

VYSOKÁ ŠKOLA POLYTECHNICKÁ JIHLAVA

Aplikovaná informatika

Využití aditivní technologie pro přípravu
dronu

Bakalářská práce

Autor práce: Marek Bydžovský

Vedoucí práce: Ing. Mgr. Lucie Zárybnická, Ph.D.

Jihlava 2024

Vysoká škola polytechnická Jihlava

Tolstého 16, 586 01 Jihlava

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce: **Marek Bydžovský**

Studijní program: Aplikovaná informatika

Obor: Aplikovaná informatika

Garant studijního programu: Ing. Lenka Kuklišová Pavelková, Ph.D.

Název práce: **Využití aditivní technologie pro přípravu dronu**

Vedoucí práce: Ing. Mgr. Lucie Zárybnická, Ph.D.

Konzultant práce: PaedDr. František Smrčka, Ph.D.

Cíl práce: Cílem práce je sestavit plně funkční dron s využitím moderních technologií – konkrétně bude použita aditivní technologie Fused Filament Fabrication (FFF) se zaměřením na přípravu nosné části dronu. Teoretická část závěrečné práce se zaměří na řešení v oblasti dronů, jejich programování a použití 3D tisku pro jejich výrobu. Experimentální část se zaměří na oživení dronu s ohledem na analýzu a výběr vhodných součástek, optimalizaci funkčnosti dronu a vlastní programování řízení. V rámci experimentální části bude nosná část dronu připravena technologií FFF, zdokumentována a zhodnocena z hlediska funkčnosti. Student rovněž zhodnotí výhody a nevýhody využití dronů v různých oblastech. V rámci práce budou zpracována a vyhodnocena letová data.

Abstrakt

Bakalářská práce se zaměřuje na sestavení plně funkčního dronu s využitím moderních technologií, zejména aditivní technologie Fused Filament Fabrication (FFF) pro přípravu nosné části dronu. Teoretická část práce poskytuje rešerši v oblasti dronů, jejich programování a aplikaci 3D tisku při výrobě. Experimentální část se zaměřuje na oživení dronu s důrazem na analýzu a výběr vhodných součástí, optimalizaci funkčnosti dronu a vlastní programování řízení. Nosná část dronu je vyvinuta technologií FFF, dokumentována a zhodnocena z hlediska funkčnosti. V práci je také provedena analýza výhod a nevýhod využití dronů v různých oblastech. Kromě toho jsou zpracována a vyhodnocena letová data, která doplňují celkový pohled na dosažené výsledky. Práce přináší přínos v oblasti aplikace aditivní technologie při vývoji dronů a zkoumání jejich potenciálu v různých odvětvích.

Klíčová slova

Dron; 3D tisk; Aditivní technologie; Komponenty; Programování; Letová data

Abstract

This bachelor's thesis focuses on assembling a fully functional drone using modern technologies, particularly the additive manufacturing technology Fused Filament Fabrication (FFF) for the fabrication of the drone's structural components. The theoretical part of the thesis provides a literature review in the field of drones, their programming, and the application of 3D printing in manufacturing. The experimental section is dedicated to the activation of the drone, emphasizing the analysis and selection of suitable components, optimizing the drone's functionality, and programming its control system. The structural component of the drone is developed using FFF technology, documented, and evaluated in terms of functionality. The thesis also includes an analysis of the advantages and disadvantages of drone utilization in various sectors. Additionally, flight data is processed and evaluated, providing a comprehensive overview of the achieved results. This work contributes to the application of additive technology in drone development and explores their potential across different industries.

Keywords

Drone; 3D printing; Additive technology; Components; Programming; Flight data

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, v platném znění, dále též „AZ“).

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje **AZ**, zejména § 60 (školní dílo).

Podle § 47b zákona o vysokých školách souhlasím se zveřejněním své práce podle Směrnice pro vedení, vypracování a zveřejňování závěrečných prací na VŠPJ, a to bez ohledu na výsledek obhajoby.

Beru na vědomí, že VŠPJ má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠPJ, která má právo ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených vysokou školou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše), z výdělku dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence.

V Jihlavě dne 10. dubna 2024

.....

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval mému vedoucímu, paní Ing. Mgr. Lucii Zárybnické, Ph.D. za cenné rady a také panu PaedDr. Františku Smrčkovi, Ph.D. za konzultace a možnost vytvářet práci pod jejich vedením. Chtěl bych také poděkovat své rodině a kamarádům za jejich připomínky a rady.

Obsah

Seznam obrázků.....	7
Seznam zkratk.....	8
Úvod	9
1 Teoretická část	10
1.1 Drony a jejich uplatnění.....	10
1.2 Zákony a pravidla létání.....	14
1.3 Aditivní technologie	16
1.4 Drony a 3D tisk.....	17
1.5 Úvodní studie.....	18
1.6 Složení dronu	19
1.7 Programování dronu.....	25
2 Experimentální část	26
2.1 Výběr komponentů.....	26
2.2 Stavba dronu.....	30
2.3 Softwarové nastavení dronu a první spuštění	34
2.4 Problematika.....	38
2.5 Tvorba 3D komponentů dronu	39
2.6 Tisk 3D modelů	40
2.7 Testování modelů z polyamidu s uhlíkovým vláknem	41
2.8 Testování modelů z kompozitního materiálu s příměsí uhlíkových vláken	41
3 Výsledky a diskuse.....	43
3.1 Tahová zkouška.....	43
3.2 Hmotnostní analýza dílů	43
3.3 Vyhodnocení letových dat dronu s originálním rámem	44
3.4 Vyhodnocení letových dat dronu s polyamidovým rámem.....	44
3.5 Vyhodnocení letových dat dronu s kompozitním rámem	45
3.6 Vyhodnocení.....	45
Závěr	46
Seznam použité literatury	47

Seznam obrázků

Obr. 1: Kde nelétat s dronem	15
Obr. 2: Nejčastější konfigurace rámu a motorů	20
Obr. 3: Motor dronu.....	21
Obr. 4: Řídící jednotka (FC)	22
Obr. 5: Regulátor (ESC).....	22
Obr. 6: Video vysílač a kamera	23
Obr. 7: Třílísté vrtule	24
Obr. 8: Akumulátor.....	25
Obr. 9: Alien 5.....	26
Obr. 10: Řídící jednotka.....	27
Obr. 11: Přijímač.....	27
Obr. 12: Kamera	28
Obr. 13: Video vysílač.....	28
Obr. 14: Motor	29
Obr. 15: Akumulátor a nabíječka	29
Obr. 16: Rám dronu.....	30
Obr. 17: Připevnění motorů	30
Obr. 18: Uchycení regulátoru	31
Obr. 19: Napájení motorů na regulátor	31
Obr. 20: Připájení kondenzátoru	31
Obr. 21: Připájení kabelů od baterie	32
Obr. 22: Připojení řídicí jednotky	32
Obr. 23: Schéma zapojení FC.....	32
Obr. 24: Zapojení přijímače.....	33
Obr. 25: Schéma zapojení video vysílače	33
Obr. 26: Napájení konektoru XT60 pro baterii.....	34
Obr. 27: Hotový dron	34
Obr. 28: Flash FC	35
Obr. 29: Kalibrace akcelerometru	36
Obr. 30: Nastavení frekvence.....	36
Obr. 31: Nastavení protokolu vysílačky.....	36
Obr. 32: Hodnoty přijímaného signálu.....	37
Obr. 33: Test motorů.....	37
Obr. 34: Skeny a modely	40
Obr. 35: Tahová zkouška	43
Obr. 36: Let s originálním rámem	44
Obr. 37: Let s kompozitním rámem	45

Seznam zkratek

ABS	Akrylonitril Butadien Styren (Termoplastický průmyslový kopolymer)
BEC	Battery Eliminator Circuit (Bateriový eliminátor obvodu)
BLDC	Brushless Direct Current (Bezuhlíkový stejnosměrný motor)
CAD	Computer-Aided Design (Počítačem podporovaný design)
CCW	Counter Clockwise (Protisměru hodinových ručiček)
CW	Clockwise (Po směru hodinových ručiček)
ESC	Electronic Speed Controller (Elektronický regulátor rychlosti)
FC	Flight Controller (Řídící jednotka letu)
FET	Field-Effect Transistor (Pole-efektový tranzistor)
FFF	Fused Filament (Roztavené filamenty)
FPV	First Person View (Pohled z první osoby)
GPS	Global Positioning System (Globální polohovací systém)
IOC	Intelligent Orientation Control (Inteligentní orientační řízení)
ISR	Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (Intelligence, průzkum a dohled)
KV	Motor Velocity Constant (Konstanta rychlosti motoru)
LC filtr	Low-pass Filter (Dolní propustnost)
LED	Light Emitting Diode (Světelně emitující dioda)
Li-Pol	Lithium-Polymer Battery (Lithium-polymerová baterie)
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor (Metal-oxid-polovodičový tranzistor)
OSD	On-Screen Display (Zobrazení na displeji)
PLA	Polyactic Acid (Kyselina polymléčná)
PVC	Polyvinylchlorid
PWM	Pulse Width Modulation (Šířková modulace impulzů)
RC	Radio Control (Dálkové ovládání)
RGB	Red, Green, Blue (Červená, zelená, modrá)
SBUS	Serial Bus (Seriový sběrníkový systém)
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (Bezpilotní letecký prostředek)

Úvod

Aditivní technologie, mezi které se řadí i 3D tisk, se staly nedílnou součástí moderního průmyslu a otevřely dveře pro inovace a nové možnosti v oblasti konstrukce a výroby. Tyto technologie rychle získávají na popularitě a nacházejí uplatnění v různých odvětvích, jako je letectví, automobilový průmysl, medicína, a také v oblasti amatérských konstrukcí. Jednou z oblastí, ve které mohou aditivní technologie nabídnout významné výhody, je vytváření dronů.

Cílem bakalářské práce je prozkoumat a demonstrovat využití aditivní technologie, konkrétně 3D tisku, pro přípravu konstrukčních částí dronu. Drony se staly důležitým prvkem v mnoha odvětvích, ať už jde o vojenské aplikace, průmyslová měření, zemědělství nebo dokonce osobní rekreaci. Integrace aditivního výrobního procesu může otevřít nové možnosti pro návrh, výrobu a údržbu těchto bezpilotních letounů.

Práce se skládá z teoretické a experimentální části. V teoretické části budou probírány základy aditivních technologií, zejména 3D tisku, a jejich využití pro výrobu dronů. Zvláštní pozornost bude zaměřena na výběr materiálů a jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti, s důrazem na aplikaci v konstrukci dronů.

V experimentální části práce bude provedena příprava modelů pro 3D tisk, samotný tisk těchto modelů, následné sestavení funkčního dronu a poté vyhodnocení letových dat. Práce se zaměřuje na ověření proveditelnosti a výkonnosti dronu s použitím aditivní technologie. Cílem je vytvořit funkční prototyp dronu, který by demonstroval výhody a omezení použití 3D tisku pro tuto konkrétní aplikaci.

Bakalářská práce si klade za cíl přispět k lepšímu porozumění a využití aditivních technologií v oblasti výroby dronů a otevřít nové perspektivy pro vývoj a výrobu těchto technologicky pokročilých bezpilotních letounů.

1 Teoretická část

Počátky dronů lze vysledovat již ve druhé světové válce, avšak od té doby se jejich využití dramaticky rozšířilo mimo vojenské sféry. S výjimkou stanovených omezení, si je dnes může pořídit téměř každý. Zaměříme i na klíčový vývoj technologických inovací v oblasti dronů (Česká televize, 2024).

1.1 Drony a jejich uplatnění

Dron je „Bezpilotní letoun“, někdy UAV z anglického Unmanned Aerial Vehicle nebo také dron z anglického „drone“ (DRONEWEB, 2023). Drony představují moderní technologické letouny s širokým uplatněním v mnoha různých odvětvích, od průmyslových a komerčních účelů, až po rekreační a vědecké oblasti, ve kterých přináší cenné nové informace a možnosti (DRONEWEB, 2023).

1.1.1 Průmyslové a komerční využití

Solární panely

Častým problémem u solárních panelů je přehřátí nebo výpadek jednotlivého článku, tzv. hotspot. V takové situaci obvykle vypadne celá řada panelů, protože jsou propojeny v sérii. Inspekce se provádí pomocí termokamer, které předcházejí nechtěným výpadkům a odhalují panely s končící životností. Použití dronů při inspekci solárních panelů výrazně zlevňuje proces. Dron poskytuje větší variabilitu a z nasnímaných dat vytvoříme 3D termografický model, který odhaluje problematická místa (DronPro, 2024).

Větrné elektrárny

Inspekce větrných elektráren se nejčastěji zaměřuje na kontrolu listů, kde hledáme mechanické poškození, praskliny nebo trhliny, které mohou ovlivnit chod elektrárny. Tradiční metody vyžadovaly, aby technik nasnímal data přímo na elektrárně, což bylo časově náročné a méně bezpečné. Díky dronům není nutné být přímo na elektrárně, a celý proces inspekce probíhá z bezpečné vzdálenosti pomocí zavěšené kamery, což zároveň zkracuje dobu inspekce (DronPro, 2024).

Vedení vysokého napětí

Inspekce elektrického vedení je důležitá pro vizuální kontrolu izolátorů, spojů, vedení a mechanickou kontrolu stožárů. Starší metoda, kdy technik musel na stožáry vylézt a diagnostikovat závady sám, je v dnešní době neefektivní. Dron s optickou a termální kamerou umožňuje bezpečnou inspekci z vhodné vzdálenosti, navíc je odolný vůči elektromagnetickým interferencím (DronPro, 2024).

Střechy, komíny a vysílače

Pomocí dronu lze odhalit trhliny, praskliny, špatné spoje a zhodnotit celkový stav objektu. Práce s dronem je mnohem efektivnější než u běžných metod, kdy technik musí diagnostikovat vše přímo na objektech a pracuje ve výšce. Z pohledu bezpečnosti a časové náročnosti je využití dronu mnohem lepší. Zákazníci často poptávají detekci úniku tepla a plynu, což drony dokáží spolehlivě provádět (DronPro, 2024).

Letecká fotogrammetrie

Letecká fotogrammetrie je obor zabývající se mapováním terénu a objektů s následným vyhodnocením v sofistikovaných softwarových nástrojích. Drony přináší revoluční změny v oblasti fotogrammetrie, protože eliminují vysoké náklady na provoz dopravního letadla a technologie pro mapování. Drony umožňují přesnější a efektivnější zpracování dat a generování 3D modelů či ortofotomap (DronPro, 2024).

Aerální LiDAR

Light Detection and Ranging neboli LiDAR je metoda měření vzdáleností a detekce objektů v reálném prostoru pomocí vyslání laserového pulsu na povrch a měření doby, kterou světlo potřebuje k návratu k senzoru. Data se používají k vytváření trojrozměrných bodových mračen, která lze použít k vytváření map, modelů a dalších výstupů (FlyGuys, 2021).

Drony umožňují firmám a organizacím v široké škále odvětví, včetně stavebnictví, archeologie, těžby, environmentálních věd a energetiky, snazší přístup k LiDAR. Senzory připojené k dronům pracují s maximální přesností, což zlepšuje shromážděná data. Stejně důležitá je i rychlost, s jakou jsou data získávána. Drony jsou schopny za den skenovat až 500 akrů přesných dat, což zrychluje, zjednodušuje a zvyšuje škálovatelnost pozemního průzkumu a tvorby topografických map (FlyGuys, 2021).

Vytváření digitálních dvojčat

Digitální dvojče je virtuální model fyzického objektu poskytující téměř přesnou repliku včetně měřítka, rozměrů, barvy a v některých případech i teploty a tloušťky stěny. Digitální dvojče ukazuje, jak se objekt bude chovat v budoucnosti pomocí softwaru s umělou inteligencí pro vytváření algoritmů a proměnných. Drony tuto práci zlepšují tím, že posílají dron k zachycení 360stupňového záběru fyzického objektu zblízka. Tímto způsobem lze rychle a snadno získat data potřebná k vytvoření digitálního dvojčete, dokonce i ze zařízení v těžko dostupných oblastech (FlyGuys, 2021).

Zemědělství

Drony jsou již využívány v zemědělství, kde jsou schopny mapovat oblasti a zjistit poškození plodin po bouřce, odhalit problémy s odvodněním, určit množství výtěžku, najít nemoci nebo škůdce a rychle prověřit stav dobytka. Pro velké farmy o rozloze tisíců akrů se očekává, že drony budou hrát aktivnější roli, včetně postřiků insekticidy a herbicidy a zlepšování zavlažování (FlyGuys, 2021).

Zdravotnictví a záchrana

Drony se v současné době používají ke zlepšení nouzového zásahu po katastrofě nebo v nebezpečných situacích tím, že ukazují rozsah škod, bezpečné oblasti a místa pro nasazení záchranných týmů. S vybavením termokamerami lze drony využít i k hledání a záchraně přeživších osob, zejména při zemětřeseních nebo jiných přírodních katastrofách (FlyGuys, 2021).

Očekáváme také, že drony budou aktivněji využívány k doručování nebo přepravě zásob v náročném terénu. Americká společnost Zipline již využívá drony k přepravě vakcín ve Rwandě a Ghaně a očekáváme, že se tato praxe bude dále rozšiřovat (FlyGuys, 2021).

Dodavatelský řetězec

Internetový obchod americké společnosti Amazon již zkoumá Prime Air, tedy způsob doručování balíků a produktů zákazníkům. Vzhledem k nárůstu poptávky po doručování a nedostatku řidičů na doručení se zdá, že Amazon pokračuje v testování služby využití technologie dronů s cílem doručit zásilku zákazníkům do 30 minut nebo méně a zároveň zvyšovat bezpečnost a efektivitu (FlyGuys, 2021).

Zpravodajství

Zatímco spoléhat se na helikoptéry a dopravní kamery zajišťující sledování dopravních situací a dopravních nehod, bylo pro lokální zpravodajství standardem, tak v současné době se stále více zpravodajských agentur uchyluje k získání potřebných záběrů pomocí dronů. Drony mohou létat níž a překonat „ptačí pohled“, aby poskytly podrobnější informace o stavu silnic a zároveň ušetřit čas, zdroje a peníze na to. Zlepšování zpravodajských záběrů bude rostoucím trendem pro technologii dronů v roce 2022 a nadále (FlyGuys, 2021).

1.1.2 Bezpečnost a ochrana

Průzkum a sledování

Drony mohou poskytovat záznamy a data v reálném čase z jedinečné perspektivy, což umožňuje velitelům posoudit hrozby a učinit informovaná rozhodnutí. Můžou prozkoumávat lokality a provádět průzkum, aby odpověděl na vojenské inteligence, průzkum a dohled (ISR) otázky. Spojení s RGB a termálními kamerami s rozsáhlými možnostmi zoomu vám umožní odhalit skryté objekty nebo osoby i za špatné viditelnosti. Například drony mohou pomoci kontrolovat silnice a pole na přítomnost min a určovat lidskou aktivitu v budovách na základě termálních stop. To znamená, že průzkumné drony mohou spolehlivě vyhodnotit přesné umístění, pozici a pohyb živých subjektů (Vertical Technologies, 2023).

Mapování a plánování misí

S aktuálními informacemi z dronu můžete vytvořit přesné mapy pro strategické účely. Mapovací dron pomáhá vizualizovat a georeferencovat jakékoli cizí prostředí, které se očekává jako akční prostor obranných a bezpečnostních misí. To je zejména užitečné tam, kde je potřeba přesnost na úrovni centimetrů, například při mapování nebezpečných cest. Můžete skenovat velké oblasti a vytvářet digitální modely povrchu, ortomozaiku, 3D mapy pro další strategické plánování, logistiku a další úkoly vojenského zpravodajství (Vertical Technologies, 2023).

Naléhavá kontrola

Po následcích přírodní katastrofy nebo konfliktu mohou být použity k poskytování nezbytné pomoci a podpory. Drony sledují a zobrazují scénu v akci, poskytují informace, které mohou pomoci plánovat trasy v průběhu okamžitě se měnících nebezpečných situací a řídit síly v koordinovaných záchranných misích. Drony vybavené infračervenými senzory mohou detekovat tepelné stopy od živých bytostí pod sutinami, což umožňuje záchranným týmům rychleji lokalizovat přeživší. Mohou také doručovat lékařské potřeby, potraviny a další nezbytné předměty, nebo posuzovat škody a identifikovat oblasti potřebující pomoc (Vertical Technologies, 2023).

Ochrana majetku

Sledovací dron může být také cenným bezpečnostním nástrojem, pokud je třeba monitorovat velké oblasti nebo objekty velkého významu. Záznam a přenos živého videa vám mohou pomoci zajistit, že všechno je na svém místě, jak by mělo být, a že na území nenastává žádná nežádoucí změna. Pokud k nežádoucí změně dojde, vizuální informace může okamžitě poskytnout výstrahy. V případě nelegálního vstupu mohou data také sloužit jako důkaz. Videa nejsou pouze přenášena, ale také dokumentována, poskytují autentický a explicitní záznam k ověření požadavků na pojistné plnění (Vertical Technologies, 2023).

Sledování a stíhání objektů

S pokročilými senzory a kamerami mohou být použity k nalezení a identifikaci cílů pro vojenské operace. Obvykle se to provádí obkroužením kolem cíle při udržení zaostření. Některé drony také nabízejí možnost automatického sledování objektů, což rozšiřuje více možností. Drony vybavené infračervenými senzory mohou detekovat tepelné stopy pohybujících se nebo nehybných objektů, dokonce i za špatných podmínek. Informace mohou být z dronu přenášeny v reálném čase do řídicích center nebo jiných jednotek, zlepšují přesnost, efektivitu vojenských operací a snižují riziko pro lidské operátory (Vertical Technologies, 2023).

1.1.3 Rekreační využití

V rekreační oblasti se drony stávají populární formou zábavy pro široké spektrum uživatelů. Od létání pro radost, až po účast v soutěžích. Drony se stávají nedílnou součástí letecké zábavy.

V dnešní době jsou národní právní normy týkající se dronů rozděleny mezi jejich rekreační a profesionální využití. Rekreační využití se omezuje na sportovní a volnočasové aktivity, jako jsou závody dronů nebo soukromé fotografie. Prodej snímků pořízených dronem je povolen pouze profesionálním uživatelům. Většina evropských zemí umožňuje rekreační používání dronů bez speciálních povolení od leteckých úřadů, avšak i přes tuto možnost existují důležitá pravidla, která je třeba respektovat. V některých zemích jsou drony prodávány s brožurou obsahující hlavní pravidla, která je nezbytné dodržovat. Je důležité ji pečlivě prostudovat. I když na evropské úrovni probíhají snahy o sjednocený regulační rámec pro letecké prostředky, je třeba brát v úvahu, že aktuální pravidla a nařízení se v jednotlivých zemích mohou lišit. (DroneRules, 2024).

1.1.4 Technologický vývoj a výzkum

Drony neustále přinášejí inovace a technologický pokrok. Výzkum v oblasti autonomního letu, vylepšených senzorů a nových aplikací dronů vědecky posouvá jejich možnosti v geografickém výzkumu, meteorologii a dalších vědeckých oblastech.

1.2 Zákony a pravidla létání

Létání s drony, nejčastěji v podobě kompaktní kvadrokoptéry s kamerou, se těší čím dál větší oblibě v rekreační i profesionální sféře. Ačkoliv svůj stroj ovládají bezchybně, mnozí piloti dlouho neznali platná pravidla, a tudíž svým létáním porušovali legislativu. Drony a jejich piloti se musí řídit zákonnými předpisy, což se od 31. 12. 2020 ověřuje on-line testem (Alza a.s., 2023).

1.2.1 Kategorie letounů

Dělení dronů do kategorií Open, Specific a Certified představuje strukturovaný rámec pro regulaci provozu dronů. V rámci kategorie Open jsou drony dále rozděleny do tříd C0–C4, přičemž každá třída má specifické požadavky na pilota, stanovené podkategoriemi provozních omezení A1–A3. Pro identifikaci třídy musí být drony označeny odpovídajícím štítkem od výrobce a provozovatel má povinnost registrovat se na Úřadu pro civilní letectví a získat osobní identifikační číslo. Nově stanovený minimální věk pilota pro samostatný let bez dozoru je 16 let. Omezení výšky letu do 120 metrů nad zemí a upravená pravidla pro létání v blízkosti osob jsou další klíčové prvky regulace. Sjednocení pravidel pro horizontální vzdálenost letu od obytných, obchodních, rekreačních a průmyslových oblastí na minimálně 150 metrů pro třídy C3 a C4 představuje další opatření k zajištění bezpečného provozu. Pro komerční provoz dronů, který nepostačuje pravidlům kategorie Open, platí pravidla pro kategorie Specific, nebo Certified (Alza a.s., 2023).

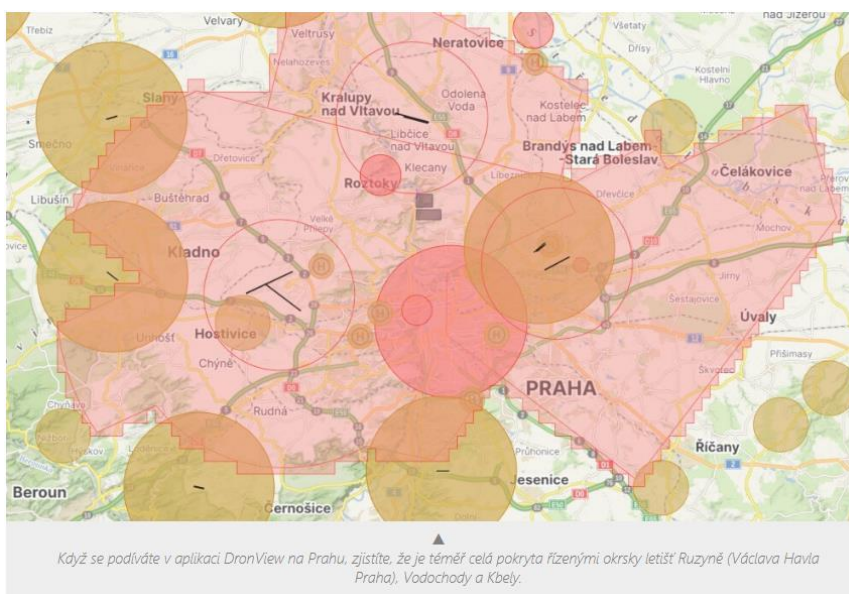
1.2.2 Provoz dronů a pojištění

Pro létání s dronem v České republice, je vhodné mít sjednané pojištění, které se dělí na dvě hlavní kategorie – havarijní pojištění a pojištění odpovědnosti. Havarijní pojištění kryje škody, které mohou nastat na dronu samotném v případě havárie, poruchy, krádeže nebo ztráty. Forma pojištění je volitelná a závisí na rozhodnutí majitele dronu, zda si ji chce sjednat, nebo nikoliv (Alza a.s., 2023).

Na druhou stranu, pojištění odpovědnosti se stalo od roku 2023 povinným, s výjimkou dronů kategorie A1, a to pro všechny typy dronů, obdobně jako povinné ručení u automobilů. Jeho hlavním účelem je zajistit finanční krytí pro případné škody způsobené provozem dronu. Zmíněné způsoby krytí zahrnují náklady spojené s opravou nebo náhradou poškozeného majetku, léčebné náklady, odškodné za způsobená zranění nebo škody na životním prostředí. Závaznost pojištění odpovědnosti pro jednotlivé kategorie dronů je definována v § 54d zákona č. 49/1997 Sb., o civilním letectví, a výše pojistného plnění je specifikována v §16n vyhlášky č. 108/1997 Sb. (Alza a.s., 2023).

1.2.3 Kde nelétat s dronem

Létání s dronem je podléháno určitým omezením a pravidlům, která je nutné respektovat. Na rozdíl od dálkově ovládaných (RC) modelů aut, mající omezení na silniční provoz, je dron ovládaný mimo vnitřní prostory budov a podzemí, což znamená, že při jeho používání se automaticky stáváte účastníkem letového provozu kdekoli a kdykoli. Úřad pro civilní letectví vás bude tedy žádat o dodržování příslušných pravidel. Je důležité vědět, jaká pravidla platí, abyste se při létání s dronem vyhnuli porušení zákona, které může být spojeno s vysokými sankcemi. Do zakázaných oblastí jsou zahrnuty bezletové zóny okolo letišť, vojenských základen, elektráren, některých památek, středů měst a také národních parků (viz Obr. 1). Například létání v blízkosti letiště Václava Havla nebo Pražského hradu může být spojeno s vysokými náklady (Alza a.s., 2023).



Obr. 1: Kde nelétat s dronem

Zdroj: (Alza a.s., 2023)

1.2.4 Pilotní průkaz

Pro většinu dronů platí od 31. 12. 2020 nová povinnost pro jejich provozovatele, a to registrace na Úřadu pro civilní letectví (ÚCL) a absolvování on-line zkoušky pro pilota. Úspěšně zakončená zkouška je klíčová pro legální provoz bezpilotních systémů nejen v České republice, ale také v ostatních zemích Evropské unie. Každý pilot touto zkouškou, která obsahuje 40 otázek, musí projít. K jejímu úspěšnému absolvování je potřeba získat alespoň 30 správných odpovědí. Testování je provedeno formou zaškrťovacích odpovědí podle vzoru ABCD a můžete si jej opakovat neomezeně. Po úspěšném absolvování zkoušky získá pilot elektronický průkaz pro provoz dronu (Alza a.s., 2023).

Po dokončení registrace provozovatele obdržíte 12místné identifikační číslo, kterým označíte všechny své bezpilotní systémy. Je možné zakoupit dron i bez předchozí registrace, ale může jej provozovat pouze registrovaný provozovatel s platným registračním číslem, a pilotovat ho může pouze registrovaný pilot s příslušným průkazem (Alza a.s., 2023).

1.3 Aditivní technologie

Svět 3D tisku je mnohem pestřejší, než by se mohlo zdát. Ačkoli se často využívá v průmyslových odvětvích, jako jsou stavebnictví nebo automobilový průmysl, objevuje se i ve zdravotnictví, paleontologii nebo potravinářském průmyslu. Můžete například ochutnat čokoládu vytištěnou pomocí 3D tiskárny. Existuje však několik odlišných metod 3D tisku, přičemž nejznámější je tisk pomocí filamentu, který se roztavuje, a potom formuje vrstvy na tiskové podložce (Sharplayers s.r.o., 2023).

Avšak 3D tisk není pouze o této metodě. Existuje mnoho různých přístupů, které využívají všelijaké stroje a materiály. V dnešní digitální době začíná celý proces vytvořením digitálního modelu v počítačem podporovaném designu (CAD) softwaru. Tento model můžete vytvářet komerčními balíčky, například AutoCAD, nebo bezplatnými open source programy, jako jsou Fusion360, Google SketchUp a Blender (Sharplayers s.r.o., 2023).

Software poté připravuje návrh modelu tím, že jej rozdělí na jednotlivé řezy nebo vrstvy, které jsou postupně tisknuty. I když existuje široká databáze volně dostupných modelů, každá metoda 3D tisku a značka tiskárny mohou vyžadovat specifický software k úpravě modelu a přípravě tisku (Sharplayers s.r.o., 2023).

1.3.1 Fused filament fabrication (Spojená filamentová výroba)

Metoda známá jako spojená filamentová výroba (FFF) je jednou z nejpopulárnějších forem 3D tisku, oblíbenou zejména mezi kutily a ve školách. Metoda FFF pracuje s roztaveným filamentem, který je postupně vrstven na tiskové podložce (Sharplayers s.r.o., 2023).

Filament, zpravidla umístěný na cívce, prochází tryskou nastavenou na vysokou teplotu. Jakmile je roztavený, proudí přes trysku a postupně formuje vrstvy modelu na tiskové podložce. Zmíněná metoda umožňuje vytvářet pevné výtisky a přizpůsobením tiskárny lze dosáhnout i barevných modelů (Sharplayers s.r.o., 2023).

Tisková hlava pohybující se podle os XY postupně pokládá vrstvy filamentu a vyhotovuje model. Proces se opakuje, dokud není kompletní výtisk dokončen. Podle potřeby mohou být přidány výplně pro zajištění stability modelu a podpůrné struktury, které se odstraňují po dokončení tisku. Zmiňovaná technika poskytuje široké možnosti vytváření 3D modelů s různou hustotou výplně a různými podpůrnými konstrukcemi (Sharplayers s.r.o., 2023).

1.3.2 Výběr materiálů

„Nejčastěji jde o běžné kyseliny polymléčné (PLA), které nestojí mnoho peněz a hodí se pro každý základní 3D tisk (na druhou stranu není tolik odolný jako jiné typy materiálů, zejména těch pokročilých). Dále se do Fused Filament (FFF) tiskáren hodí termoplastický průmyslový kopolymer (ABS) materiál a jeho varianty, z pokročilejších pak polykarbonát, nebo nylon. U vybraného filamentu vždy záleží hlavně na tom, co a k jakým účelům potřebujete vytisknout“ (Ondřej Hubáček, 2021).

1.3.3 Design tisku

Optimalizace designu tisku pro nás bude klíčovým aspektem, jenž bude vybrán na základě pevnosti, pružnosti a váze. Poskytne nám to pohled na to, jak lze využít aditivní technologie ke vzniku efektivních, pevných a lehkých nosných rámců dronů.

1.4 Drony a 3D tisk

Vytisknutí 3D komponentů pro drony je zásadní dovedností pilota dronů. Rám dronu je často nejzranitelnější částí, která může utrpět trhliny, a náhradní díly mohou být nákladné. Moderní rámy jsou často vyrobeny z karbonových desek, což zvyšuje cenu nových částí. Proto se často používá 3D tisk, který umožňuje levnější a rychlejší výrobu náhradních dílů. Tím se dá dosáhnout různé pevnosti, pružnosti a odolnosti vůči poškození. 3D tisk umožňuje i vlastní vývoj rámců, držáků pro kamery a přistávacích podvozků (FlyGuys, 2021).

Rám dronu představuje kostru, do které jsou umístěny ostatní komponenty. Pro výkonné drony se obvykle doporučuje použití tuhé, silné a lehké konstrukce. Rámy mohou být vyrobeny z různých materiálů, jako jsou uhlíková vlákna, hliník nebo skelná vlákna. Různé spoje a lepicí látky umožňují spojení jednotlivých částí. Umístění vrtulí a ramen má vliv na celkovou váhu dronu (FlyGuys, 2021).

3D tisk je ideální pro vytváření rámu podle přesného modelu, což by bylo obtížné s tradiční výrobou. To umožňuje návrhářům experimentovat s tvary a optimalizovat jejich konstrukce pomocí aditivní výroby (FlyGuys, 2021).

1.4.1 Nové technologické trendy v oblasti dronů a 3D tisku

V posledních letech dochází k dynamickému růstu a inovacím v oblasti dronů a 3D tisku, které přinášejí nové možnosti a výzvy. Jedním z klíčových trendů je pokrok v oblasti materiálů pro 3D tisk, který umožňuje vytváření komplexních a odolných struktur pro drony. Například nové kompozitní materiály, které kombinují uhlíková vlákna s plastikou nebo kovem, poskytují vysokou pevnost a lehkost, což je klíčové pro letový výkon dronů (FlyGuys, 2021).

Dalším významným trendem je integrace pokročilých senzorů a technologií do dronů, což umožňuje rozšíření jejich funkcí a využití v různých oblastech, jako je průmyslová inspekce, zemědělství nebo geografický průzkum. Drony vybavené termálními kamerami, senzory nebo multispektrálními kamerami jsou schopny poskytovat detailní a užitečné informace pro různé aplikace (FlyGuys, 2021).

Vzhledem k rostoucí popularitě dronů v průmyslu i u veřejnosti, se také zvyšuje poptávka po personalizovaných a přizpůsobených řešeních. To vede k rostoucímu využití 3D tisku pro výrobu individuálně navržených dronů a náhradních dílů. Díky 3D tisku je možné rychle a efektivně vytvářet prototypy, upravovat designy a reagovat na specifické potřeby uživatelů (FlyGuys, 2021).

Dalším trendem je rozvoj autonomních a výkonnějších řídicích systémů pro drony, které umožňují lepší navigaci, delší dolet a vyšší účinnost. Tyto pokroky spolu s technologickými inovacemi v oblasti 3D tisku představují vzrušující perspektivu pro budoucnost dronů a jejich aplikací ve světě (FlyGuys, 2021).

1.5 Úvodní studie

V úvodní studii bude rozebráno, jak velký dron byl zvolen a k jakému účelu bude využíván.

1.5.1 Výběr dronu podle velikosti

Pro velikosti dronu existuje několik kategorií:

- TinyWhoop a drony do 2": Tyto drony jsou nejmenší v kategorii FPV dronů. Jsou velmi lehké a ideální pro létání v interiérech díky svým malým rozměrům a chrániči vrtulí. Existují dva typy: kartáčové (Brushed) a bezkartáčové (Brushless) TinyWhoopy (FYFT, 2021).
- 2" - 2,5": Drony s vrtulemi o průměru od 2 do 2,5 palce jsou vhodné pro indoor létání. Jsou malé a lehké, ideální pro zábavu a natáčení v interiérech, včetně populárních Cinewhoop dronů (FYFT, 2021).
- 3" - 3,5": Tato velikost je vhodná pro venkovní létání. Drony jsou stále dostatečně malé na závodění a freestyle, ale poskytují vlastnosti podobné větším 5" dronům. Také se používají pro natáčení ve stísněných prostorech (FYFT, 2021).
- 4": Drony s vrtulemi o průměru 4 palce jsou určeny pro venkovní létání. Cílem je obvykle dosáhnout lepší manévrovatelnosti nebo delšího letového času. Jsou vhodné pro závodění, long-range lety nebo specifické požadavky (FYFT, 2021).
- 5": Nejběžnější velikost pro venkovní létání. Jsou výkonné a univerzální, ideální pro závodění, freestyle i long-range lety (FYFT, 2021).
- 7": Největší velikost používaná v hobby FPV létání. Tyto drony jsou robustní a výkonné, vhodné pro extrémně dlouhé lety a long-range létání (FYFT, 2021).

1.5.2 Podle účelu

Freestyle létání je typ létání, který se odehrává v prostředí bez pevně stanovených pravidel, závodních okruhů či časomír. Piloti si vybírají zajímavá místa, jako jsou opuštěné budovy, stromořadí na louce nebo skalní útvary, a kombinují své letové dovednosti s prostředím, čímž dávají prostor své fantazii. Často tyto momenty natáčejí a sdílejí je online (FYFT, 2021).

Freestyle drony mají obvykle prodloužený rám se zakrytou kamerou a držákem pro HD kameru a baterii. Jejich stavba je relativně jednoduchá a mají dostatek prostoru, což je vhodné i pro začátečníky (FYFT, 2021).

U závodních FPV dronů je hlavním cílem rychlost, ovladatelnost a odolnost. Speciálně navržené závodní drony jsou schopny dosahovat rychlostí až 150 km/h. Létání skrze překážky v takových rychlostech poskytuje extrémní adrenalinový zážitek jak pro pilota, tak i pro diváky (FYFT, 2021).

Cinematic létání kombinuje techniky závodů s uměním freestyle. Jeho cílem je zachytit nádherné záběry krajiny, zajímavých objektů nebo pohybujících se předmětů. Díky cinematic dronům lze získat obrazy, které jsou vizuálně ohromující a dosud nevidané, například let za letícím šípem nebo prolétávání komplexními strukturami (FYFT, 2021).

Long-range drony jsou navrženy primárně pro dlouhou dobu letu a velký dosah. Díky kombinaci větších vrtulí s nízkou hmotností je možné letět delší dobu a na delší vzdálenosti než s klasickými freestyle drony. Tyto drony bývají lehké a navrženy pro použití s 4" nebo 7" vrtulemi. Jejich konstrukce umožňuje pořizování dechberoucích záběrů z obtížně dostupných míst, jako jsou vrcholy hor (FYFT, 2021).

1.5.3 Výběr dronu

Pro práci byl vybrán 5" freestyle dron, který má rovnováhu mezi jednoduchostí, obratností a rychlostí. Díky tomu, že dron bude lehký, silný, může se k dronu připevnit větší baterie, díky které se prodlouží doba letu.

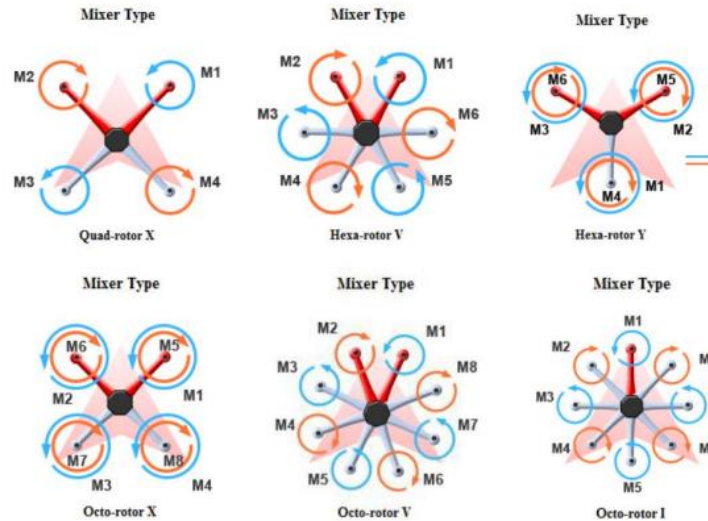
1.6 Složení dronu

Sestavení dronu závisí na jeho účelu a způsobu letu. Vzhledem k tomu, že je v praktické části řešeno sestavení freestyle dronu, práce se bude zabývat tímto specifickým typem a jeho jednotlivými komponenty. Je zřejmé, že pro tento účel lze použít různé součástky, proto budou představeny základní prvky, které jsou společné pro všechny typy dronů, a které budou nutné i pro tento specifický druh.

1.6.1 Rám a podvozek

Rám je základní součástí každého dronu a jeho konstrukce určuje veškeré požadavky na vlastnosti dronu. Zásadním kritériem je počet motorů (viz Obr. 2), který výrazně ovlivňuje chování a výkon dronu. I když je nejběžnější použití sudého počtu motorů, existují také konfigurace s lichým počtem, jako například trikoptéra. Každé rameno dronu obvykle obsahuje dva motory s tažnou a tlačnou vrtulí, což často označujeme jako hexakoptéra (Pech, 2018).

Centrální deska spojuje ramena dronu a obvykle obsahuje všechny řídicí prvky. Podvozek je klíčovým prvkem pro ochranu vybavení dronu a usnadňuje vzlet a přistání tím, že zvyšuje vzdálenost rotorů od země. Jeho pevnost je zásadní, protože musí absorbovat nárazy při přistání. U některých dražších dronů je podvozek sklápěcí, což umožňuje manipulaci s ním a snižuje aerodynamický odpor. Manipulace s podvozkem je často prováděna pomocí spínače na dálkovém ovladači (Pech, 2018).



Obr. 2: Nejčastější konfigurace rámu a motorů

Zdroj: (Pech, 2018)

1.6.2 Motory

V oblasti modelářství se využívají různé typy motorů, včetně spalovacích, avšak pro multikoptéry jsou spalovací motory nepoužitelné z několika důvodů. V tomto textu je ale zaměřeno pouze na motory, které jsou běžně používány v bezpilotním létání. Těmi jsou tzv. bezuhlíkové stejnosměrné motory (BLDC), což jsou stejnosměrné bezkomutátorové motory (viz Obr.3). Jednou z jejich charakteristik je umístění rotoru vně motoru, zatímco vinutí statoru je uvnitř (Pech, 2018).

Na rozdíl od klasických stejnosměrných motorů BLDC motory neobsahují komutátor, který by měnil směr proudu v cívkách rotoru. Komutace je řešena elektronicky pomocí pole-efektových tranzistorů (FET) umístěných na desce externího řídicího systému. Tento systém, nazývaný elektronický regulátor rychlosti (ESC), reguluje proudy do jednotlivých cívek vnitřního statoru (Pech, 2018).

BLDC motory mají vzhledem k jejich váze vyšší účinnost a výkon a nemají potřebu udržovat komutátorové uhlíky. Každý motor má tři fáze, které určují směr otáčení (Pech, 2018).

Pro správnou funkci BLDC motorů je nezbytná zpětná vazba, kterou poskytuje Hallova sonda zabudovaná v ESC regulátoru. Hlavními charakteristikami těchto motorů jsou počet otáček za minutu konstanta rychlosti motoru (KV), průměr motoru (krouticí moment), napájecí napětí (počet článků liho baterie), počet pólů a směr otáčení po směru hodinových ručiček (CW) a protisměru hodinových ručiček (CCW) (Pech, 2018).

S narůstající hmotností dronu je důležité správně volit kombinaci motoru a vrtule. Parametr KV je úzce spojen s napájecím napětím a udává počet volnoběžných otáček za minutu. Průměr motoru pak určuje točivý moment, přičemž vyšší hodnota KV znamená vyšší počet otáček při daném napětí (Pech, 2018).



Obr. 3: Motor dronu

Zdroj: (Pech, 2018)

1.6.3 Řídící jednotka

Letový kontrolér (FC) je elektronické zařízení, které má za úkol komplexně řídit celou multikoptéru (viz Obr. 4). V tomto kontextu je termín „multikoptéra“ záměrně použit, jelikož dron může být také jednoduchým letadlem ovládaným pomocí servomotorů a regulátorů. U multikoptér je však potřeba koordinovaně ovládat minimálně čtyři motory, stabilizovat celý systém a řídit další funkce, které budou popsány v následující části (Pech, 2018).

Pro ovládání multikoptér není možné použít obyčejné servomotory, jako například pro výškovky, a proto je nutné použít letový kontrolér. Dnes jsou letové kontroléry dostupné za přijatelné ceny a nabídka se liší podle výrobce a úrovně vybavení. Mezi nejznámější výrobce patří DJI, Mikro-Kopter a 3D Robotics (Pech, 2018).

Hlavní funkcí letového kontroléru je vyhodnocování letu a přidělování výkonu jednotlivým motorům na základě signálů od dálkového ovladače (RC receiveru). Kvalitní letový kontrolér musí obsahovat gyroskop (náklon), akcelerometr (zrychlení) a barometrický výškoměr pro správnou stabilizaci. Tyto senzory společně s daty od operátora určují požadované pohyby multikoptéry (Pech, 2018).

Další funkcí letového kontroléru jsou inteligentní orientační řízení (IOC), které usnadňují ovládání multikoptéry. Patří sem například režimy Course Lock a Home Lock, které zajišťují stabilní ovládání v různých situacích (Pech, 2018).

Posledním důležitým systémem, který by měl letový kontrolér obsahovat, je tzv. Failsafe systém. Tento systém zajišťuje automatické a bezpečné ukončení letu v případě ztráty signálu, nebo v jiných nouzových situacích. Velké a drahé drony jsou navíc vybaveny dalšími bezpečnostními systémy, jako je redundance všech důležitých komponentů nebo aktivace padáků při nebezpečném vertikálním zrychlení (Pech, 2018).

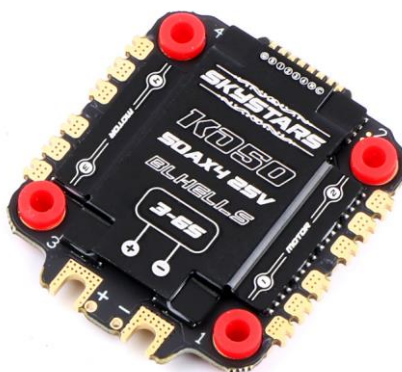


Obr. 4: Řídící jednotka (FC)

Zdroj: (Skystars, 2024)

1.6.4 Regulátor

Elektronický regulátor otáček (ESC) je standardní komponent (viz Obr. 5), který kontroluje rychlost elektromotoru na základě šířkové modulace impulzů (PWM) signálu z řídicí jednotky nebo přijímače dálkového ovladače (transmitteru). Hlavní částí každého regulátoru jsou šest metal-oxid-polovodičových tranzistorů (MOSFET), které vytvářejí střídač, který dodává kvazisinusový proud do jednotlivých fází BLDC motoru. Mikrokontrolér Atmel, na kterém běží firmware, řídí tento proces, který zpracovává PWM signál a určuje, které tranzistory mají být otevřeny a na jak dlouho. Regulátory od různých výrobců mohou mít odlišný firmware, jako například SimonK, BLHeli, a často mají i vlastní, nepřevzatý. Další důležitou součástí je velký kondenzátor, který slouží ke stabilizaci napájecího napětí a uchování náboje z motoru. Regulátor je ideální připojit k napájení co nejkratšími vodiči, aby se minimalizovala indukčnost a předešlo se tak proudovým špičkám, které mohou poškodit MOSFET tranzistory. ESC regulátory mají různou proudovou zatížitelnost, obvykle 10, 20, 30 a 40 A, přičemž hraniční proudová zátěž může vést k nadměrnému zahřívání tranzistorů a potenciálnímu poškození regulátoru. Existují dva hlavní typy ESC regulátorů: OPTO regulátory, které neobsahují bateriový eliminátor obvodu (BEC) obvod, a regulátory s integrovaným BEC, které generují stabilizované napětí pro přímé napájení přijímače. ESC regulátory s BEC mají navíc dva tranzistory, které upravují střední hodnotu napětí baterie na požadovaných 5 V (Pech, 2018).



Obr. 5: Regulátor (ESC)

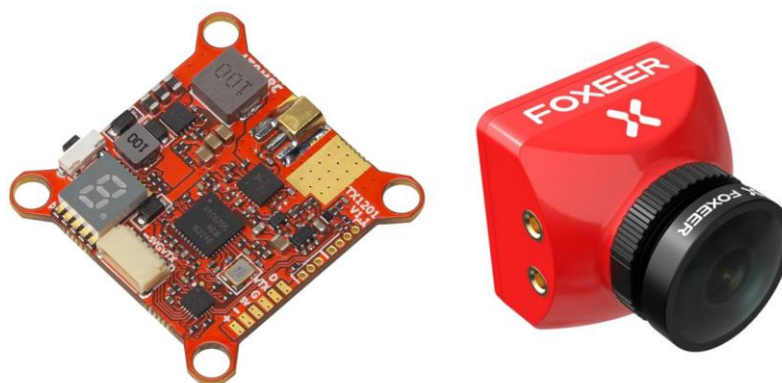
Zdroj: (Skystars, 2024)

1.6.5 Kamera a přenos obrazu

V dnešní době je běžným standardem pro vybavení multikoptér nasazení snímací kamery (viz. Obr. 6) pro zachycení obrazu z výšky. Tato kamera je obvykle umístěna na otočném držáku zvaném Gimbal. Kvůli možnosti otáčení kamery do různých směrů, jak horizontálně, tak někdy i vertikálně, není možné získat zpětně orientaci multikoptéry nebo přesně odhadnout vzdálenost od překážky, pokud je kamera visící. Proto jsou na multikoptérách často používány dvě kamery. Jedna je pro záznam obrazu, která visí pod koptérou, a druhá malá kamera, která je pevně umístěna na přední části koptéry. Tato přední kamera umožňuje operátorovi jasnější přehled o pozici koptéry a vzdálenosti od potenciálních překážek. Tento systém čelní kamery se nazývá FPV (First Person View). Legislativně není povoleno řídit multikoptéru pomocí FPV, pokud operátor nemá přímý vizuální kontakt, pokud se nejedná o malý závodní dron, kde je tento systém používán v uzavřené oblasti (Pech, 2018).

Pro bezdrátový přenos videa se nejčastěji používají video vysílače (viz Obr. 6), pracující s frekvencí 5,8 GHz, aby se frekvence lišily od frekvence RC systému (2,4 GHz) a tak se vzájemně neovlivňovaly. Výkon video vysílače je omezen na 25 mW a neprobíhá střídání kmitočtů, takže je nutné se držet pouze tohoto výkonu, což může být nedostatečné. Při delších vzdálenostech a zejména pokud není přímá viditelnost, může dojít k přerušení signálu a rušení. Pomoci může směřování antény vysílače. Existují také přepínače videa, které umožňují nastavení výkonu v rozmezí 25, 250a 600 mW, ale vysílání na vyšší výkon není legální (Pech, 2018).

Obraz z přední kamery se přenáší na barevnou obrazovku operátora v rozlišení 640x480 a může být doplněn o telemetrická data pomocí systému zobrazení na displeji (OSD), který je propojen s řídicí jednotkou a GPS snímačem. Tímto způsobem má operátor možnost sledovat směr, výšku, rychlost a další důležité informace o multikoptéře. Je žádoucí, aby multikoptéra umožňovala přepínání mezi dvěma kamerami pomocí RC rádia, aby si operátor mohl zobrazit obraz z té kamery, která je pro něj v daném okamžiku důležitá. Toto lze provést pomocí speciálních přepínačů, které mají dva video vstupy a jeden výstup a přepínání probíhá prostřednictvím jednoho z kanálů RC přijímače a páčkového přepínače na rádiu (Pech, 2018).



Obr. 6: Video vysílač a kamera

Zdroj: (Rotorama, 2024)

1.6.6 Vrtule

Vrtule jsou určeny k transformaci rotačního pohybu na vztlak. Jejich účinnost závisí na tvaru a směru otáčení, což ovlivňuje zakřivení vrtule a vytváření podtlaku na horní hraně, čímž se produkuje vztlak a zařízení má tendenci stoupat. Tento proces je způsoben prouděním vzduchu kolem vrtule (Pech, 2018).

Na trhu je k dispozici široký výběr vrtulí a je klíčové, aby každý dron měl vhodné vrtule, které jsou efektivní a účinné. Existuje několik základních parametrů, které lze upravit podle požadavků:

- Průměr vrtule (závisí na hmotnosti dronu)
- Zakřivení (ovlivňuje stoupavost)
- Materiál (určuje pevnost a odolnost proti vibracím)

Nejběžnější jsou dvojlisté vrtule, ale na menších dronech lze použít i třílisté (viz Obr. 7). Klíčovými parametry jsou průměr a stoupavost vrtule, které jsou obvykle udávány v palcích. Například označení 10 x 4,5 L znamená, že první číslo udává průměr v palcích (cca 30 cm) a druhé číslo označuje stoupavost v ideálním případě za jednu otáčku (cca 11,4 cm). Čím je vrtule plošší, tím je menší stoupání a naopak. Větší průměr vrtule umožňuje nesení větší hmotnosti a produkci více vztlaku, ale vyžaduje také vyšší krouticí moment motoru a vyšší proudový odběr (Pech, 2018).

Materiál vrtule je také důležitý. Levné vrtule z polyvinylchloridu (PVC) mohou být citlivé na vibrace a mohou se začít prohýbat při vysokých otáčkách. Moderní kompozitní materiály, jako jsou uhlíková vlákna, poskytují vyšší pevnost a lehkost. Některé drony mají sklopné vrtule, které jsou kompaktnější, ale těžší (Pech, 2018).

Posledním důležitým parametrem je průměr centrálního otvoru vrtule, který musí odpovídat průměru hřídele motoru. Je důležité zajistit správné zapojení fází motoru a správné utažení zajišťovací matky vrtule, aby nedošlo k uvolnění vrtule (Pech, 2018).



Obr. 7: Třílisté vrtule
Zdroj: (Rotorama, 2024)

1.6.7 Akumulátory

Pro pohon současných RC modelů jsou využívány lithium-polymerové (Li-Pol) akumulátory (viz obr. 8), které nahradily starší typy akumulátorů, jako jsou NiCd a NiMh. Li-Pol akumulátory mají výhodu větší kapacity při stejné hmotnosti, ale jsou obvykle dražší. Jejich nevýhodou je také jejich životnost, která závisí na způsobu používání. Li-Pol akumulátory však nemají paměťový efekt, takže není nutné je úplně vybit a poté znovu plně nabít. Každý Li-Pol akumulátor je složen z několika článků, které mohou být spojeny sériově nebo paralelně, což určuje celkové napětí a kapacitu akumulátoru. Napětí a kapacita se obvykle udávají ve formátu 3 S pro tři sériově spojené články a kapacita se udává v mAh (miliampérhodinách). Akumulátor je vybaven dvěma konektory, hlavním pro odběr energie a servisním, který umožňuje měření napětí každého článku zvlášť. Důležitým údajem je také hodnota C (C-rate), která udává maximální vybíjecí proud akumulátoru (Pech, 2018).



Obr. 8: Akumulátor

Zdroj:(GNB, