčení, který je klíčový při výběru správné antény. Levotočivý signál nemůže být přijat pravotočivou anténou.

5.2 Vysílač a přijímač ovládacího signálu

Každá kvadrokoptéra schopná letu musí být opatřena tzv. přijímačem, který se stará čistě o příjem signálu z vysílačky neboli tzv. rádia. Tento signál je typicky vysílán na frekvenci **2,4 GHz**. Signál z rádia, kterým pilot ovládá dron, je přenášen přes rádiové frekvence, což dovoluje ovládat dron i na vzdálenosti několika kilometru (záleží na výbavě). Profesionální vysílačky dovolují použití tzv. externího modulu, který po připojení na zadní stranu rádia dokáže vysílat na nižší frekvenci, nežli 2,4 GHz, což umožňuje ještě vyšší dolet bez ztráty signálu. Typickým příkladem je např. CrossFire (viz Obr. 32). Vysílačky jsou často napájené pomocí LiPo baterií.



Obrázek 32 – vysílač FrSky Taranis XD9 Plus s CrossFire modulem
zdroj: <https://www.yawspin.com/wp-content/uploads/2018/07/stele-radio-960x570.jpg>

5.2.1 Kanály a frekvence

Na stejném způsobu jako VTX vysílá svůj video signál, tak na základě kanálů a frekvencí funguje vysílání rádiového signálu z vysílače. Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, kvadrokoptéra se pohybuje ve třech směrech (Yaw, Roll, Pitch), pokud k těmto směrům přidáme čtvrtý element plyn, který udává akceleraci kvadrokoptéry, dostaneme kompletní sadu příkazů, které rádio vysílá a přijímač přijímá. Na základě pohybu s páčkami vysílače jsou data překládána na digitální či analogový signál a vysílány směrem k přijímači. Každý z těchto příkazů využívá jeden komunikační kanál, aby nedocházelo k rušení. Na vysílače se nacházejí také tzv. switche, které se dají v konfigurátoru nastavit na přesné akce, jako je například **Arm**, který má za úkol „nastartovat“ kvadrokoptéru z bezpečné vzdálenosti od pilota. Každý z těchto switchů funguje také každý na jednom kanále.

Jak již bylo řečeno, vysílačka vysílá standardně na frekvenci *2,4 GHz*, nýbrž existují i frekvence nižší, které jsou nyní již zastaralé s výjimkou long-range systémů, které využívají frekvence např. **900 MHz**.

5.2.2 Firmware

Stejně jako řídicí jednotka, či regulátor má i vysílač svůj vlastní firmware. Jedním z nejmodernějších je Open TX, který je zároveň také nejrozšířenější, ale stále vycházejí nové verze, které vylepšují funkcionalitu rádia. Používá se na většině vysílačů od značek FrSky a FlySky. Výhodou tohoto firmwaru je fakt, že si dokáže pamatovat desítky používaných dronů, načež si uživatel vybere jeden, který je zrovna používán. Obsahuje také velikou škálu funkcí, např. nastavení VTX přes LUA skripty (viz Kap. 4.8.2).

5.2.3 Protokoly rádiového přenosu

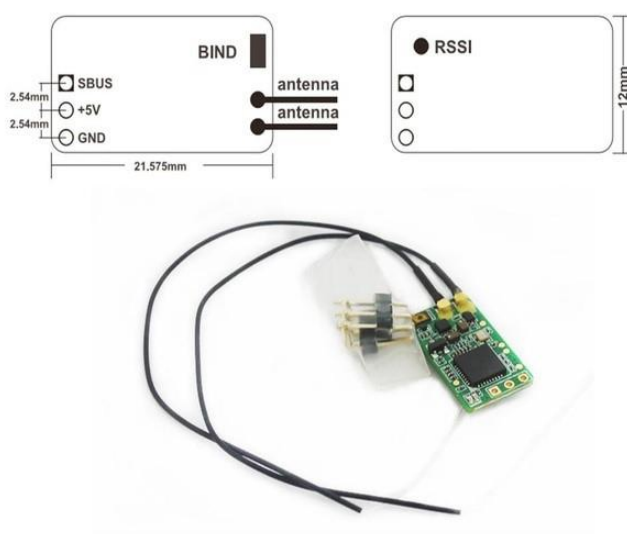
Při komunikaci mezi vysílačem a přijímačem dochází prostřednictvím protokolu TX. Po získání signálu přijímačem, který dále putuje do řídicí jednotky, má na starost protokol RX. Tyto protokoly jsou většinou navrženy dle výrobce vysílače, proto při výběru správného přijímače musíme dbát na správnost protokolu.

Např. standardní TX protokol pro FrSky vysílače je D8, protokol, který musí mít přijímač, aby byly kompatibilní je FPort.

Pokud již máme správný vysílač a přijímač, musí proběhnout tzv. párování. Způsob tohoto párování je u každé vysílačky a přijímače jiný. Standardně jde o zmáčknutí tlačítka na vysílače, která rádio přepne do párovacího módu. Na přijímači najdeme tlačítko, které držíme zmáčknuté a následně zapojíme napájecí baterii, obě zařízení se rozpoznají a dojde ke spárování.

5.2.4 Popis rádiového přijímače

V FPV existuje mnoho typů přijímačů různých velikostí, či typů. Každý přijímač je opatřen anténou, která je vyrobena z koaxiálního kabelu. Přijímač je připájen přímo na řídicí jednotku, která přijímá data získaná z vysílače (viz Obr. 33). Řídicí jednotka poté upravuje otáčky regulátorů pro dosažení co nejlepších požadavků pilota.



Obrázek 33 – přijímač FrSky XM+ se schématem pájení
zdroj: https://www.horusrc.com/media/wysiwyg/frsky_xm_.jpg

SBUS, značí protokol přijímače.

+5 V, značí napájení z baterie.

GND, značí ground (zem).

BIND, značí párovací tlačítko.

Antenna, značí anténní výstup.

5.3 Baterie

Baterie je základní komponentou, která dodává energii všem ostatním částím dronu. Baterie je zpravidla připojena na regulátor kabely AWG s vhodnou koncovkou, kde je její energie rozdělována přímo mezi komponenty dle potřeby. Rozdělujeme dva typy baterií, a to:

- **Lithium-polymerové baterie** – standardní baterie používaná v FPV. LiPo baterie můžeme rozdělit dle množství článků, každý článek je označen „S“ a má voltáž od 3,7 V (vybitý stav) po 4,2 V (plně nabitý stav). Dalším parametrem jsou miliampérhodiny, které udávají kapacitu baterie. Např. baterie s hodnotou 1200 mAh je schopna dodávat proud o 1,2 A. Posledním parametrem LiPo baterie je hodnota „C“, která udává možnou rychlost nabíjení či vybití bez poškození baterie.
- **Lithium-polymerové vysokonapěťové baterie** – jedná se o druhý typ baterií, které mají voltáž na článek od 3,8 V (vybitý stav) po 4,35 V (plně nabitý stav). Mají vyšší napětí nežli u LiPo baterií, proto jsou používány u menších kvadrokoptér pro přídatné napětí, které zvyšuje jejich výkon.

5.3.1 Bezpečnost

LiPo baterie při nesprávném zacházení mohou být extrémně hořlavé. Pokud při balančním nabíjení jeden z článků již nedoručí požadovanou voltáž s ostatními či dochází k „nafukování“ obalu baterie, je třeba baterii přestat používat a ihned ji zlikvidovat. V praxi mnoho pilotů nabíjí baterii ve speciálních obalech, aby nedošlo k případnému poničení okolí (viz Obr. 34). Obecně se doporučuje baterii po max 200 cyklech nabíjení zlikvidovat.











Obrázek 34 – LiPo baterie a ochranný nabíjecí obal

zdroj: <https://learnassets.getfpv.com/learn/wp-content/uploads/2018/01/05181953/5-Lipo-Bag.jpg>

5.3.2 Konektory

Baterie jsou opatřeny různými konektory dle velikosti dronu (viz Obr. 35). Druhým konektorem nacházejícím se na baterii je tzv. balanční konektor. Používá se při balančním nabíjení, které nabíjí všechny články baterie najednou, aby nedošlo k rozdílným hodnotám voltů na každém článku.

Name	Image	Recommended Cells	Common Quadcopter Applications
JST-PH		1S	Micro brushed
JST-XH		1S	Micro brushed
JST		2S-3S	Micro brushless
XT30		3S-4S with capacities less than 800mAh	100-150mm brushless
XT60		3S-6S	220mm brushless
XT90		4S-6S	300mm+ brushless
EC3		2S-4S	250mm brushless (less commonly used than the XT60)
Deans		2S-4S	250mm brushless (less commonly used than the XT60)

Obrázek 35 – konektory baterie, počet článků a základní aplikace
zdroj: <https://learnassets.getfpv.com/learn/wp-content/uploads/2018/01/05181953/4-Connectors-table-1.jpg>




5.4 Vrtule

Poslední částí kvadrokoptéry jsou samotné vrtule, které se rozlišují dle stylu létání, což má velký dopad na ovládání či letové aspekty kvadrokoptéry. V FPV je vrtulí poměrně široká škála a existují různé druhy. Velikost vrtule se odvíjí od rámu a zejména motorů kvadrokoptéry. Zpravidla platí, čím větší vrtule, tím vyšší nátlak na motor. Vrtule jsou nejčastěji vyráběné z plastu či jiných materiálů.

Každá vrtule má na své lopatce označení ve formě čísel, např. 5046, kde 50 značí velikost vrtule v palcích a 46 konstantu stoupání, která udává vzdálenost, jakou je schopna vrtule urazit za jednu otočku. Vrtule s vyšší konstantou stoupání se hodí pro závodní lety, přičemž pro freestyle lety se vyhledávají spíše vrtule s hodnotami nižšími.

Kompletní přehled nejčastěji používaných vrtulí včetně jejich benefitů a využití (viz Tabulka 7).

Tabulka 7 – přehled nejčastěji používaných vrtulí v FPV a jejich benefity, zdroj: autor, obr. [56-58]

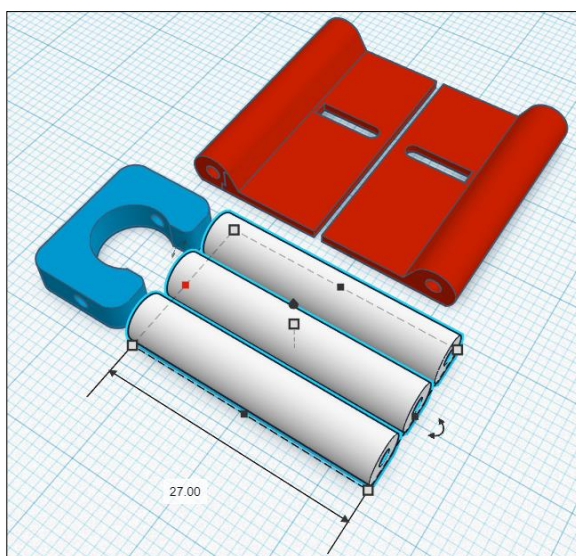
Počet listů vrtule	Benefity	Využití	Fotka
Dvoulisté	<i>Vysoká působnost Menší nátlak na motor</i>	<i>Větší vrtule pro Long-range</i>	
Třilisté	<i>Stabilita Nejpoužívanější</i>	<i>Všechny</i>	
Čtyřlísté	<i>Velká plocha záběru Skvělé ovládání</i>	<i>Freestyle</i>	

6 Praktická část – Technický návrh řešení a postup konstrukce dronu

Předmětem praktické části práce je postupná tvorba a nastavení rentabilní FPV kvadrokoptéry s použitím částí, vytištěných na 3D tiskárně. Velikostně jsem se rozhodl pro konstrukci 3“ kvadrokoptéry z důvodu levnějších komponentů.

6.1 Úprava a tisk částí dronu

Tištěné části kvadrokoptéry (soubory s příponou .stl), byly převzaty od uživatele Flowr z portálu thingiverse.com²². Soubory byly poté upraveny v programu Tinkercad, aby co nejlépe odpovídaly mému konstrukčnímu návrhu kvadrokoptéry. Klíčovou změnou bylo prodloužení spojovacích sloupků z 20 mm na 27 mm (viz Obr. 36). Kompletní přehled 3D vytištěných komponent (viz Příloha 3).

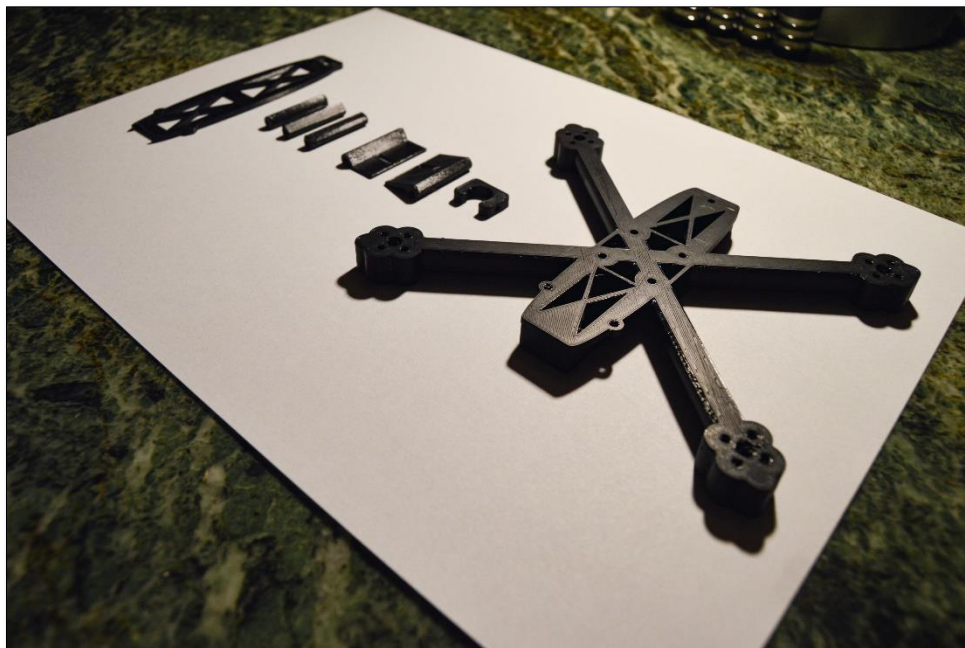


Obrázek 36 – úprava sloupků v Tinkercadu na 27 mm
zdroj: autor

K tisku částí byla využita tiskárna **PRUSA I3 MK3S+**. Při výběru filamentu jsem uvažoval dle funkčních vlastností a vybral jsem PETG z důvodu rentabilnosti a poměrné pevnosti, přesněji tedy **Prusament PETG 1,75mm černá**.

²² <https://www.thingiverse.com/thing:4670110>

Tisk se skládal ze tří částí, které byly vytištěny s 0,15 mm vrstvou. Rám i vrchní díl byly vytištěny se 40% výplní, spojovací sloupky a upevnění kamery z důvodu vyšší odolnosti se 100% výplní. Výsledek tisku (viz Obr. 37).

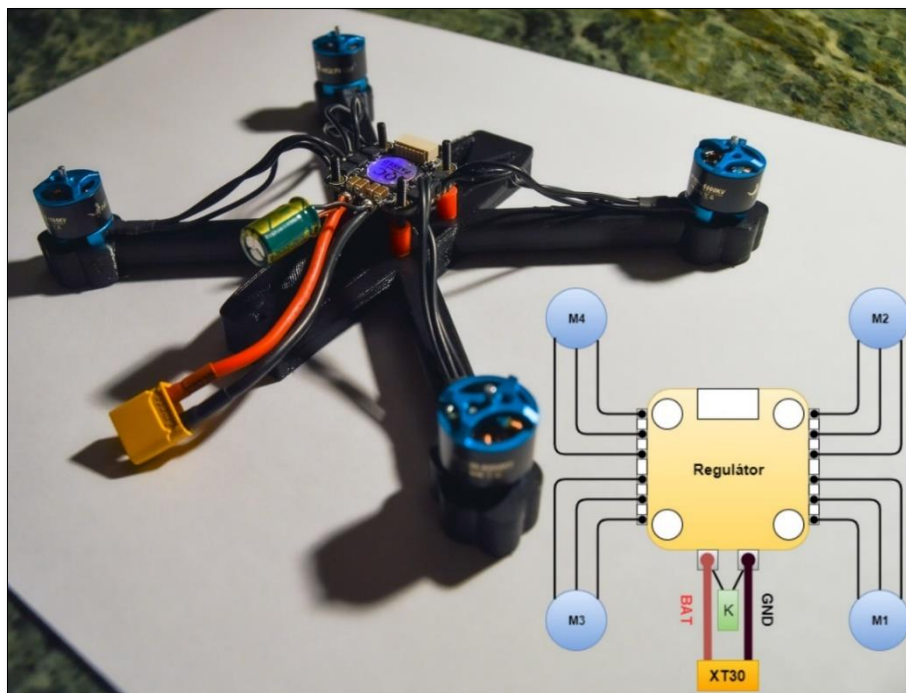


*Obrázek 37 – výsledek tisku
zdroj: autor*

6.2 Instalace regulátoru a motorů

Pro účely této práce byl vybrán regulátor **HGLRC FD13A 4v1**, který je schopen poskytnout až 13A pro vstupní napětí od 2 - 4 článkové baterie. V dolní části regulátoru byl následně napájen 18AWG kabel (červený BAT, černý GND) s XT30 koncovkou pro připojení LiPo baterie. Do stejného spoje byl také připájen 35V/220uF kondenzátor z důvodu eliminace případného rušení ve zdroji napájení.

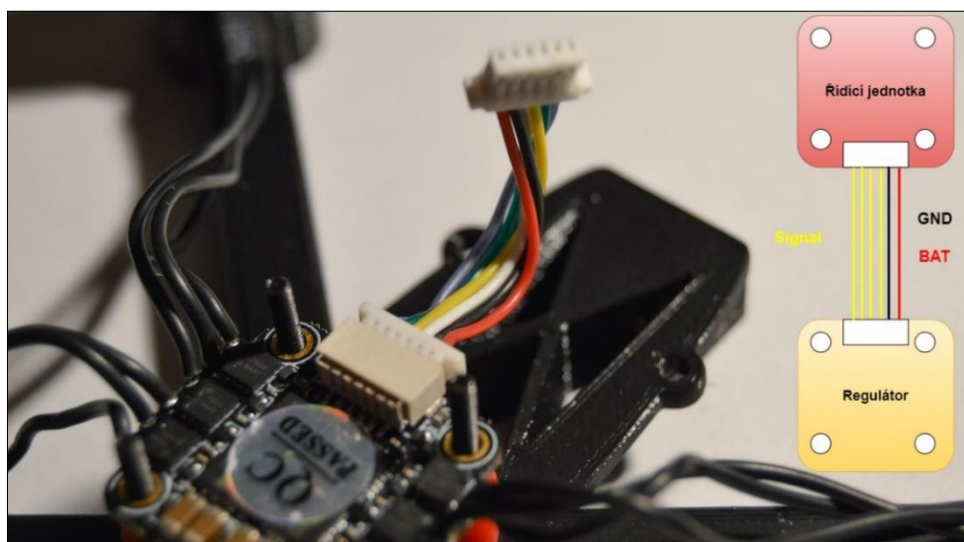
Na základě regulátoru byly zvoleny motory **HGLRC Flame 1106 6000KV**, který pro svůj chod vyžadují 10 – 15A. Každý motor byl připájen třemi 28AWG kabely na regulátor a uchycen na konci každého ramene čtyřmi šrouby typu M2 5 mm. Samotný regulátor byl poté nasazen na čtyři M2 25 mm šrouby a oddělen od rámu gumovými vložkami z důvodu minimalizace vibrací při letu (viz Obr. 38).



Obrázek 38 – připájení motorů, napájení a kondenzátoru se schématem pájení zdroj: autor

6.3 Propojení regulátoru a řídicí jednotky

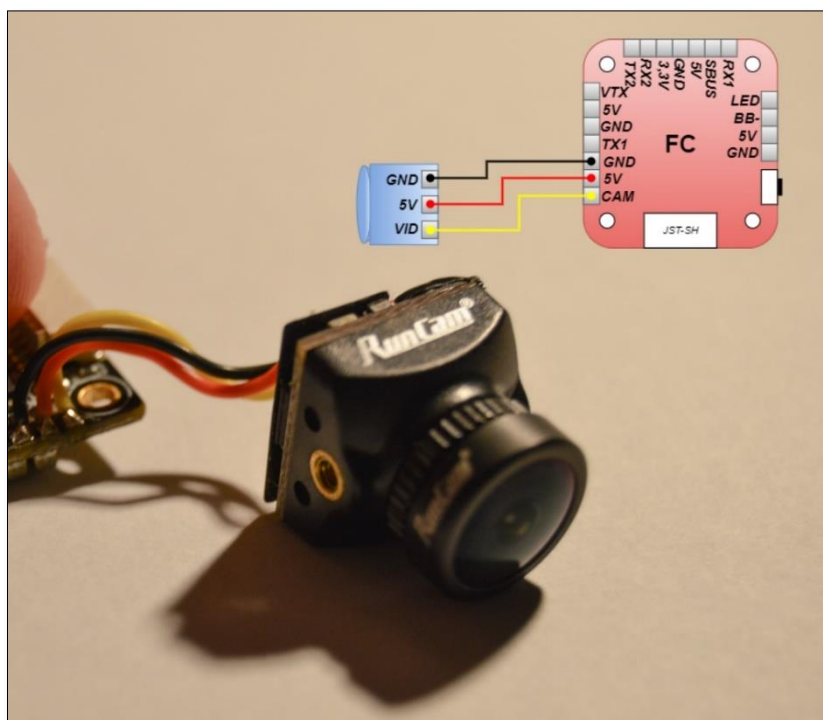
Jako řídicí jednotka byla vybrána **HGLRC FD411** s osazeným procesorem STM32F411CEU6 z důvodu cenové rentability a velikosti. K propojení regulátoru a řídicí jednotky byl použit JST-SH kabel se šesti piny. Tento kabel zajišťuje přenos dat a pokynů mezi regulátorem a řídicí jednotkou (viz Obr. 39).



Obrázek 39 – propojení ESC a FC, JST-SH kabelem se schématem propojení zdroj: autor

6.4 Instalace FPV kamery

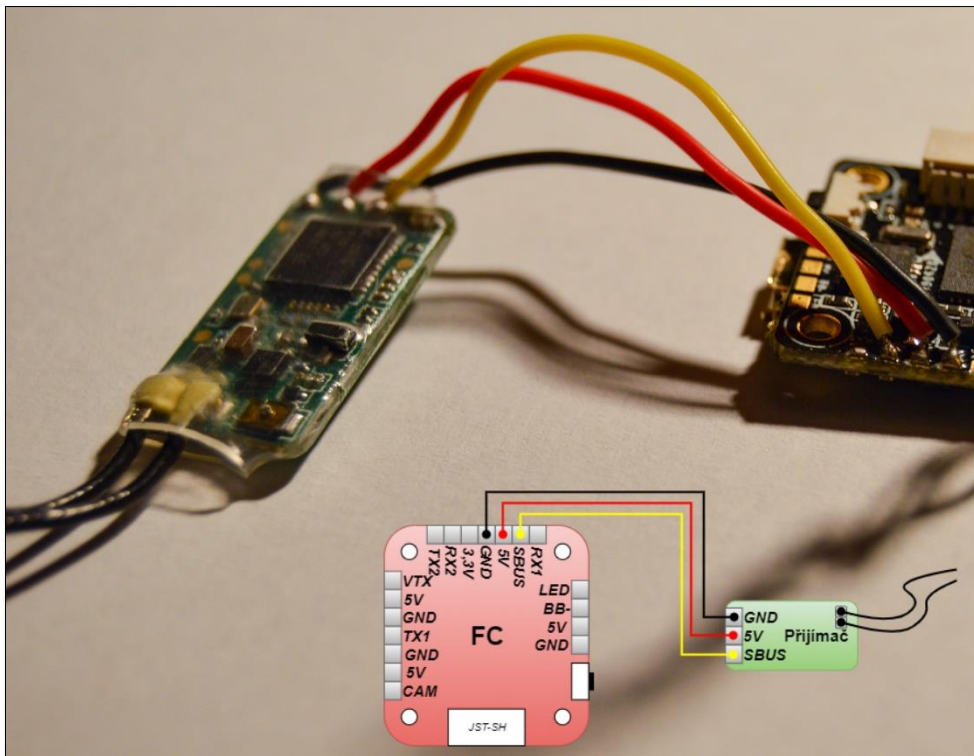
Prvním komponentem připájeným k řídicí jednotce byla FPV kamera **Runcam Nano 2**. Byla vybrána z důvodu nízké ceny a poměrně kvalitního 1/3“ CMOS senzoru. FOV je udáváno až 155°. Kamera obsahuje tři kabely k připájení a to: černý kabel označující **GND**, červený kabel sloužící k napájení **5V**, žlutý kabel sloužící k přenosu videa **VID**. Kabely byly připájeny k příslušným políčkům (viz Obr. 40).



*Obrázek 40 – připájení kamery na řídicí jednotku se schématem pájení
zdroj: autor*

6.5 Instalace přijímače

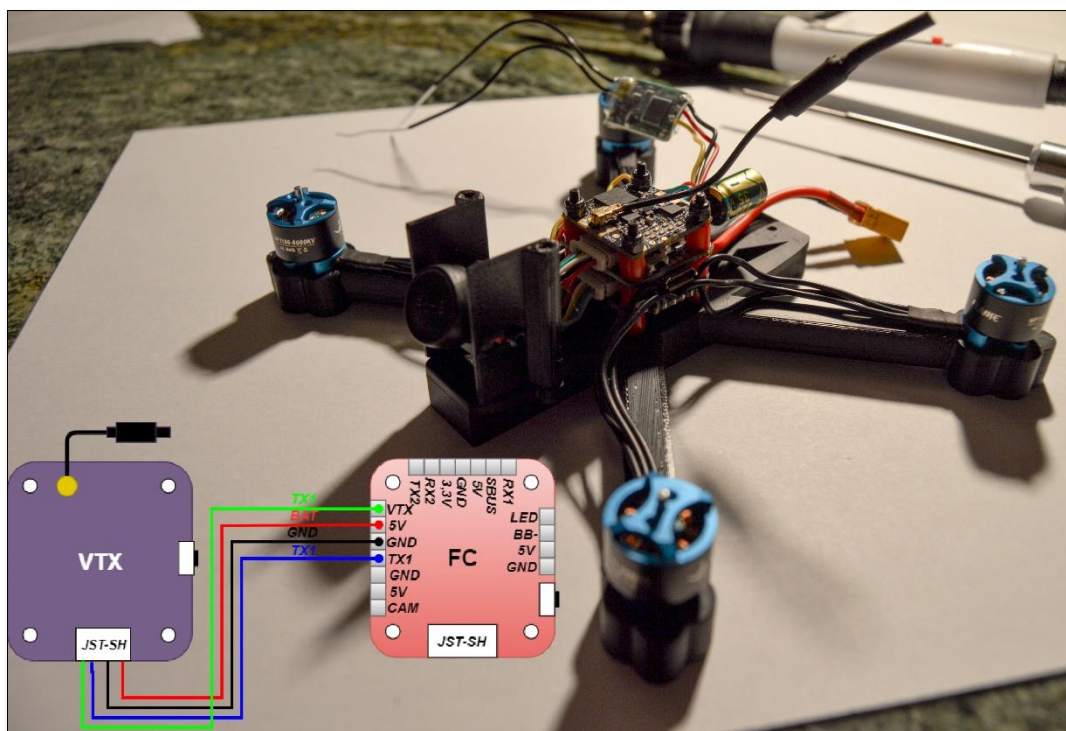
Druhým komponentem připájeným na řídicí jednotku byl přijímač **FrSky XM+**, který byl vybrán z důvodu kompatibility k mému vysílači a na základě nejnižší ceny, dále také obsahuje **16** kanálů SBUS s dosahem vyšším než 1,5 km. Přijímač obsahuje tři kabely k připájení a to: černý kabel označující **GND**, červený kabel sloužící k napájení **5V**, žlutý kabel sloužící k přenosu telemetrie a přijatých pozic páček z rádia do řídicí jednotky SBUS. Kabely byly připájeny k příslušným políčkům (viz Obr. 41).



Obrázek 41 – připájení přijímače XM+ na řídicí jednotku se schématem pájení zdroj: autor

6.6 Instalace video vysílače

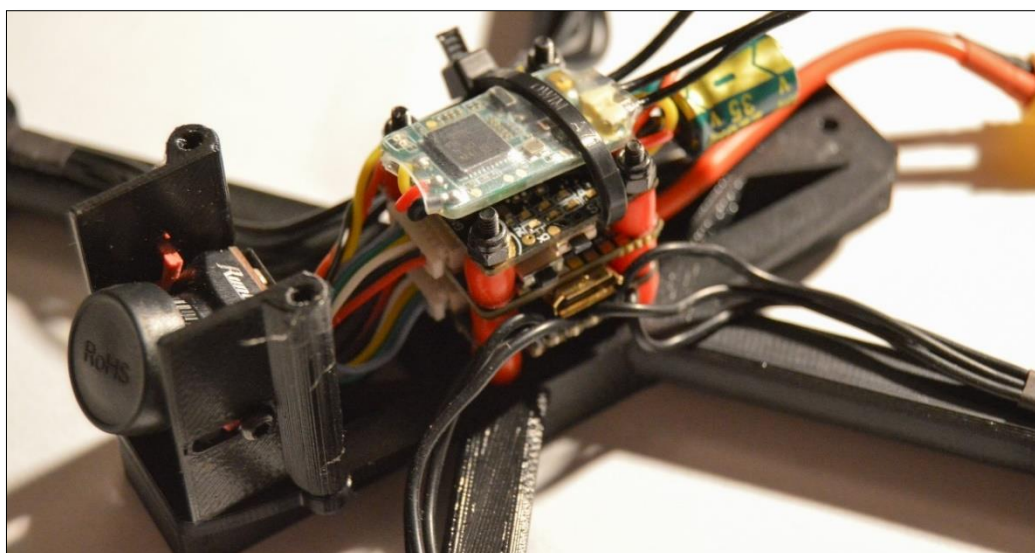
Jako video vysílač byl vybrán **HGLRC FD VTX Micro 400mW** s přepínatelným vysílacím výkonem 25, 100, 200, 400mW. Protokolem obsluhující toto VTX je IRCTramp. Vysílač byl připojen jednostranným JST-SH kabelem se čtyřmi piny do VTX. Na druhém konci byl připájen na řídicí jednotku čtyřmi kabely a to: černý kabel označující **GND**, červený kabel sloužící k napájení **5V**, modrý kabel označující **TX1** port, na kterém protokol komunikuje s řídicí jednotkou, zelený kabel sloužící k přenosu videa z řídicí jednotky do vysílače označený **VID**. Po připojení byla řídicí jednotka oddělena od regulátoru gumovými podložkami a nasazena na šrouby. Kamera byla mezitím upevněna do rámu dvěma postranními a dvěma spodními šrouby pro přichycení do rámu dronu. Mezi kameru a 3D vytištěný postranní držák kamery byly přidány gumičky pro zamezení vibrací kamery při letu. Na video vysílač byla nasazena iFlight IPEX 5.8G anténa s u.FL koncovkou. Nad řídicí jednotku byly přidány další gumové podložky, na které byl umístěn video vysílač. Celá sestava byla takto uchycena čtyřmi M2 maticemi (viz Obr. 42).



Obrázek 42 – připájení VTX a uchycení kamery do rámu, dokončení stacku se schématem zdroj: autor

6.7 Finální úpravy a dokončení konstrukce

Jednou z posledních úprav před dokončení konstrukce bylo připevnění přijímače na video vysílač zip páskou z důvodu omezeného prostoru (viz Obr. 43).



Obrázek 43 – uchycení přijímače zip páskou zdroj: autor

V zadní části rámu byl přišroubován pomocný 3D vytištěný sloupek, na který byla přichycena horní část rámu jedním M2 šroubem vzadu a dvěma v předu nad kamerou. Koaxiální kabely přijímače byly poté propleteny vrchním dílem společně s IPEX anténou z video vysílače a nasunuty do plastových trubiček s gumovým zakončením z důvodu ochrany. Konstrukce byla testována na případné zkraty přes tzv. Smoke stopper²³, ovšem negativně. Po připojení nabité LiPo baterie GNB 3S 550 mAh a nalezení správné frekvence pomocí FPV brýlí Eachine EV800D bylo úspěšně navázáno FPV video připojení na frekvenci 5658, pásmo RACEBAND, kanál 1 (viz Obr. 44).



Obrázek 44 – test FPV videopřenosu
zdroj: autor

Veškeré pájecí práce byly provedeny 80W mikropájkou a TBS cínem s poměrem 60/40 (cín/olovo), nejčastěji při teplotě 400 – 420 °C.

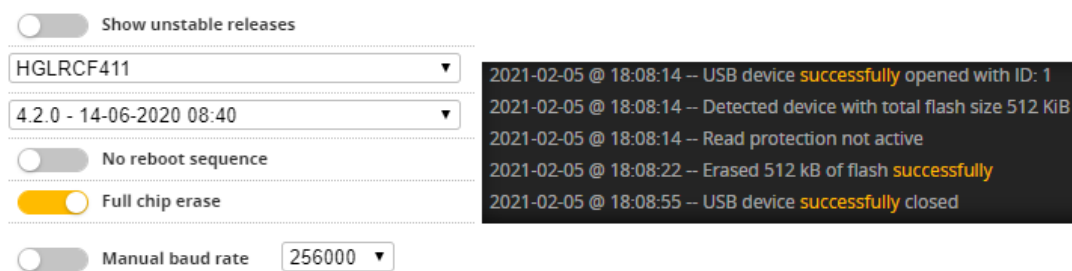
²³ **Smoke stopper** – zařízení, zabraňující shoření komponent při případném zkratu

7 Praktická část – Implementace řešení a testy funkčních parametrů

Předmětem této části práce je připojení kvadrokoptéry k PC pomocí USB a nastavování řídicí jednotky s použitím software Betaflight konfigurátor, který obsahuje grafickou i CLI část. Většina nastavení probíhala přes **CLI konzoli** a následně byla verifikována pomocí části grafické. Nastavení řídicí jednotky je klíčovým krokem, bez kterého by kvadrokoptéra nebyla schopna letu.

7.1 Připojení kvadrokoptéry a přepis firmware

Pro připojení kvadrokoptéry k PC slouží microUSB port umístěný na levé straně řídicí jednotky. K rozeznání počítačem musely být nainstalovány ovladače STM32 a CP210x. Po připojení a spuštění konfigurátoru se v pravém horním rohu zobrazil sériový port, na kterém řídicí jednotka s PC komunikuje, v mém případě COM3, společně s tlačítkem pro připojení, vedle kterého se nachází Update Firmware. V této funkci bylo nutné vyplnit typ řídicí jednotky, což v mém případě bylo HGLRCF411, dále verzi k nahrání, 4.2.0, společně s potvrzením smazání celého čipu před přepisem (viz Obr. 45). Tímto byla řídicí jednotka přepsána novější verzí.



Obrázek 45 – firmware flash a výpis CLI o úspěšném přepisu
zdroj: autor

7.2 Obecná konfigurace v CLI

Prvními příkazy v CLI bylo nastaveno všeobecné chování kvadrokoptéry, byly použity příkazy:

```
# master
set acc_calibration = 21,-8,309,1 //kalibrace akcelerometru (viz Obr. 46)
set name = Alpha //nastavení jména kvadrokoptéry
set motor_pwm_protocol = DSHOT600 //určení protokolu motorů
```



Obrázek 46 – kalibrace gyroskopu a akcelerometru řídicí jednotky
zdroj: autor

set small_angle = 180 //zamezuje roztočení motorů ve svislé pozici
set serialrx_provider = SBUS //nastavení protokolu na přijímači XM+

Následně byly nastaveny funkce:

```
# feature
feature -OSD //povolení OnScreenDisplay
feature -AIRMODE //povolení permanentního acro módu.
feature -DYNAMIC_FILTER //filtrování šumu z gyroskopu
feature TELEMETRY //povolení odesílání telemetrie
```

7.3 Nastavení portů komunikace

Porty komunikace se využívají pro tok dat, fungují například jako USB. V kap. 7.6 byl video vysílač napájen na TX1, což značí UART1 v konfiguraci. V konfigurátoru byl tedy UART1 nastaven pro VTX (viz Obr. 47).

Identifier	Configuration/MSP	Peripherals
USB VCP	<input checked="" type="checkbox"/> 115200 ▼	Disabled ▼ AUTO ▼
UART1	<input type="checkbox"/> 115200 ▼	VTX (IRC Tran ▼ AUTO ▼
UART2	<input type="checkbox"/> 115200 ▼	Disabled ▼ AUTO ▼

Obrázek 47 – nastavení toku dat na VTX přes UART1
zdroj: autor

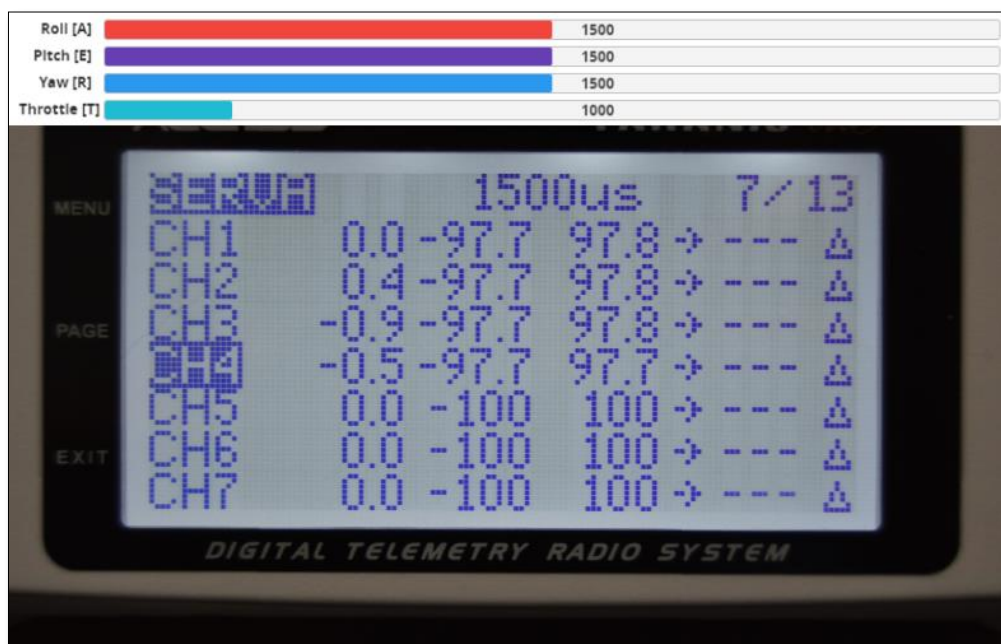
7.4 Mapování kanálů vysílače

Kvadrokoptéra pro svůj pohyb přijímá vysílání z vysílačky na čtyřech kanálech, nejčastěji T – kanál 1, A – kanál 2, E – kanál 3, R – kanál 4, které musí být správně namapovány. Pokud dojde k zaměnění kanálů, nebude možné dron ovládat.

Byly použity příkazy:

```
# map
map TAER1234 //Throttle, Roll, Pitch, Yaw (levá páčka TA, pravá ER)
# master
set min_check = 1010 //minimální pozice páčky
set max_check = 1990 //maximální pozice páčky
```

Dále musely být zkalibrovány páčky mezi hodnotami 1000 a 2000 pro každý kanál vysílače (viz Obr. 48).



Obrázek 48 – kalibrace kanálů vysílače, středová hodnota
zdroj: autor

7.5 Nastavení AUX módů

AUX módy jsou jednotlivé kanály vysílače. Nejčastěji jsou mapovány na různé switche a tlačítka na vysílače. Módy slouží k určení povelů dané řídicí jednotce, čímž je možné při letu např. vypínat a zapínat motory, přepínat letové režimy atd.

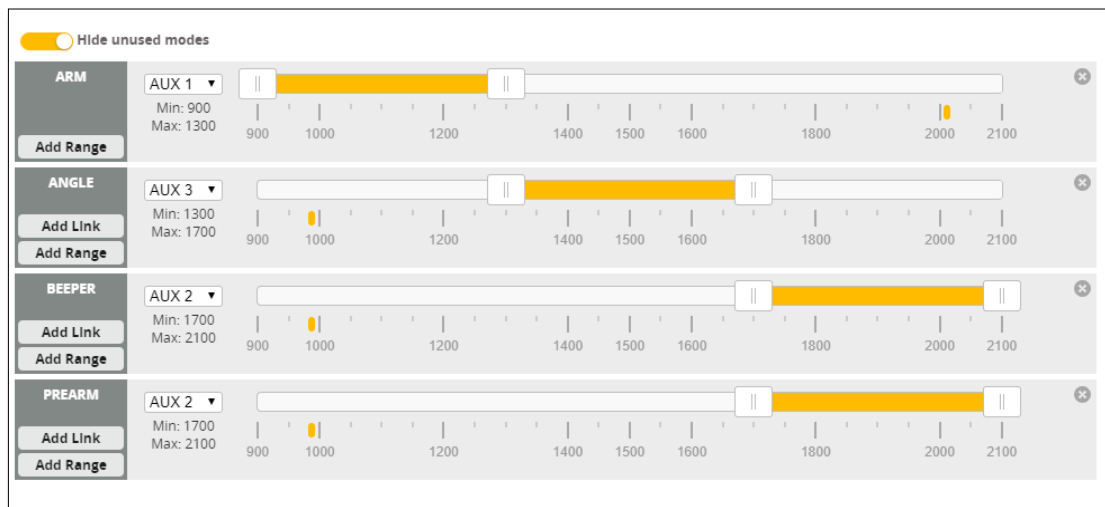
Pro nastavení byly použity příkazy:

```
# aux
aux 0 0 0 900 1300 0 0 //nastavení startu (ARM) kvadrokoptéry
aux 1 1 2 1300 1700 0 0 //letový režim angle
aux 2 13 1 1700 2100 0 0 //beeper (pro snazší nález dronu při ztrátě spojení)
aux 3 36 1 1700 2100 0 0 //opatření před nečekaným ARMem dronu, (prearm)
```

Syntaxe těchto příkazů je následující, např.:

```
aux 1 1 2 1300 1700 0 0
aux číslo idPovelu kanálAUX minHodnota maxHodnota 0 0
```

Jak je již patrné aux 2 a 3, byly nadefinovány na stejném kanálu č. 1. Pokud tedy bude kanál 1 spuštěn, provedou se oba povely paralelně, tzn. dron bude pípat, čímž bude dávat signál o případném startu a zároveň bude možné spustit motory. Maximální a minimální hodnota udávají pozici aktivní spouště daného AUX módu. Pokud se hodnota přepínače nachází mezi minimální a maximální hodnotou, je AUX mód aktivní (viz Obr. 49).



Obrázek 49 – nastavení AUX módů
zdroj: autor

7.6 Kalibrace PID a Rate profilů

PID a Rate hodnoty byly kalibrovány na základě maximalizace letových dovedností a urychlení odezvy ovládání. Po mnoha letových testech a zkouškách různých hodnot jsem se rozhodl využít hodnoty profesionálního freestyle pilota s názvem LeDrib²⁴, které vykazovaly nejlepší výsledky. Pro nastavení **profilu PID** byly použity příkazy:

```
# profile 0 //označení prvního profilu
set p_pitch = 58 //proporcionální pitch
set i_pitch = 63 //integrální pitch
set d_pitch = 37 //maximální hodnota derivačního pitch
set f_pitch = 60 //hodnota predikce algoritmu PID pitch
set p_roll = 53 //proporcionální roll
set i_roll = 59 //integrální roll
set d_roll = 34 //maximální hodnota derivačního roll
set f_roll = 57 //hodnota predikce algoritmu PID roll
set p_yaw = 29 //proporcionální yaw
set i_yaw = 63 //integrální yaw
set f_yaw = 61 //hodnota predikce algoritmu PID yaw
set d_min_roll = 20 //minimální hodnota derivačního roll
set d_min_pitch = 22 //minimální hodnota derivačního pitch
```

Výsledná PID tabulka (viz Obr. 50).

	Proportional	Integral	D Max	D Min	Feedforward
Basic/Acro					
ROLL	53	59	34	20	57
PITCH	58	63	37	22	60
YAW	29	63	0	0	61

Note: Sliders are disabled because values were changed manually. Clicking the 'Enable Sliders' button will activate them again. This will reset the values and any unsaved changes will be lost.

Enable Sliders

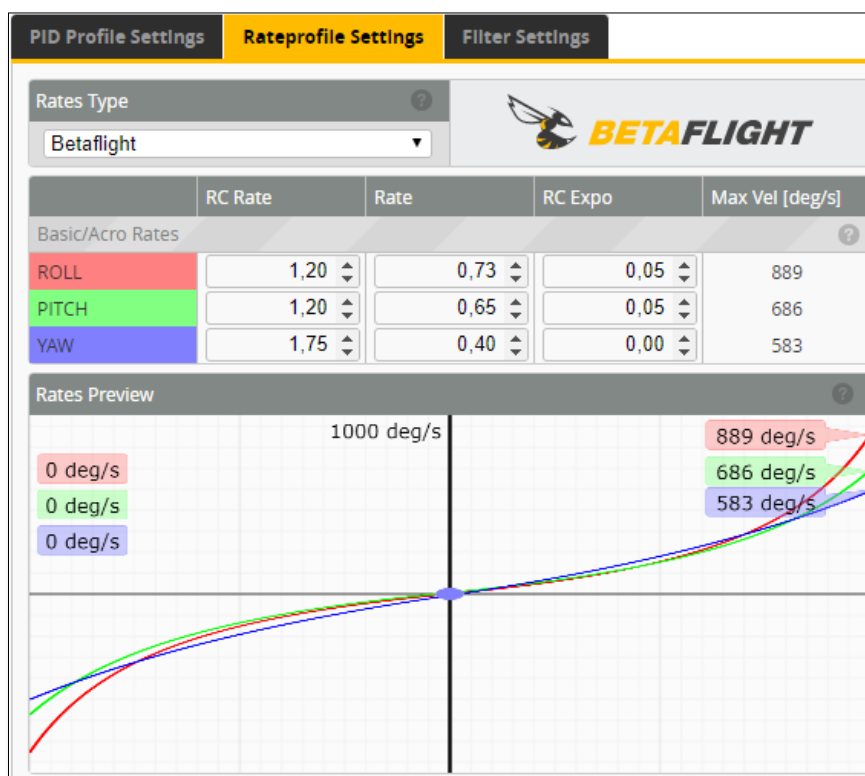
Obrázek 50 – vzniklá PID tabulka
zdroj: autor

²⁴ <https://rotorriot.com/products/le-dribs-tune>
<https://rotorriot.com/products/le-dribs-rates>

Pro nastavení rychlosti odezvy a sensitivity ovládání dronu (Rate hodnoty), byly použity příkazy:

```
# rateprofile 0 //označení prvního rate-profilu
set roll_rc_rate = 120 //sensitivity páček pro roll
set pitch_rc_rate = 120 //sensitivity páček pro pitch
set yaw_rc_rate = 175 //sensitivity páček pro yaw
set roll_expo = 5 //redukce sensitivity kolem středu páček pro roll
set pitch_expo = 5 //redukce sensitivity kolem středu páček pro pitch
set roll_srate = 73 //maximální provedený úhel za sekundu pro roll
set pitch_srate = 65 //maximální provedený úhel za sekundu pro pitch
set yaw_srate = 40 //maximální provedený úhel za sekundu pro yaw
set tpa_breakpoint = 1250 //hodnota určující počátek filtrování vibrací
```

Výsledná tabulka Rate hodnot (viz Obr. 51).



Obrázek 51 – vyplněná rate tabulka s úhlovým grafem
zdroj: autor

Z grafu je již patrné, že nejvyšší citlivost bude mít osa roll, naopak nejnižší citlivost bude mít osa yaw. Hodnoty jsou rovnovážně zvoleny, proto graf prochází středem daného grafu. Posledním nastavením je tzv. filtrování, nicméně pro účely práce je toto nastavení nevýznamné z důvodu násobiče a případného spálení komponent. Jedná se o činnost podobnou přetaktování procesoru počítače.

7.7 Konfigurace video vysílače a OSD

Pro konfiguraci video vysílače musela být nejprve nahrána tabulka evropských frekvencí přímo do konfigurátoru příkazem:

```
# vthtable //označení konfigurace tabulky video vysílače
vthtable bands 5 //alokace počtu použitých pásem
vthtable channels 8 //počet kanálů každého pásma
vthtable band 1 BOSCAM_A A CUSTOM 5865 5845 5825 5805 5785 5765 5745 0
vthtable band 2 BOSCAM_B B CUSTOM 5733 5752 5771 5790 5809 5828 5847 5866
vthtable band 3 FATSHARK F CUSTOM 5740 5760 5780 5800 5820 5840 5860 0
vthtable band 4 RACEBAND R CUSTOM 0 0 5732 5769 5806 5843 0 0
vthtable band 5 IMD6 I CUSTOM 5732 5765 5828 5840 5866 5740 0 0
vthtable powerlevels 4 //počet možných úrovní síly signálu
vthtable powervalues 0 1 2 3 //přepínatelné hodnoty síly signálu
vthtable powerlabels 25 100 200 400 //hodnota vysílaného signálu mW daného VTX
```

Dále bylo VTX nakonfigurováno na vysílání na frekvenci 5732, pásma 4 – RACEBAND, kanál 3 a vysílací síle 0, což odpovídá 25 mW. Byly použity příkazy:

```
# master
set vtx_band = 4 //pásma čtyři
set vtx_channel = 3 //kanál tři
set vtx_power = 0 //vysílací síla 0 = 25 mW
set vtx_low_power_disarm = UNTIL_FIRST_ARM //vypnutí při vybité baterii
set vtx_freq = 5732 //frekvence 5732
```

Výsledkem této konfigurace bylo vzniknutí VTX tabulky společně s aktuálně nastavenými hodnotami (viz Obr. 52).

Name	Letter	1	2	3	4	5	6	7	8	
BOSCAM_A	A	5865	5845	5825	5805	5785	5765	5745	0	Band 1
BOSCAM_B	B	5733	5752	5771	5790	5809	5828	5847	5866	Band 2
FATSHARK	F	5740	5760	5780	5800	5820	5840	5860	0	Band 3
RACEBAND	R	0	0	5732	5769	5806	5843	0	0	Band 4
IMD6	I	5732	5765	5828	5840	5866	5740	0	0	Band 5

Number of power levels: 4

1	2	3	4	Value
0	1	2	3	
25	100	200	600	Label

Obrázek 52 – tabulka frekvencí
zdroj: autor

OSD bylo nakonfigurováno již pomocí grafického rozhraní konfigurátoru, přičemž byly na obrazovku vybrány pouze nejdůležitější hodnoty a rozmístění bylo voleno dle osobních preferencí (viz Obr. 53). Jedná se o NTSC video kodek.



Obrázek 53 – náhled rozmístění elementů na OSD, vysvětlivky: autor zdroj: autor

7.8 Nastavení failsafe

Pro případ ztráty komunikace vysílače a přijímače byl nakonfigurován failsafe pro etapu 1 a etapu 2 byly použity příkazy:

```
set failsafe_switch_mode = STAGE1 //etapa 1 po výpadku signálu  
set failsafe_throttle_low_delay = 100 //etapa 2 po ztrátě signálu disarm  
set failsafe_procedure = DROP //etapa 2 procedura nastavena na volný pád
```

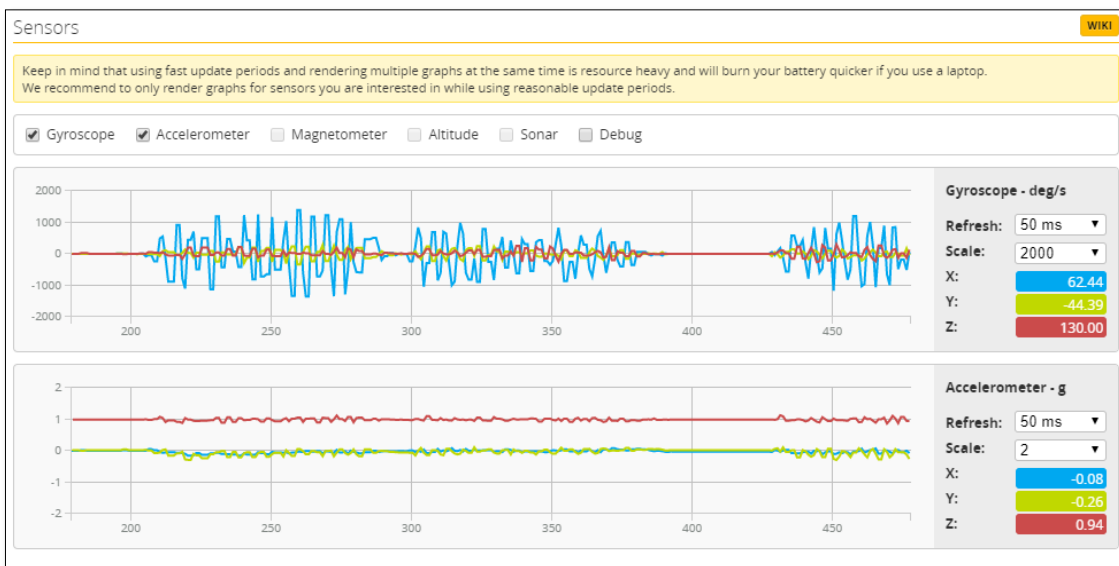
Kvadrokoptéra byla tímto nastavena na vypnutí motorů v případě ztráty signálu bez pokusu o navázání nového spojení, což by mělo za následek volný pád na zem (viz Obr. 54).



Obrázek 54 – nastavení druhé etapy failsafe na pád zdroj: autor

7.9 Kontrola senzorů a párování s vysílačem

Předmětem finální kontroly byly senzory řídicí jednotky a jejich správné fungování. Při pohybu kvadrokoptérou v osách X, Y, Z gyroskop i akcelerometr vykazoval správné hodnoty vychýlení dané osy ve stupních (viz Obr. 55).



Obrázek 55 – graf fungování gyroskopu a akcelerometru
zdroj: autor

Dále byl zkontrolován správný směr rotace jednotlivých motorů, které se točily překvapivě správně (Motor 1, 4 – po směru hodinových ručiček, Motor 2, 3 – proti směru hodinových ručiček). Tím pádem nebylo proto nutné použít software BL_HeliSuite32 na změnu směru otáčení motoru.

Posledním úkonem bylo párování vysílače a přijímače, které se nepodařilo uskutečnit ihned na poprvé. XM+ přijímač byl tedy z řídicí desky odpájen a připájen k servokonektoru, který byl zapojen do vysílače. Do PC byl stažen nový evropský firmware²⁵ pro XM+ přijímač, který byl přes USB nahrán na paměťovou kartu vysílače, spuštěn a nahrán do XM+ přijímače, čímž přepsal stávající firmware (viz Obr. 56).

²⁵ <https://www.frsky-rc.com/xm-plus-mini-sbus-non-telemetry-full-range/>



Obrázek 56 – zapisování XM+_ACCST_2.1.2_LBT_RSSI16 firmwaru do přijímače
zdroj: autor

Ihned po zápisu byl přijímač připájen zpět na řídicí jednotku a proběhl pokus o párování. Na vysílači byl vytvořen nový objekt, ve kterém byl zapnut párovací mód pro ACCST D16. Na přijímači bylo stisknuto párovací tlačítko společně se zapojením plně nabitě baterie, po pěti vteřinách přijímač zablikal zeleně, čímž bylo potvrzeno úspěšné párování.

Tímto byla kvadrokoptéra plně nakonfigurována, zkalibrována a připravena k letu.

8 Praktická část – Analýza nákladů na konstrukci dronu, srovnání existujících řešení

Předmětem této části práce je analyzovat náklady spojené s konstrukcí vlastního dronu, který je poté porovnáván s třemi již existujícími (Low, Middle, High) cost řešeními v poměru cena/výkon. Součástky dronu byly vybírány na základě rentability i kvality jejich zpracování.

8.1 Analýza nákladů na konstrukci kvadroptéry

Podrobný rozbor cen jednotlivých součástek a příslušenství se zdroji (viz Tabulka 8, 9).

Tabulka 8 – ceník nákladů na konstrukci kvadroptéry, zdroj: autor

<i>Název součástky</i>	<i>Typ</i>	<i>Počet</i>	<i>Zdroj</i>	<i>Cena v Kč</i>
Základní části kvadroptéry				
Motor	HF1106 6000KV	4	https://www.rotorama.cz/motory/hglrc-flame-1106-6000kv	1076
Regulátor	HGLRC FD13A	1	https://www.getfpv.com/hglrc-forward-fd13a-4-in-1-bl-s-2-4s-16x16-esc.html	441
Řídící jednotka	HGLRC FD411	1	https://www.rotorama.cz/ridici-jednotky/hglrc-fd411	479
Video vysílač	HGLRC FD VTX Micro	1	https://www.rotorama.cz/fpv/hglrc-hglrc-fd-vtx-micro-16x16mm-400mw	499
Kamera	RunCam Nano 2	1	https://www.rotorama.cz/fpv/runcam-nano-2	499
Přijímač	FrSky XM+	1	https://www.getfpv.com/frsky-xm-sbus-mini-receiver.html	309
Rám	3D tisk	1	Nylon/PETG materiál	0
Vrtule	Gemfan 2540	1	https://www.rotorama.cz/vrtule/gemfan-2540-3-flash	79
Kabel k baterii	XT30 18AWG	1	https://www.lukydron.cz/prislusenstvi/xt30-s-kabelem-18awg--male/	39
Kondenzátor	Hangxin 220uF, 35V	1	https://www.aliexpress.com/item/4000640713255.html	62
Cena celkem: 3 483 Kč				

Tabulka 9 – ceník příslušenství, zdroj: autor

Název součástky	Typ	Počet	Zdroj	Cena v Kč
Příslušenství				
Vysílač	<i>Taranis X9 Lite</i>	1	https://rcstudio.cz/cs/taranis-x9-lite/725-frsky-taranis-x9-lite-bily-m2.html	2591
Brýle	<i>Eachine EV800D</i>	1	<i>bazarové, včetně antén</i>	1500
Baterie	<i>GNB 3S 550 mAh</i>	1	https://www.fpv-skladem.cz/baterie/gaoneng-gnb-11-1v-550mah/	323
Nabíječka	<i>Imax B6AC 80W</i>	1	https://www.bighobby.cz/imax-b6ac-80w--vestaveny-zdroj--modry/	849
Pájka	<i>80W Soldering Iron</i>	1	https://www.aliexpress.com/item/32903921345.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.68ed4c4dY6s9E1	184
Cín	<i>TBS cín</i>	1	https://www.koptery.cz/doplanky/tbs-cin-100gr/	269
Šroubováky	<i>Hex, 4 ks</i>	1	https://www.aliexpress.com/item/33039566968.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.68ed4c4dY6s9E1	126
Cena příslušenství celkem: 5 842 Kč				

8.2 Srovnání vlastní kvadrokoptéry s již existujícími 3“ řešeními

Pro porovnání s vlastní kvadrokoptérou byly vybrány tato tři již existující 3“ řešení: Diatone GTB 339 Cube²⁶ (Low-cost), Holybro Kopis Mini²⁷ (Middle-cost), Lumenier QAV-CINE²⁸ (High-cost) (viz Obr. 57).



Obrázek 57 – existující řešení, upraveno: autor
zdroj: [59-61]

Kompletní porovnání kvadrokoptér a jejich částí bylo provedeno ve čtyřech stupních porovnání a označeno barvami (viz Tabulka 10).

Dostatečné řešení

Nejefektivnější poměr cena/výkon (rentabilní)

Střední cesta

Drahé ale vysoce kvalitní řešení

²⁶ <https://www.getfpv.com/diatone-gtb-339-cube-fpv-racing-drone-pnp.html>

²⁷ <https://www.getfpv.com/holybro-kopis-mini-3-drone-pnp-analog-vtx-version.html>

²⁸ <https://www.getfpv.com/lumenier-qav-cine-3-quadcopter-rtf-w-dji-digital-hd-fpv-system.html>

Tabulka 10 – porovnání součástek dronů na základě kvality a ceny, zdroj: autor

Porovnání kvadrokoptér				
Název součástky	Vlastní řešení	Low-cost	Middle-cost	High-cost
		Diatone GTB 339 Cube	Holybro Kopis Mini	Lumenier QAV-CINE
Motor	HF1106 6000KV	Mamba 1105 5500KV	F1507 KV3800	Lumenier 1507 3500KV
Regulátor	HGLRC FD13A	Mamba 134 Nano	Tekko32 F3 4in1 45A ESC	Lumenier Micro Razor 4in1 F3 30A
Řídící jednotka	HGLRC FD411	Mamba F411 Nano	Kakute F7 V1.5	Lumenier LUX MINI F7
Video vysílač	HGLRC FD VTX Micro	TBS Unify Pro32 Nano	Atlatl HV V2	DJI Digital HD FPV System
Kamera	RunCam Nano 2	RunCam Nano 2	Foxeer Micro Razer	DJI Digital HD FPV System
Přijímač	FrSky XM+	Bez přijímače (+419 Kč)	Bez přijímače (+419 Kč)	Vestavěný
Rám	3D tisk	Diatone 339 4 mm CF	3 mm CF	Lumenier QAV-CINE 2,5 mm
Přídavné příslušenství a podrobnosti				
Vrtule	Gemfan 2540	Bez vrtulí (+79 Kč)	T3140	Gemfan 5-Blade
Anténa	IPEX	Copper Dipole	Foxeer Lollipop v3	DJI FPV Air Unit Antenna
Váha bez baterie	68 g	58 g	173 g	360 g
Možnost akční kamery	X	X	X	☑
Uživatelská skupina	Začátečník	Začátečník	Pokročilý	Profesionál
Styl letu	Freestyle	Race	Freestyle	Cinematic / Freestyle
Cena v Kč	3 483	3 614	5857	10 168

Jak je již patrné z tabulky, mé řešení je cenově nejefektivnější. Největší mírou úspory měl samotný 3D vytištěný rám, který je dostatečným řešením a při volbě správného filamentu má i velkou pevnost. Moji kvadrokoptéru bych doporučil začátečníkům, nebo pouze lidem, kteří chtějí FPV drony vyzkoušet.

Low-cost sestava je osazena silnými, ačkoli levnými a nekvalitními motory s vysokou mírou rychlostní složky pro race styl letu. Oproti mému řešení má také

kvalitnější VTX, bohužel vysoce nekvalitní řídicí jednotku a regulátor. Je také dodávána bez přijímače a má příliš silný karbonový rám.

Middle-cost řešení se skládá z již kvalitnějších, ale i cenově dražších komponent, které jsou lepší než u mého dronu, nicméně za téměř dvojnásobnou cenu. Tato kvadrokoptéra se hodí spíše pro freestyle létání z důvodu vyšší hmotnosti a doporučil bych ji pokročilým pilotům.

High-cost řešení o hmotnosti 360 g je určeno pro opravdové profesionály. Tato kvadrokoptéra již dokáže nést akční kameru pro fascinující freestyle videa a je osazena vysoce kvalitními Lumenier komponenty, které patří dnes k těm nejlepším. Společně s DJI FPV systémem je dron schopen přenášet HD video přímo do brýlí. Rám je navržen tak, aby chránil vrtule pro zachycení akčních záběrů i ve stísněném prostředí. Této sestavě se již moje kvadrokoptéra nevyrovná, nicméně cena setu se pohybuje okolo 10 000 Kč bez brýlí. Speciální DJI FPV brýle s vysílačem se pohybují okolo 20 000 Kč.

9 Závěr

Touto bakalářskou prací bylo poukázáno na problematiku dronů všeobecně, od počátku jejich vývoje až po současnost. Další části práce jsou věnovány zejména FPV dronům. Dle mého názoru je informovanost veřejnosti v oblasti FPV dronů minimální, z tohoto důvodu jsem chtěl vytvořit ucelený informační svazek pro všechny zájemce o FPV systémy.

Výstupem z mé práce je rentabilní dron využívající FPV systém, který byl sestaven výhradně s pomocí 3D tištěných součástek. Dle mého názoru se 3D tištěné součástky z **PETG** filamentu ukázaly jako provozuschopné funkční rentabilní řešení. V rámci práce byl vytištěn ještě další rám z **nylonu**, který svojí pevností předčil i rám z PETG. Domnívám se, že v budoucnu drahé karbonové rámy dronů by mohly být nahrazeny 3D tištěnými z důvodu větší úspory peněz a dostatečné pevnosti. Při prvním letu nebylo zpozorováno žádné zvláštní chování dronu, domnívám se, že 3D vytištěné součástky nemají žádný vliv na letovou prezentaci dronu.

Hlavními výhodami mého dronu je rentabilita pořízení, z důvodu absence karbonového rámu. Další výhodou jsou nízké náklady na opravu v případě poničení 3D vytištěných součástek i ostatních komponentů dronu. Díky vybraným motorům, které mají vysokou konstantu zrychlení a to: 6000KV, je schopen dron vyvinout rychlost přes 100 km/h.

Nevýhodou dronu je fakt, že dokáže letět pouhých 3-5 minut v závislosti na využitých motorech, které dokážou vyvinout vyšší tah, nicméně za cenu vyššího příkonu z baterie. Nevýhoda spočívá také v rámu, který je sice poměrně pevný, ale stále nepředčí pevnost karbonu, nicméně se jedná o nejrentabilnější řešení a daný rám se dá stále upravovat v modelovacích programech dle požadavků pilota.

Závěrem bych chtěl uvést, že FPV drony jsou stále ve vývoji a každým rokem výrobci komponentů přichází s novými funkčními řešeními, díky kterým se tyto drony stále vylepšují a přitahují čím dál více lidí. Doufám, že postupem času bude zájem veřejnosti o tyto drony větší.

Pro první let byla použita baterie GNB 3S 550 mAh, která byla přichycena pod rámem a vrtule Gemfan 2540, fotografie z letu (viz Obr. 58 - 64).

Fotografie do praktické části byly pořízeny digitální zrcadlovkou Nikon D3200 a upraveny v Adobe Lightroom. Pro naučení ovládání kvadrokoptéry byl použit simulátor Liftoff.



Obrázek 58 – první let s rámem z PETG
zdroj: autor



Obrázek 59 – druhý let s rámem z Nylonu
zdroj: autor



Obrázek 60 – detailní záběr kvadrokoptéry v letu
zdroj: autor



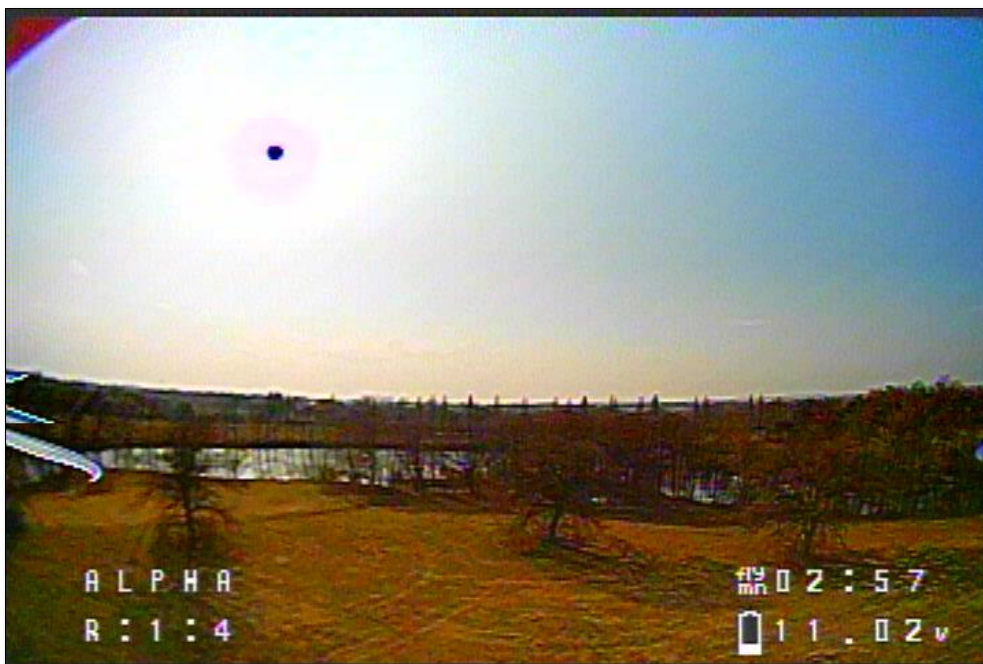
Obrázek 61 – kvadrokoptéra v letu
zdroj: autor



Obrázek 62 – postranní záběr kvadrokoptéry v letu
zdroj: autor



Obrázek 63 – DVR záběr z brýlí při letu s funkčním OSD
zdroj: autor



*Obrázek 64 – DVR záběr
zdroj: autor*

10 Seznam použité literatury

- [1] TICHÝ, Tomáš a KARAS, Jakub. *Drony*. 2016-05-10. V Praze: COMPUTER PRESS, 2016. 264 s. ISBN 978-80-251-4680-4.
- [2] *Bezpilotní letadlo* [online]. 2020 [cit. 02.07.2020]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Bezpilotn%C3%AD_letadlo&oldid=19233438
- [3] *K pojmenování dronu inspiroval trubec* [online]. Olomouc: 2016 [cit. 02.07.2020]. Dostupné z: <https://olomouc.rozhlas.cz/k-pojmenovani-dronu-inspiroval-trubec-6381101>
- [4] DRONPRO. *Existuje zcela autonomní dron? Poznejte 5 stupňů letecké autonomie* [online]. [cit. 03.07.2020]. Dostupné z: <https://dronpro.cz/existuje-zcela-autonomni-dron-poznejte-5-stupnu-letecke-autonomie>
- [5] *Fotogrammetrie* [online]. [cit. 15.07.2020]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Fotogrammetrie#Leteck%C3%A1_fotogrammetrie
- [6] PELIKÁN, Daniel. *Jak vrtulník létá a jak se řídí?* [online]. [cit. 25.7.2020]. Dostupné z: <https://www.pelikandaniel.com/?sec=page&id=5#1>
- [7] *Kvadrokoptéry vs. hexakoptéry vs. oktokoptéry: Pro a proti* [online]. [cit. 26.07.2020]. Dostupné z: <http://www.droncentrum.cz/kvadrokoptery-vs-hexakoptery-vs-oktokoptery-pro-a-proti/>
- [8] *Dron Agras MG-1S: práškovací letadlo pro každého* [online]. [cit. 08.08.2020]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/civilni-drony/item/268-drony-zemedelstvi-agras>
- [9] *Křídlo letadla* [online]. 2020 [cit. 16.09.2020]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=K%C5%99%C3%ADdlo_letadla&oldid=18698335
- [10] DRONPRO. *Pravidla pro létání s drony, aneb co vše s dronem (ne)smíte* [online]. [cit. 27.09.2020]. Dostupné z: <https://dronpro.cz/pravidla-pro-letani-aneb-co-vse-s-dronem-ne-smite>
- [11] *Pravidla pro létání s drony 2021 (LEGISLATIVA)* [online]. Alza.cz. [cit. 14.10.2020]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/pravidla-pro-drony-legislativa#eu-strucne>
- [12] *Rozdělení závodních dronů* [online]. [cit. 04.11.2020]. Dostupné z: <https://live.rotorama.cz/tutorial/drony/>

- [13] ROTORAMA. *Rámy* [online]. [cit. 11.11.2020]. Dostupné z: <https://live.rotorama.cz/tutorial/komponenty/ramy/>
- [14] ROTORAMA. *Regulátory* [online]. [cit. 12.11.2020]. Dostupné z: <https://live.rotorama.cz/tutorial/komponenty/regulatory/>
- [15] ROTORAMA. *Řídící jednotky* [online]. [cit. 18.11.2020]. Dostupné z: <https://live.rotorama.cz/tutorial/komponenty/ridici-jednotky/>
- [16] ROTORAMA. *Ladíme PID* [online]. [cit. 29.11.2020]. Dostupné z: <https://fpvdrone.cz/navody/ladime-pid/>
- [17] ROTORAMA. *Video vysílače* [online]. [cit. 2.12.2020]. Dostupné z: <https://live.rotorama.cz/tutorial/komponenty/video-vysilace/>
- [18] ROTORAMA. *Brýle* [online]. [cit. 3.12.2020]. Dostupné z: <https://live.rotorama.cz/tutorial/komponenty/bryle/>
- [19] ROTORAMA. *Antény* [online]. [cit. 04.01.2021]. Dostupné z: <https://live.rotorama.cz/tutorial/komponenty/anteny/>
- [20] ROTORAMA. *Vrtule* [online]. [cit. 07.01.2021]. Dostupné z: <https://live.rotorama.cz/tutorial/komponenty/vrtule/>
- [21] *Editorial. List of 14 Different Types of Drones Explained with Photos* [online]. [cit. 08.09.2020]. Dostupné z: <https://www.aircraftcompare.com/blog/types-of-drones/>
- [22] *Radio-controlled helicopter*. [online]. 2021 [cit. 19.10.2020]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Radio-controlled_helicopter&oldid=998304197
- [23] *Multirotor* [online]. 2021 [cit. 18.10.2020]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Multirotor&oldid=1011120804>
- [24] *Choosing the Right Mapping Drone for Your Business Part I: Multi-Rotor vs. Fixed Wing Aircraft* [online]. DroneDeploy. [cit. 22.11.2020]. Dostupné z: <https://medium.com/aerial-acuity/choosing-the-right-mapping-drone-for-your-business-part-i-multi-rotor-vs-fixed-wing-aircraft-6ec2d02eff48>

- [25] *HOW DO DRONES WORK? PART 7 - VTOL CONVERTIPLANES* [online]. [cit. 17.10.2020]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/pulse/how-do-drones-work-part-7-vtol-convertiplanes-tiziano-fiorenzani>
- [26] *RQ-4 Global Hawk unmanned aerial system* [online]. [cit. 08.10.2020]. Dostupné z: <https://bit.ly/31EMqIP>
- [27] *MQ-1 Predator unmanned aerial vehicle UAV* [online]. [cit. 11.10.2020]. Dostupné z: <https://cutt.ly/PchXjhq>
- [28] *Zipline - Vital, On-Demand Delivery for the World* [online]. [cit. 13.11.2020]. Dostupné z: <https://flyzipline.com/how-it-works/>
- [29] *The Drone Racing League Is Building an Insane New Sport* [online]. [cit. 15.12.2020]. Dostupné z: <https://time.com/4196142/drone-racing-league/>
- [30] *FPV Beginner Guide: Everything you need to know about Drone Racing* [online]. 2018 [cit. 16.12.2020]. Dostupné z: <https://www.getfpv.com/learn/new-to-fpv/fpv-beginner-guide/>
- [31] *All About a Multirotor FPV Drone Motor* [online]. 2018 [cit. 02.02.2020]. Dostupné z: <https://www.getfpv.com/motors/what-is-a-drone-motor.html>
- [32] *All About a Multirotor FPV Drone Electronic Speed Controller* [online]. GetFPV 2018 [cit. 02.02.2021]. Dostupné z: <https://www.getfpv.com/learn/new-to-fpv/all-about-multirotor-fpv-drone-electronic-speed-controller/>
- [33] LIANG, Oscar. *What is DShot ESC Protocol* [online]. [cit. 02.02.2021]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/dshot/>
- [34] *All About a Multirotor FPV Drone Flight Controller* [online]. 2018 [cit. 04.02.2021]. Dostupné z: <https://www.getfpv.com/learn/new-to-fpv/all-about-multirotor-fpv-drone-flight-controller/>
- [35] LIANG, Oscar. *Acro Mode vs. Self-Level Mode* [online]. 2017 [cit. 07.02.2021]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/rate-acro-horizon-flight-mode-level/>
- [36] *All About a Multirotor Drone FPV Camera* [online]. 2018 [cit. 17.02.2021]. Dostupné z: <https://www.getfpv.com/learn/new-to-fpv/all-about-multirotor-drone-fpv-camera/>

- [37] *All About a Multirotor FPV Drone Radio Transmitter and Receiver* [online]. GetFPV 2018 [cit. 22.02.2021]. Dostupné z: <https://www.getfpv.com/learn/new-to-fpv/all-about-multirotor-fpv-drone-radio-transmitter-and-receiver/>
- [38] *All About a Multirotor FPV Drone Battery* [online]. GetFPV 2018 [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <https://www.getfpv.com/learn/new-to-fpv/all-about-multirotor-fpv-drone-battery/>
- [39] *Doplňk X* [online]. Řízení letového provozu ČR [cit. 02.04.2021]. Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- [40] *DJI Mavic Air* [online]. [cit. 10.10.2020]. Dostupné z: https://www.drone-tech.com/26432-large_default/dji-mavic-air-quadrocopter-fly-more-combo-onyx-black.jpg
- [41] *Dron Yi Erida 3* [online]. [cit. 10.10.2020]. Dostupné z: <https://s23527.pcdn.co/wp-content/uploads/2016/09/yi-erida-3.jpg.optimal.jpg>
- [42] *Hexakoptéra* [online]. [cit. 11.10.2020]. Dostupné z: <https://www.dronesforsalereview.com/wp-content/uploads/2019/06/Best-Hexacopter-Drones.jpg>
- [43] *Oktokoptéra DJI Spreading Wings S1000+* [online]. [cit. 11.10.2020]. Dostupné z: https://static.dji.com/uploads/post_picture/name/1/s1000_01.JPG
- [44] *Pevné křídlo Skywalker YF 1012* [online]. [cit. 12.10.2020]. Dostupné z: https://www.porcupinerc.com/thumbnaill.asp?file=assets/images/skywalker/YF-1012/img_0359.jpg&maxx=900&maxy=0
- [45] *Pevné křídlo Parrot Disco pevné křídlo* [online]. [cit. 12.10.2020]. Dostupné z: <https://cutt.ly/Lcx6dbX>
- [46] *Pevné křídlo Jval Zeta Ultra Z* [online]. [cit. 13.10.2020]. Dostupné z: <https://alexnld.com/wp-content/uploads/2016/12/d741f560-e575-4dfc-8d2b-8bd7b2401743.jpg>
- [47] *VTOL Volantex ranger EX 757-3* [online]. [cit. 13.10.2020]. Dostupné z: <https://discuss.ardupilot.org/uploads/default/original/2X/5/5dcfc278e0966f2207cdad0b6aa54db6284ae76f.jpg>

- [48] *VTOL Vertikul* [online]. [cit. 14.10.2020]. Dostupné z: https://media-exp1.licdn.com/dms/image/C4D12AQE2tEKb2suxw/article-inline_image-shrink_1000_1488/0?e=1602115200&v=beta&t=i97ipTCZUjh5nq3u-4NZyH0rliOKw26g_stG1pI8J9I
- [49] *VTOL VQ100* [online]. [cit. 14.10.2020]. Dostupné z: https://ae01.alicdn.com/kf/HTB16tCDXULrK1Rjy1zbq6AenFXap.jpg_q50.jpg
- [50] *Anténa IPEX* [online]. [cit. 05.02.2021]. Dostupné z: <https://imgaz.staticbg.com/thumb/large/oaupload/ser1/banggood/images/47/F5/aa81275b-6327-461f-a3ae-f49560a4c04a.jpg>
- [51] *Clowerleaf anténa* [online]. [cit. 05.02.2021]. Dostupné z: https://3bn82z33ols32bjthc3grk4d-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2015/02/IMG_4236.jpg
- [52] *Lumier pagoda RHCP* [online]. [cit. 06.02.2021]. Dostupné z: <https://cdn.getfpv.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/l/u/lumenier-pagoda-58ghz-antenna-rhcp.jpg>
- [53] *Foxeer lollipop* [online]. [cit. 07.02.2021]. Dostupné z: <https://imgaz2.staticbg.com/thumb/view/oaupload/banggood/images/31/57/47839052-2d4e-4764-a32b-d99a6c586fc2.png>
- [54] *Helical anténa* [online]. [cit. 08.02.2021]. Dostupné z: <https://imgaz1.staticbg.com/thumb/large/upload/2014/10/SKU172464-3.jpg>
- [55] *Patch RHCP* [online]. [cit. 09.02.2021]. Dostupné z: <https://cdn.ecommercedns.uk/files/8/219978/4/2621934/menace-rc-invader-patch-rhcp.jpg>
- [56] *Dvoulisté vrtule* [online]. [cit. 15.02.2021]. Dostupné z: https://profimodel.cz/1617384-large_default/dvouliste-vrtule-5x45-par-cwccw-cervene.jpg
- [57] *Třílisté vrtule Gemfan* [online]. [cit. 18.02.2021]. Dostupné z: <https://i.pinimg.com/564x/a4/1c/89/a41c89d7e4f9a0677abae9a30bbd9155.jpg>
- [58] *Čtyřlísté vrtule* [online]. [cit. 20.02.2021]. Dostupné z: <https://imgaz2.staticbg.com/thumb/view/oaupload/banggood/images/84/A4/5f9435ff-2326-4408-af81-750ae96ed260.jpg>

- [59] *Diatone GTB 339 Cube* [online]. [cit. 10.03.2021]. Dostupné z: <https://cdn.getfpv.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/e/z/ezgif-3-4778754c8d17.jpg>
- [60] *Holybro Kopis Mini* [online]. [cit. 10.03.2021]. Dostupné z: <https://cdn.getfpv.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/h/o/holybro-kopis-mini-3-drone---pnp.jpg>
- [61] *Lumenier QAV-CINE* [online]. [cit. 10.03.2021]. Dostupné z: <https://cdn.getfpv.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/l/u/lumenier-qav-cine-3--quadcopter-rtf-dji-digital-hd-fpv-system.jpg>

11 Přílohy

Příloha 1 – Doplněk X [39]

Příloha 2 – Tabulka kategorie Open [11]

Příloha 3 – Technická specifikace 3D vytištěných komponent

ČR:

DOPLNĚK X – BEZPILOTNÍ SYSTÉMY

(Poznámka: viz Hlava 3, ust. 3.1.9 tohoto předpisu)

1. Definice

Výrazy použité v tomto doplňku mají následující význam:

Autonomní letadlo

Bezpilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení letu.

Bezpilotní letadlo (UA)

Letadlo určené k provozu bez pilota na palubě.

Poznámka: V mezinárodním kontextu se jedná o nadřazenou kategorii dálkově řízených letadel, autonomních letadel i modelů letadel; pro účely tohoto doplňku se bezpilotním letadlem rozumí všechna bezpilotní letadla kromě modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 25 kg.

Bezpilotní systém (UAS)

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

Model letadla

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

2. Rozsah působnosti

2.1 Tento doplněk stanovuje závazné národní požadavky na projektování, výrobu, údržbu, změny a provoz bezpilotních systémů splňujících kritéria přílohy II nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008 v platném znění a je doporučeným postupem pro provoz modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 25 kg.

2.2 Odchylně od ust. 2.1 se ust. 7, Prostory, použije i pro modely letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 25 kg.

Poznámka 1: Pravidla pro provoz volných balónů bez pilota na palubě se zátěží jsou uvedena v Hlavě 3

a dodatku 5 tohoto předpisu. Pravidla pro provoz volných balónů bez pilota na palubě bez zátěže a upoutaných balónů bez pilota na palubě jsou uvedena v doplňku R tohoto předpisu.

Poznámka 2: Maximální vzletovou hmotností bezpilotního letadla a/nebo modelu letadla se rozumí hmotnost včetně vybavení, provozních náplní, paliva a případného nákladu před zahájením vzletu nebo maximální vzletová hmotnost bezpilotního letadla schválená v rámci povolení k létání vydaného Úřadem pro civilní letectví (dále jen ÚCL), bylo-li toto povolení vydáno.

3. Bezpečnost

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

3.2 Zákaz ohrožení bezpečnosti létání ve vzdušném prostoru se neuplatňuje vzájemně mezi modely letadel za předpokladu předchozí dohody zúčastněných pilotů a osob a přijetí přiměřených opatření proti ohrožení bezpečnosti ostatního letového provozu a na ochranu osob a majetku na zemi.

4. Dohled pilota

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

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

5. Odpovědnost

5.1 Za provedení bezpečného letu, včetně předletové přípravy a kontroly, je odpovědná osoba, která bezpilotní letadlo dálkově řídí (bez ohledu na úroveň automatizace systému řízení letu) nebo v případě modelu letadla s maximální vzletovou hmotností do 25 kg, který není dálkově říditelný, osoba, která jej vypustila do vzdušného prostoru (pro účely tohoto doplňku dále jen „pilot“).

5.2 Pilot odpovídá za to, že:

- a) bezpilotní systém bude používán pouze k účelu, ke kterému byl navržen a vyroben, případně, k němuž byl schválen ÚCL; a
- b) bude provozovat pouze bezpilotní systém, jehož způsob použití a technické parametry jsou v souladu s požadavky, které tento doplněk obsahuje, nestanoví-li ÚCL jinak.

5.3 Vlastník nebo provozovatel bezpilotního systému nebo pilot musí na žádost ÚCL umožnit provedení kontroly provozu a letové způsobilosti bezpilotního systému v rozsahu dle požadavku ÚCL.

5.4 Pilot musí zaznamenávat informace o letu do deníku letadla nebo rovnocenného dokumentu. Informace musí obsahovat datum letu, jméno pilota, označení letadla, místa vzletu a přistání, dobu letu a celkovou dobu letu, druh letové činnosti a potenciální události související s bezpečností letu.

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

5.6 Řízení bezpilotního letadla, jehož pilot podléhá evidenci ÚCL, nesmí být předáno osobě, která není evidována ÚCL:

- a) pro daný typ a modelovou řadu nebo dané označení bezpilotního letadla v případě využití k leteckým pracím a leteckým činnostem pro vlastní potřebu;
- b) pro danou kategorii (balón, vzducholoď, vrtulník, kluzák, letoun vrtulový, letoun proudový) v případě využití rekreačně-sportovního.

6. Ukončení letu

6.1 Bepilotní letadlo musí a model letadla s maximální vzletovou hmotností 0,91 kg až 25 kg by měl pilotovi umožnit za okolností, které by mohly vést k ohrožení dle ust. 3, zasáhnout do průběhu letu nebo let ukončit.

6.2 Pilot modelu letadla s maximální vzletovou hmotností menší než 0,91 kg, které není dálkově říditelné, by měl provést předletovou přípravu k zajištění bezpečného letu, spočívající zejména ve zhodnocení místních podmínek a v nastavení odpovídajícího charakteru a doby letu.

6.3 Bepilotní letadlo s maximální vzletovou hmotností větší než 0,91 kg musí být vybaveno vestavěným bezpečnostním systémem, který při poruše provede ukončení letu.

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

7. Prostory

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

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

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

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

7.2 Při provozu bezpilotního letadla a/nebo modelu letadla v CTR a MCTR ve vzdálenosti větší než 5 500 m od vztažného bodu letiště a současně ve výšce nižší než 100 m nad zemí a při provozu bezpilotního letadla a/nebo modelu letadla s maximální vzletovou hmotností do 0,91 kg ve vzdálenosti menší než 5 500 m od vztažného bodu letiště, do výšky 100 metrů nad zemí a mimo ochranná pásma letiště se neuplatňují požadavky předpisu L 11 na získání letového povolení a na stálé obousměrné spojení se stanovištěm řízení letového provozu a požadavky stanovené Leteckou informační příručkou ČR (AIP) na vybavení odpovídačem sekundárního radaru. Při provozu bezpilotního letadla a/nebo modelu letadla v CTR a MCTR ve vzdálenosti menší než 5 500 m od vztažného bodu letiště, kromě provozu bezpilotního letadla a/nebo modelu letadla s maximální vzletovou hmotností do 0,91 kg mimo ochranná pásma letiště, nebo ve výšce vyšší než 100 m nad zemí je rozhodnutí o použitelnosti v tomto ustanovení uvedených požadavků ponecháno na uvážení příslušného stanoviště řízení letového provozu.

7.3 Minimální výšky letu dle Hlavy 4, ust. 4.6 a doplňku O, ust. 2.3.3 tohoto předpisu se pro lety bezpilotních letadel a modelů letadel neuplatňují.

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

7.5 Žadatel o využití vzdušného prostoru postupuje v souladu s postupy uvedenými v AIP, část ENR 1.1.9.

7.6 Autonomní bezpilotní letadlo nesmí být provozováno ve společném vzdušném prostoru.

Poznámka: K předletové přípravě lze využít praktický mapový nástroj AisView Letecké informační služby (LIS) Řízení letového provozu ČR, s.p. na webových stránkách <http://lis.rfp.cz>.

8. Ochranná pásma

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

9. Meteorologická minima

Let bezpilotního letadla smí být ve vzdušném prostoru třídy G prováděn jen vně oblaků a ve vzdušném prostoru jiné třídy jen v minimální vzdálenosti od oblaků 1 500 m horizontálně a 300 m vertikálně. Ustanovení 2.2.12, doplňku O tohoto předpisu se v případě bezpilotních letadel neuplatňuje.

10. Nebezpečný náklad

Bezpilotní letadlo nesmí být použito k přepravě nebezpečných látek nebo zařízení, která by mohla způsobit obecné ohrožení, kromě provozních náplní v množství přiměřeném účelu letu.

11. Shazování nákladu

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

12. Pohyb pilota

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

13. Letecká veřejná vystoupení

Letecká veřejná vystoupení (dále jen LVV) bezpilotních letadel podléhají souhlasu ÚCL. Požadavky na provozování LVV s výhradní účastí bezpilotních letadel, včetně modelů letadel s maximální vzletovou hmotností větší než 25 kg, stanovuje směrnice ÚCL CAA/S-EXT-001-n/2015. Podmínky pro LVV letadel s pilotem na palubě včetně účasti bezpilotních letadel stanovuje dokument ÚCL CAA-SL-101-n/16.

14. Ostatní legislativa

Provoz bezpilotního letadla musí být v souladu s platnými právními předpisy jako např.: Zákon o nakládání s bezpečnostním materiálem č. 310/2006 Sb., Zákon o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb., Zákon o chemických látkách a chemických přípravcích č. 356/2003 Sb., Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb., Zákon o požární ochraně č. 133/1985 Sb., Zákon o vodách č. 245/2001 Sb., Zákon o životním prostředí č. 17/1992 Sb., ve znění pozdějších předpisů a v souladu se stanoviskem Úřadu pro ochranu osobních údajů č. 1/2013.

15. Pohon

K provozu bezpilotního letadla nesmí být použit pulzační nebo raketový motor, s výjimkou použití raketového pohonu pouze za účelem provedení vzletu.

16. Další podmínky pro provoz bezpilotního letadla

Při provozu bezpilotního letadla musí být dodrženy následující podmínky (pro přehlednost uvedené v Tabulce 1 níže, dále jen „tabulka“):

- bezpilotní letadlo podléhá evidenci ÚCL, jak vyplývá z řádku č. 1 tabulky;
- pilot bezpilotního letadla podléhá evidenci ÚCL, jak vyplývá z řádku č. 2 tabulky;
- podmínkou evidence pilota je prokázání základní schopnosti bezpečně řídit bezpilotní letadlo a požadovaného rozsahu teoretických znalostí, které stanoví ÚCL, jak vyplývá z řádku č. 3 tabulky;
- podmínkou provozu bezpilotního systému je povolení k létání vydané ÚCL, jak vyplývá z řádku č. 4 tabulky. Povolení k létání nahrazuje doklad o osvědčení letové způsobilosti a je dokladem o evidenci bezpilotního systému. Povolení k létání obsahuje seznam evidovaných pilotů a nahrazuje tak průkaz způsobilosti pilota;
- podmínkou provozování leteckých prací (LP) a leteckých činností pro vlastní potřebu (LČPVP) je povolení k provozování těchto činností vydané ÚCL, jak vyplývá z řádku č. 5 tabulky;
- bezpilotní letadlo musí být označeno ohnivzdorným identifikačním (ID) štítkem se jménem a telefonním číslem provozovatele a poznávací značkou, byla-li přidělena, jak vyplývá z řádku č. 6 tabulky;
- jak vyplývá z řádku č. 7 tabulky, bezpilotní letadlo se, s výjimkou kdy ÚCL povolí jinak, nesmí:
 - v průběhu vzletu a přistání přiblížit k jakémukoli osobě jiné než jeho pilot na horizontální vzdálenost menší než 50 m;
 - za letu přiblížit k jakémukoli osobě, prostředku nebo stavbě, které nejsou součástí předmětného provozu, na horizontální vzdálenost menší než 100 m;

<p>iii) za letu přiblížit k jakémukoliv hustě osídlenému prostoru na horizontální vzdálenost menší než 150 m.</p> <p>Minima uvedená pod body i) a ii) se nevztahují na osoby přímo zapojené do provozu bezpilotních systémů za předpokladu předchozí dohody zúčastněných pilotů a osob. V těchto případech musí být přijata přiměřená opatření proti ohrožení dle ust. 3.</p> <p>Bezpečnou vzdáleností v tabulce se rozumí taková horizontální vzdálenost, která i v případě nastalé nouzové situace vyloučí možnost ohrožení dle ust. 3.</p> <p>h) minimální výše pojistné částky, na kterou musí být sjednáno individuální nebo hromadné pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem bezpilotního letadla (limit plnění) je uvedena v řádku č. 8 tabulky pro běžný provoz a LVV;</p> <p>i) projektování, výroba a počáteční letové zkoušky musí být dozorovány ÚCL, případně ÚCL pověřenou osobou, dle stanovených postupů, jak vyplývá z řádku č. 9 tabulky;</p>	<p>j) bezpilotní letadlo musí být vybaveno vestavěným bezpečnostním systémem („failsafe“ systém), který při selhání řídicího a kontrolního spoje provede ukončení letu, jak vyplývá z řádku č. 10 tabulky;</p> <p>k) žadatel o povolení k létání bezpilotního letadla k jiným, než rekreačně-sportovním účelům je povinen k žádosti doložit provozní příručku UAS, jak vyplývá z řádku č. 11 tabulky;</p> <p>l) události spojené s provozem bezpilotního letadla podléhají hlášení dle ust. 17 tohoto doplňku, jak vyplývá z řádku č. 12 tabulky.</p> <p>17. Hlášení události</p> <p>17.1 Povinnost hlásit události spojené s bezpilotním letadlem se vztahuje na všechna bezpilotní letadla se schválenou konstrukcí a/nebo letadla s provozním povolením (viz Tabulka č. 1).</p> <p><i>Poznámka: Pro účely ust. 17.1 se za událost považují letecká nehoda, incident nebo vážný incident (definice těchto pojmů viz předpis L 13).</i></p> <p>17.2 Způsob hlášení událostí je stanoven v ust. 4.12 předpisu L 13.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Legenda k obrázkům 1 a 2:

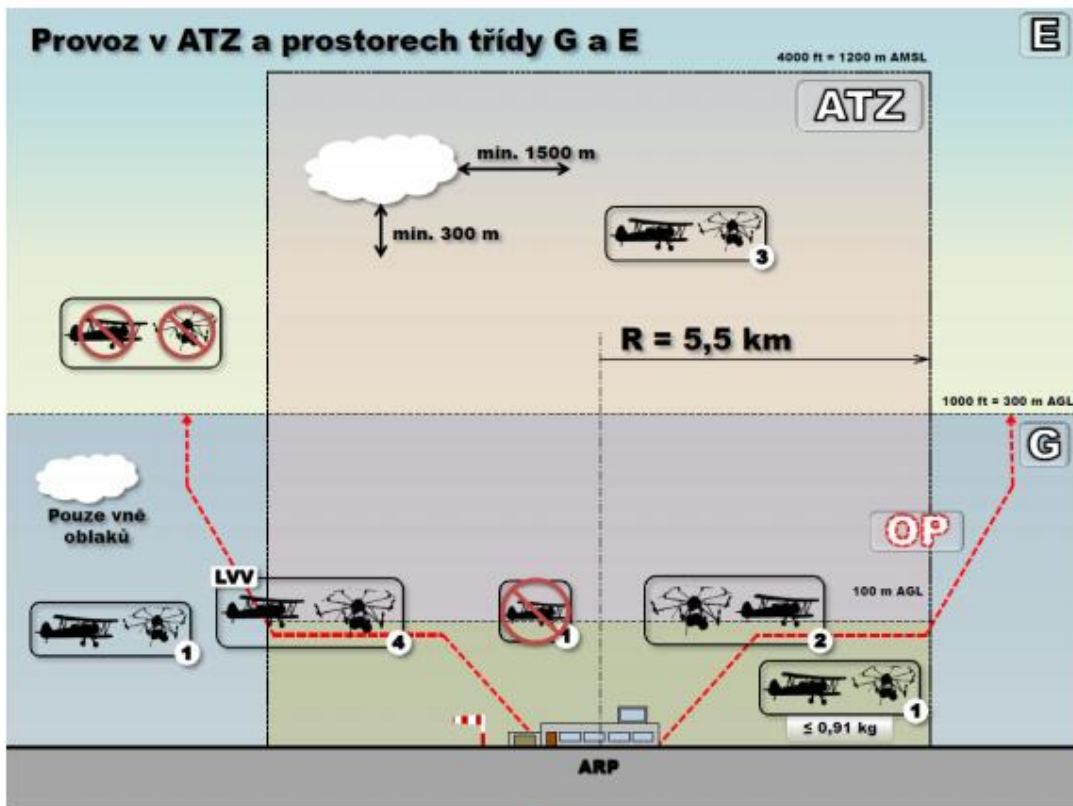
Modely letadel s maximální vzletovou hmotností do 25 kg



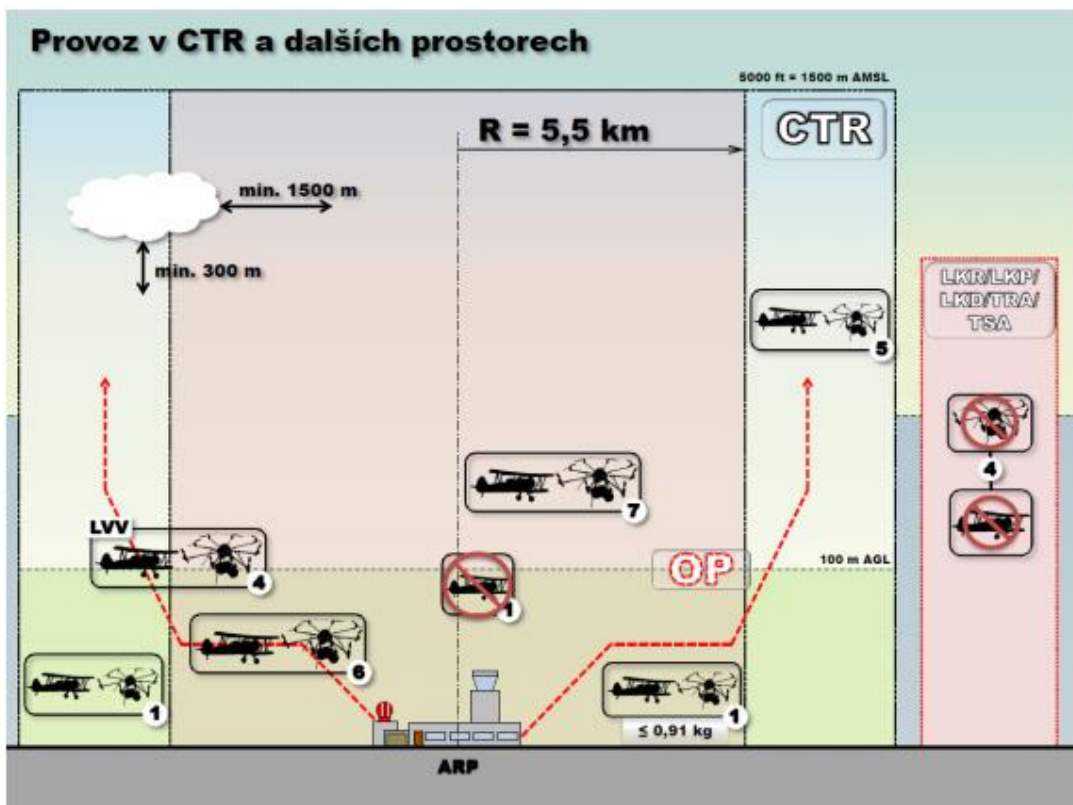
Bezpilotní letadla (tj. včetně modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nad 25 kg)

CTR	Řízený okresek letiště	LKR	Omezený prostor
ATZ	Letištní provozní zóna neřízeného letiště	LKP	Zakázaný prostor
OP	Ochranná pásma letišť	LKD	Nebezpečný prostor
G / E	Označení třídy vzdušného prostoru	TSA	Dočasně vyhrazený prostor
ARP	Vztažný bod letiště	TRA	Dočasně vymezený prostor
AMSL	Nadmořská výška	AGL	Nad úrovní země

1	Lety bez koordinace
2	Splnění podmínek provozovatele letiště (PL) + koordinace s letištní informační službou (AFIS)
3	Splnění podmínek PL + koordinace s AFIS
4	Souhlas/povolení ÚCL
5	Letové povolení příslušného stanoviště řízení letového provozu (ŘLP). ŘLP může dále požadovat: stálé obousměrné spojení a odpovídač sekundárního radaru
6	Povolení ÚCL (nebo v případě leteckých prací (LP) koordinace s ŘLP + koordinace s PL). ŘLP může dále požadovat: stálé obousměrné spojení a odpovídač sekundárního radaru
7	Povolení ÚCL (nebo v případě LP koordinace s ŘLP + koordinace s PL) + letové povolení ŘLP. ŘLP může dále požadovat: stálé obousměrné spojení a odpovídač sekundárního radaru



Obrázek 1



Obrázek 2

Tabulka 1 (viz ust. 16)

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

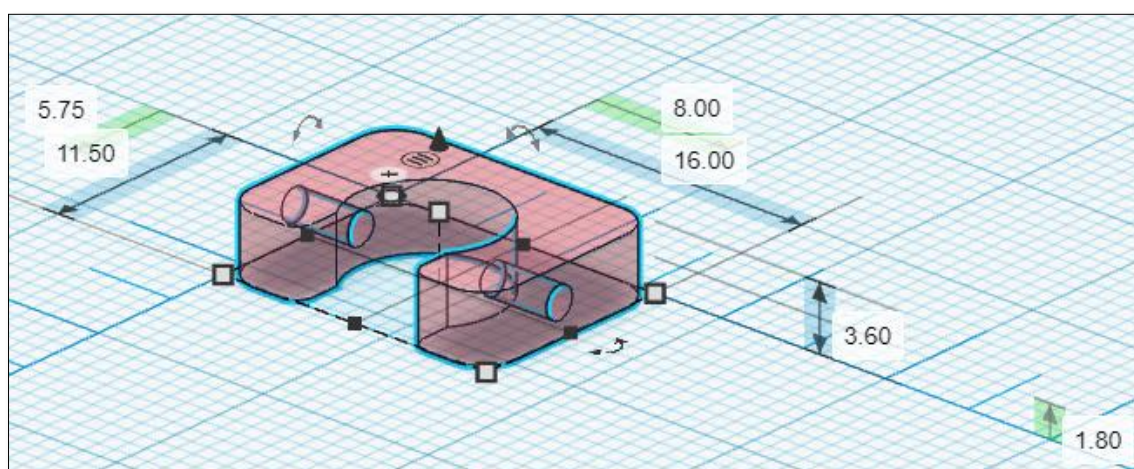
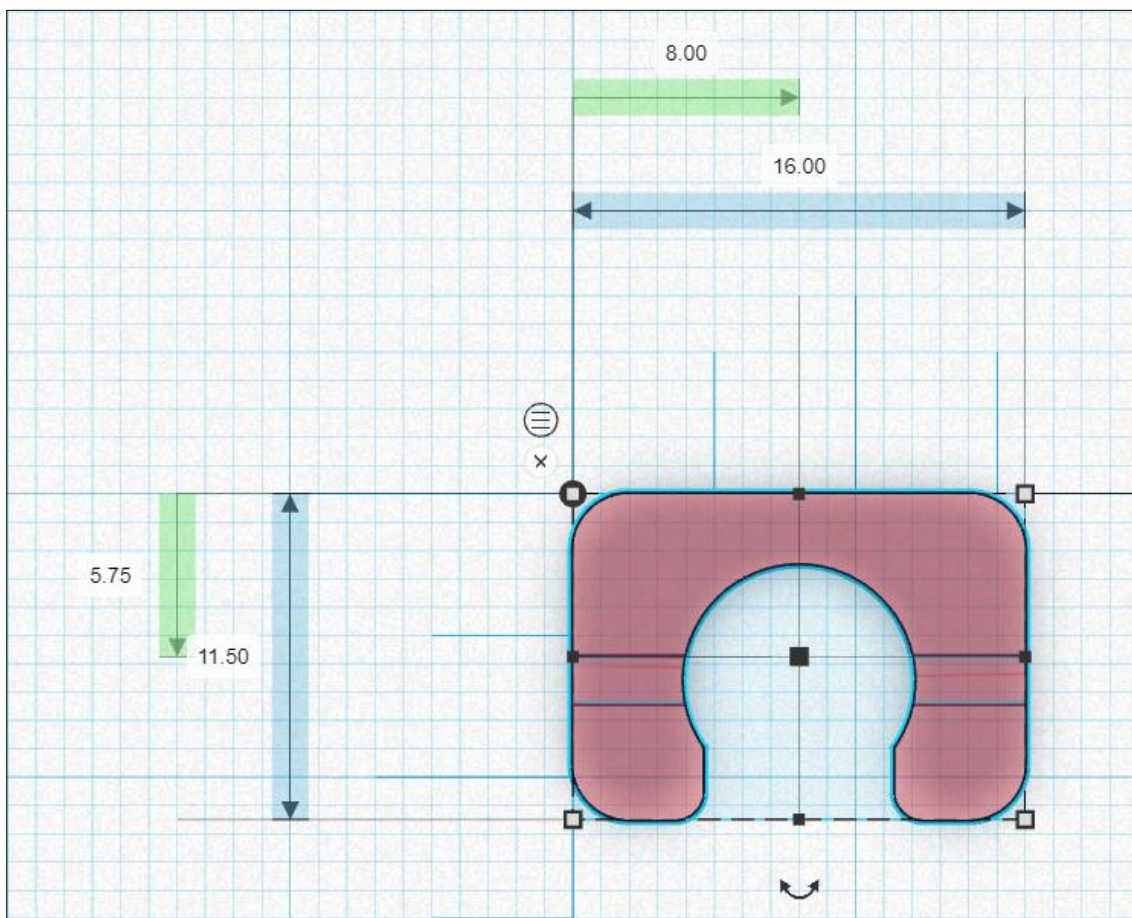
ZÁMĚRNĚ NEPOUŽITO

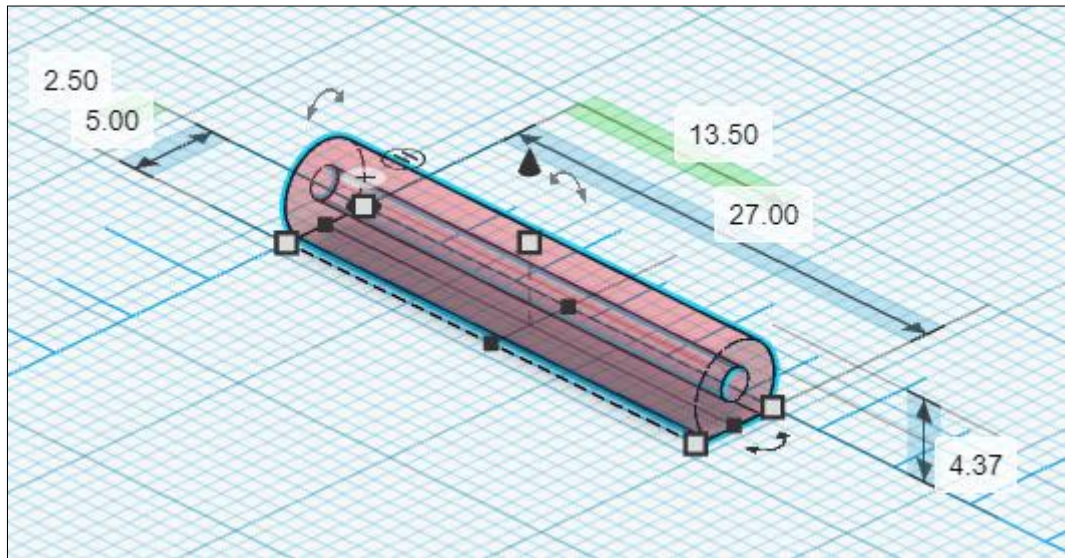
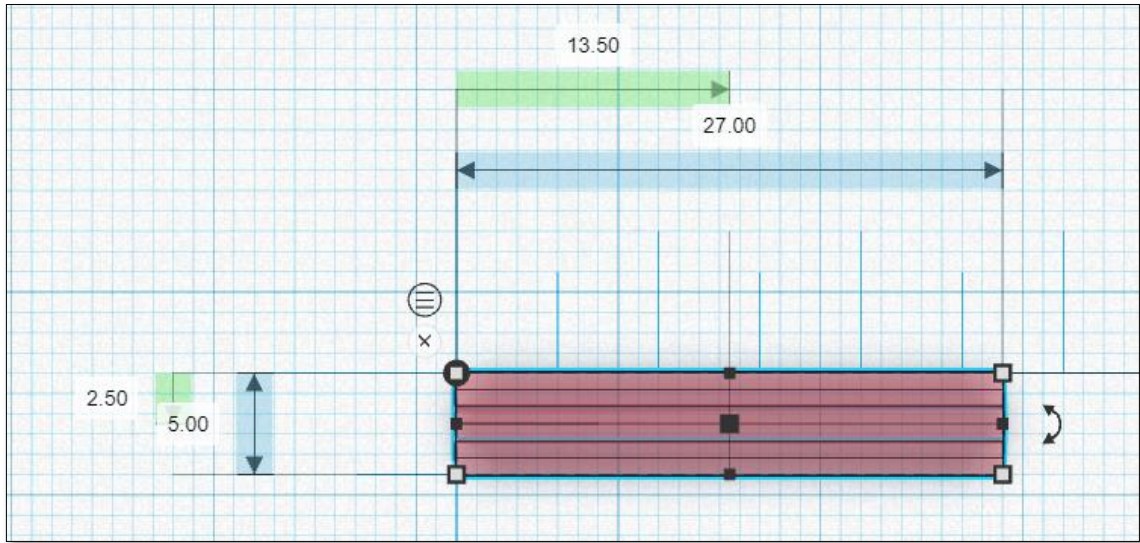
¹ Nař. č. 785/2004 označuje nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 785/2004 o pojištění provozovatelů letadel

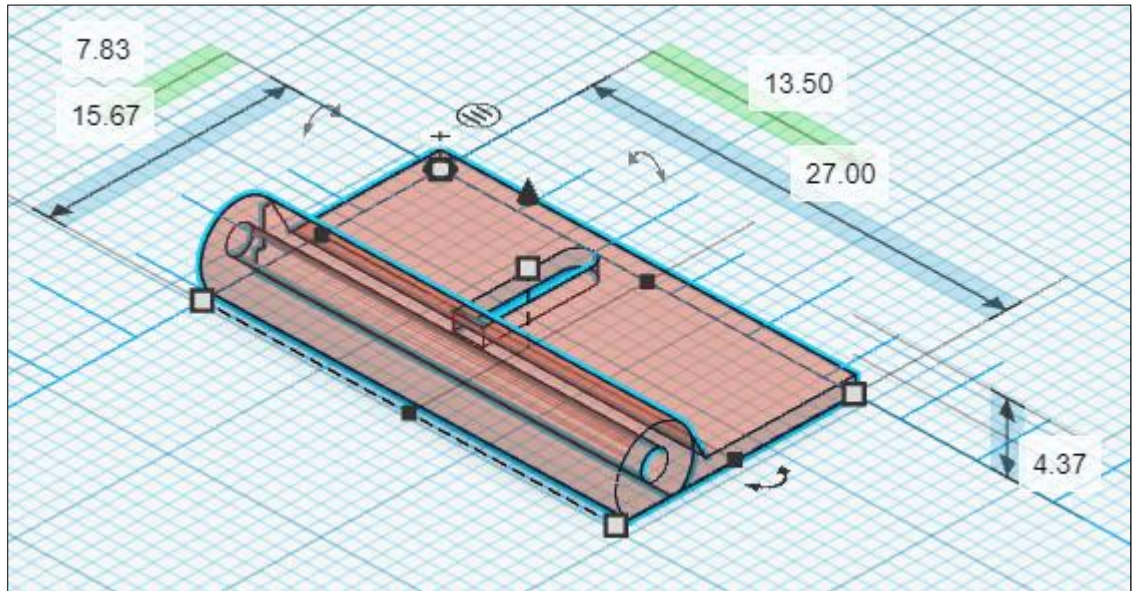
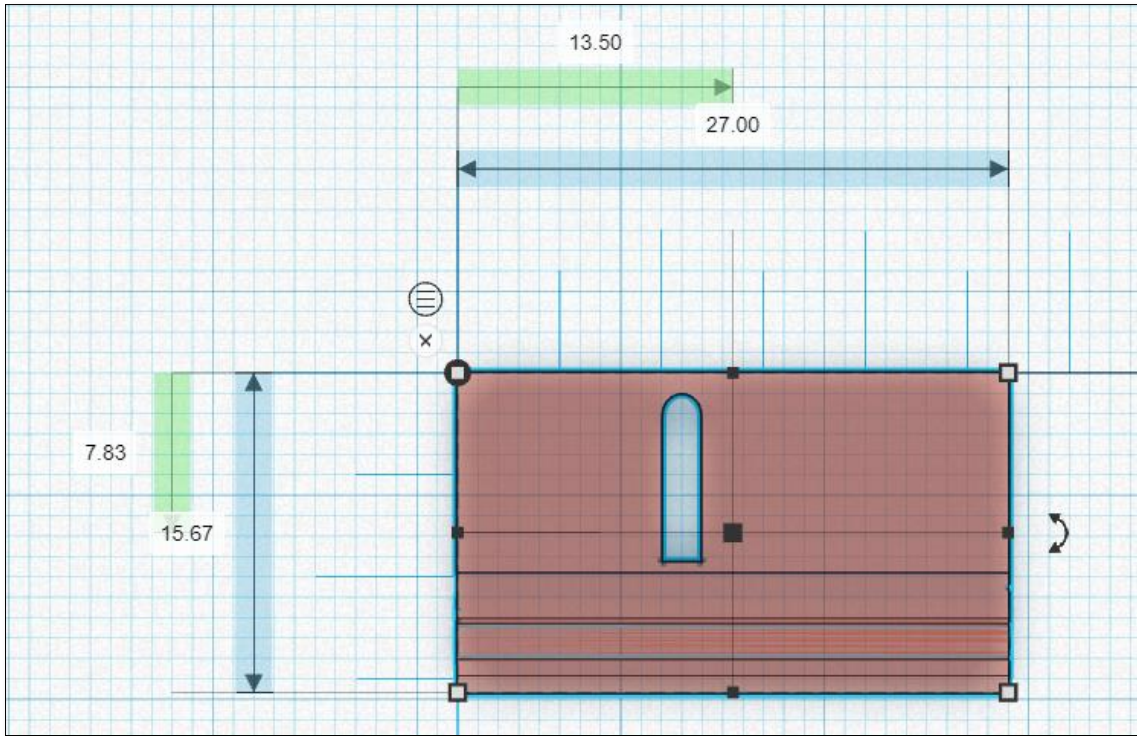
Příloha 2 – Tabulka kategorie Open [11]

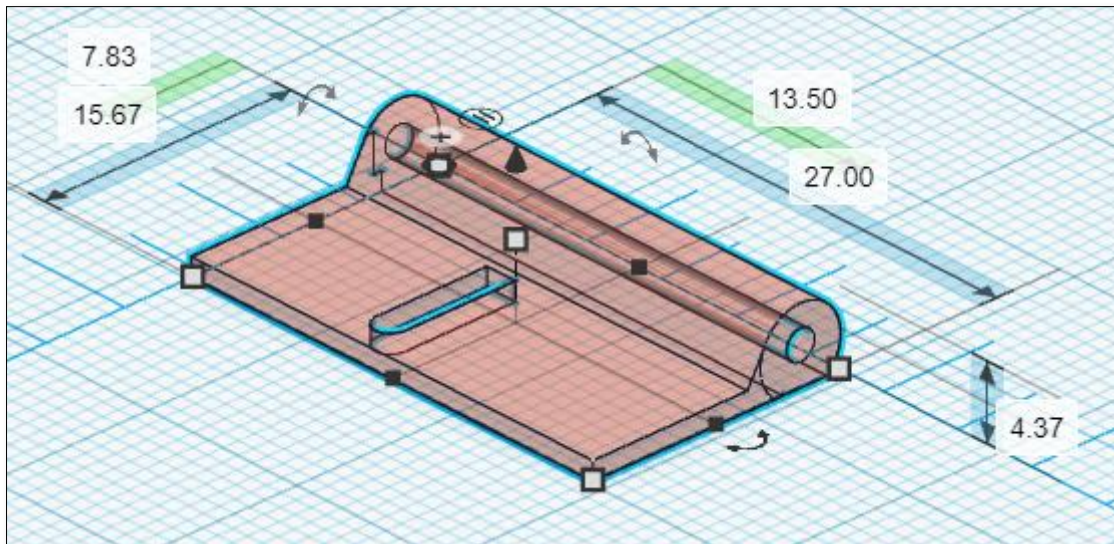
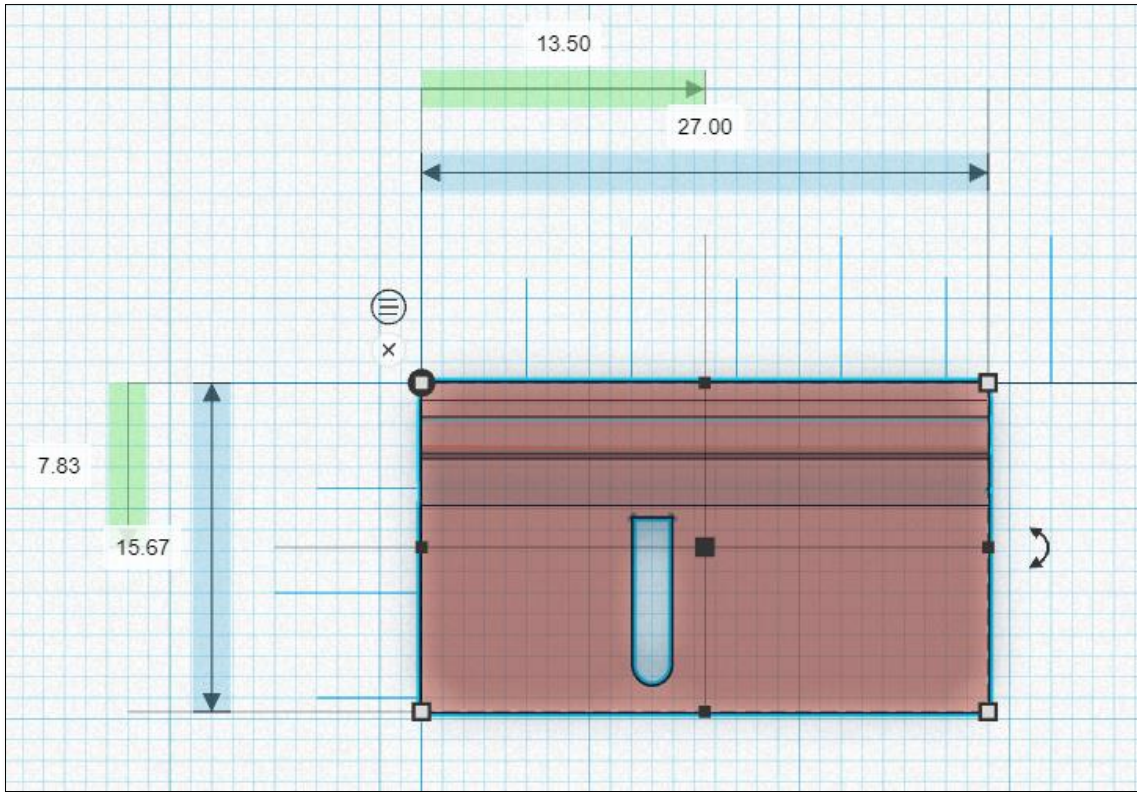
Třídy bezpilotních systémů v otevřené kategorii	C0	C1	C2	C3	C4 (modely)
Provozní omezení	A1	A1	A2, A3	A3	A3
Max. vzletová hmotnost	< 250 g	< 900 g nebo < 80 J (dopadová energie)	< 4 kg	< 25 kg a 3 m	< 25 kg
Max. provozní rychlost	< 19 m/s	< 19 m/s	nastavitelné < 3 m/s (kromě letounů)	ne	ne
Max. výška letu nad zemí	< 120 m AGL	< 120 m AGL	< 120 m AGL	< 120 m AGL	ne
Omezení pohonu	elektro < 24 V	elektro < 24 V	elektro < 48 V	elektro < 48 V	ne
Follow-me režim	< 50 m	< 50 m	ne	ne	ne
Failsafe systém	ne	ano	ano (kromě upoutaných)	ano (kromě upoutaných)	jen přednastavená poloha, zákaz automatického letu
Upoutaný provoz	ne	ne	lanko < 50 m	lanko < 50 m	ne
Zabezpečený řídicí a kontrolní spoj	ne	ne	ano (kromě upoutaných)	ano (kromě upoutaných)	ne
Limitovaná hlučnost	ne	< 85 dB (kromě letounů)	< 97 dB dle MTOM (kromě letounů)	ne, jen povinný štítek (kromě letounů)	ne
Sériové číslo	ne	ano	ano	ano	ne
Identifikace za letu	ne	ano	ano (kromě upoutaných)*	ano (kromě upoutaných)*	ne
Geo-awareness	ne	ano**	ano**	ano**	ne
Indikace nízkého stavu baterie	ne	ano	ano	ano	ne
Světla pro říditelnost a odlišení	ne	ano	ano	ano	ne
Uživatelská příručka	ano	ano	ano	ano	ano
Informační leták EASA	ano	ano	ano	ano	ano

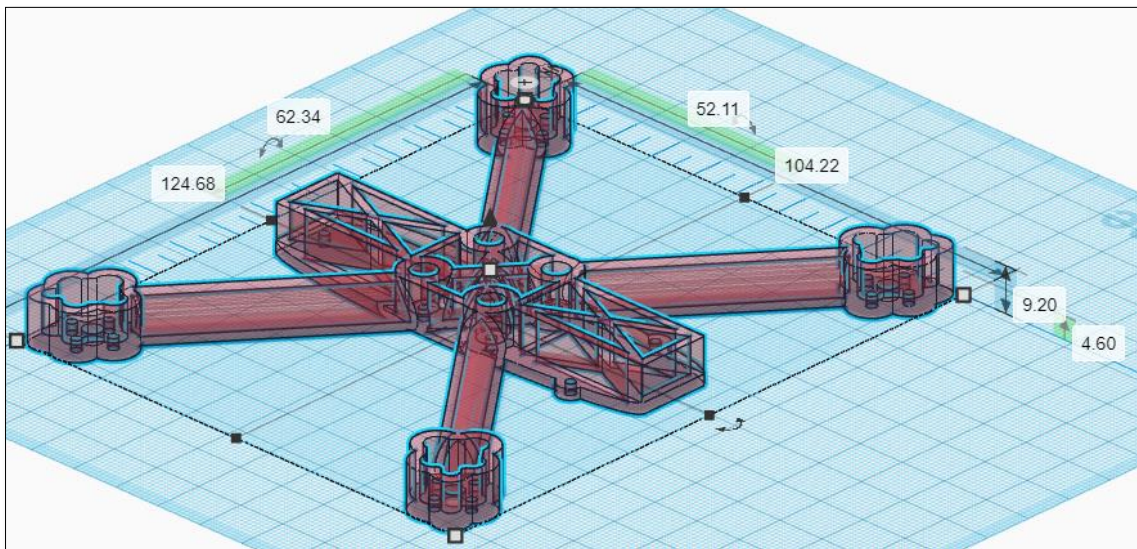
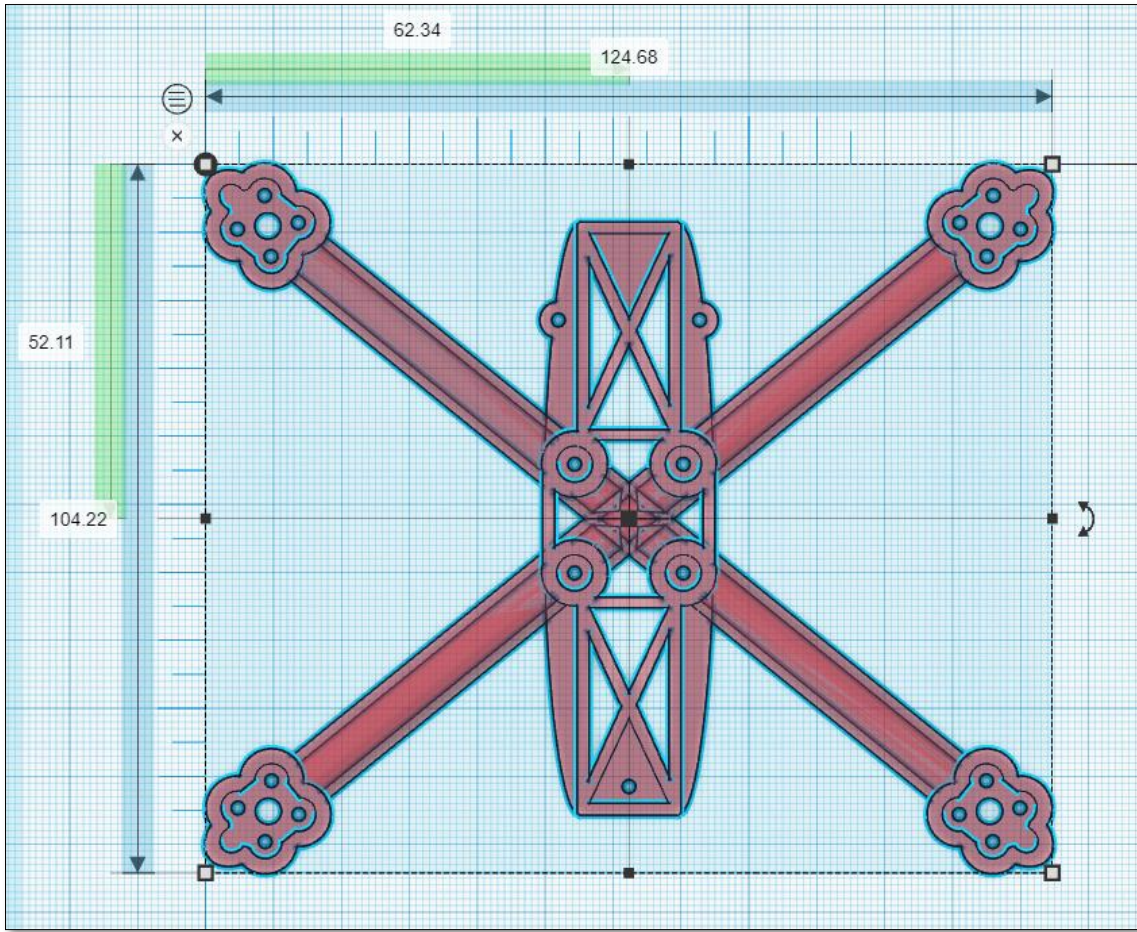
Příloha 3 – Technická specifikace 3D vytištěných komponent a jejich detaily s rozměry v mm – Nárys, Pohled shora, 3D zobrazení objektu

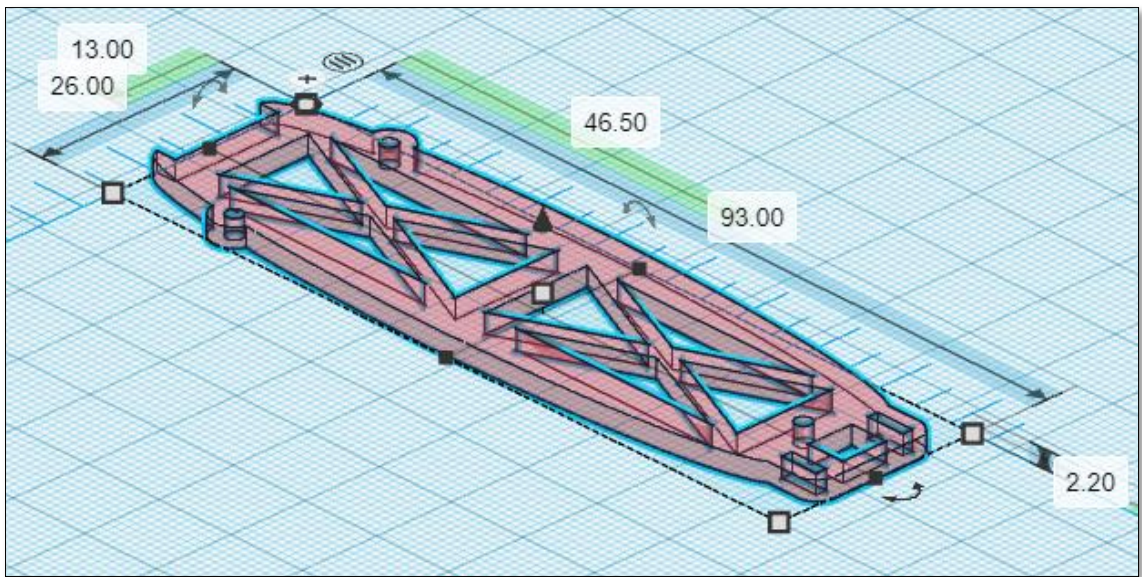
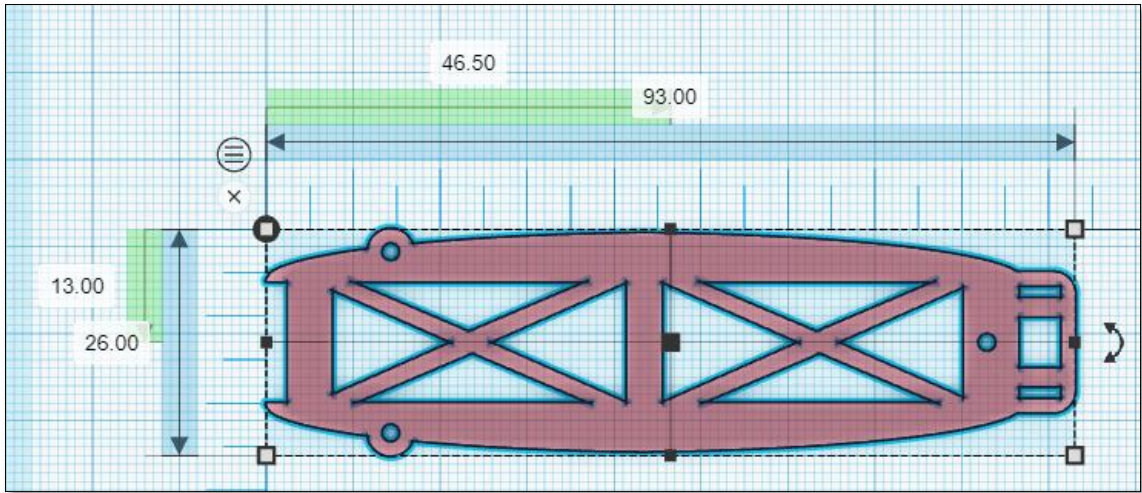


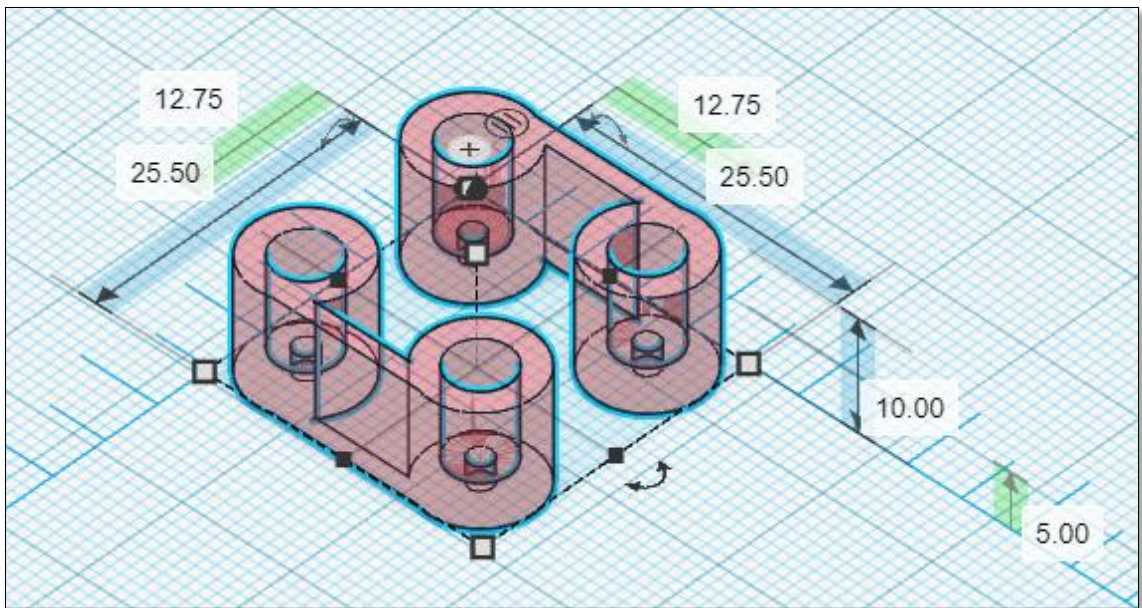
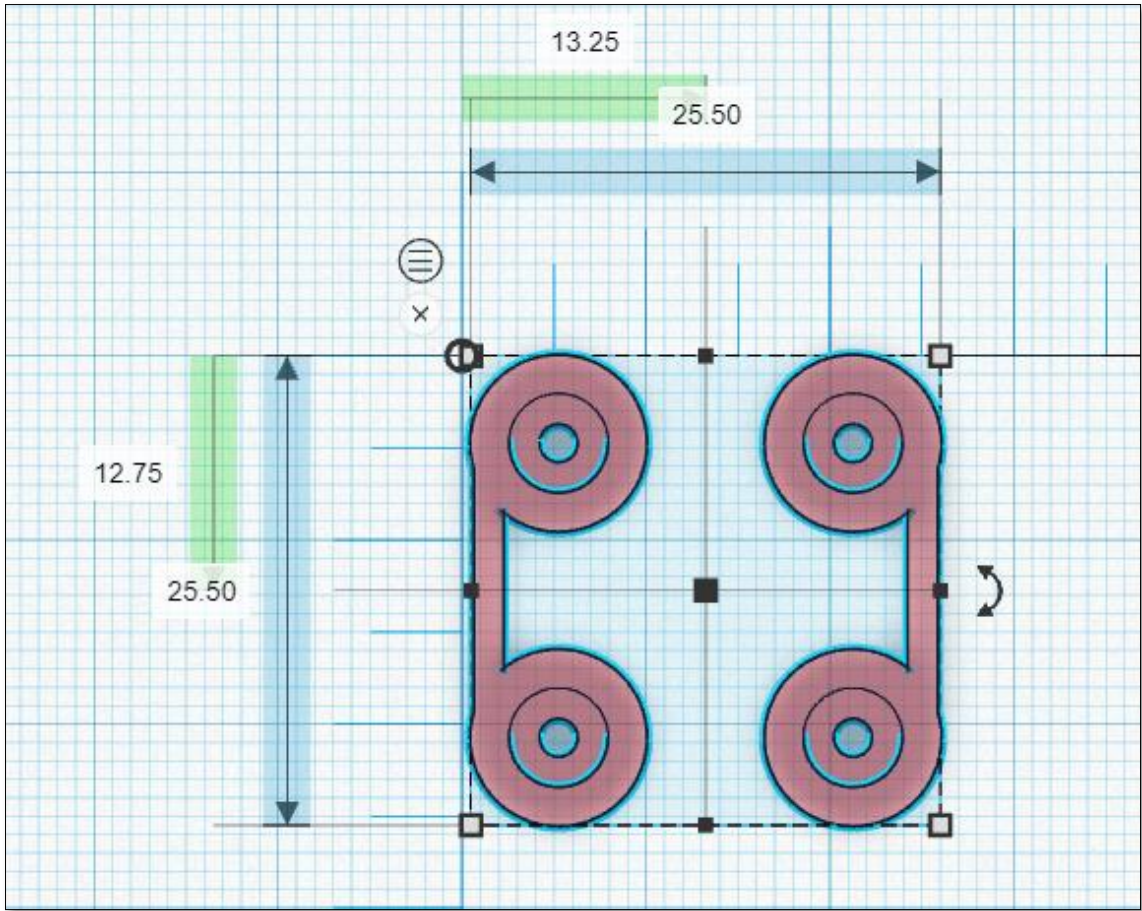


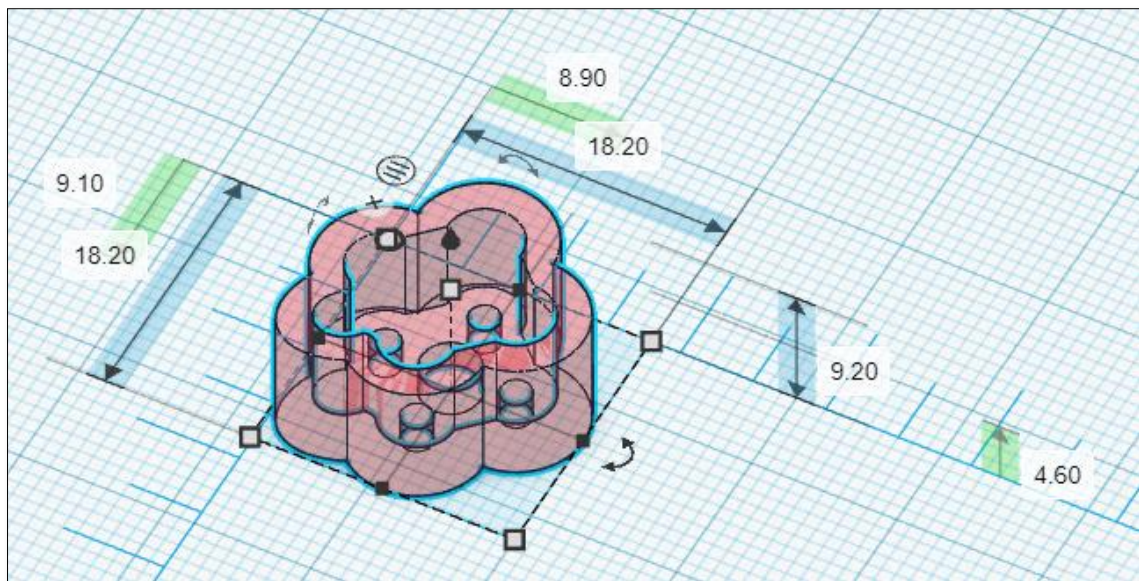
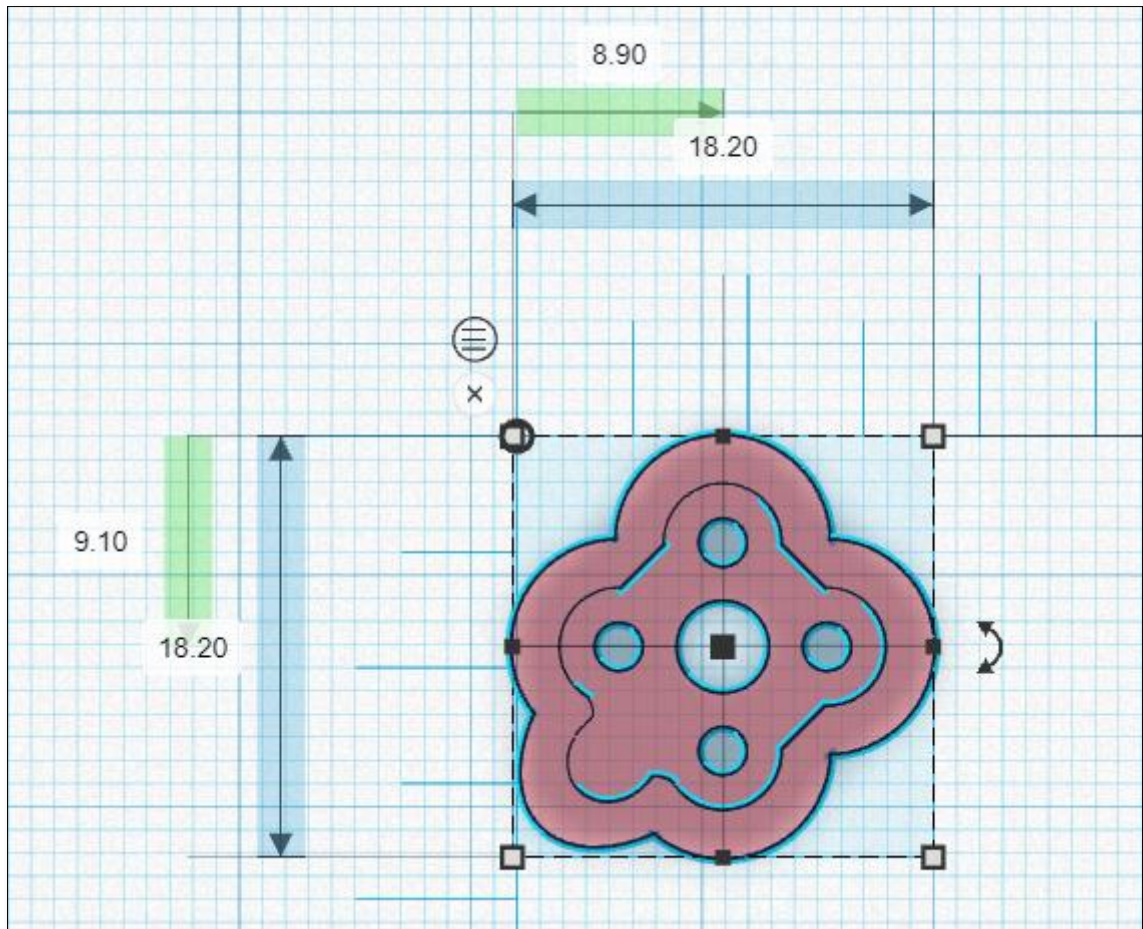












Oskenované zadání práce

UNIVERZITA HRADEC KRÁLOVÉ
Fakulta informatiky a managementu
Akademický rok: 2019/2020

Studijní program: Aplikovaná informatika
Forma studia: Prezenční
Obor/kombinace: Aplikovaná informatika (ai3-p)

Podklad pro zadání BAKALÁŘSKÉ práce studenta

Jméno a příjmení: **Petr Izák**
Osobní číslo: **I1800174**
Adresa: **Zdelov 9, Zdelov, 51721 Týniště nad Orlicí, Česká republika**
Téma práce: **Technická analýza návrhu a konstrukce FPV kvadrokoptéry s využitím částí vyrobených 3D tiskem**
Téma práce anglicky: **Technical Design and Construction of FPV Quadcopter Using 3D Print Components**
Vedoucí práce: **RNDr. Petr Tučník, Ph.D.**
Katedra informačních technologií

Zásady pro vypracování:

Cílem práce bude nalezení cenově úsporného a rentabilního způsobu výroby dronu s využitím 3D tisku a jeho následného srovnání s existujícími řešeními.

Osnova práce:

-Úvod

Představení bakalářské práce a tématu.

-Cíle práce

Popis mého cíle vytvořit dron s použitím 3D tiskárny.

-Teoretická část

Co je dron? (Nějaké názvosloví)

Historie dronů

Lehce legislativa dronů

Rozdělení dronů

Rozbor FPV dronu a jeho součástek včetně kabeláže s fotkami

Popis FPV systému

Popis FPV brýlí

Ovládání dronů

-Technický návrh řešení a postupu konstrukce dronu

Dokumentace tvorby dronu, tisk částí, fotky komponent, pájení

-Implementace řešení a testy funkčních parametrů

Popis software Betaflight, připojení dronu k PC, nastavování dronu před prvním letem

-Analýza nákladů na konstrukci dronu, srovnání existujících řešení

Srovnání nákladů, návrh low, middle a high cost dronů a následné srovnání s mým dronem, doporučení různým uživatelským skupinám

-Závěr

Shrnutí výstupu z mé práce, subjektivní názor, výhody a nevýhody mého dronu, konečné fotografie (dron v letu)

-Použitá literatura

Seznam doporučené literatury:

Podpis studenta:

Datum:

Podpis vedoucího práce:

Datum: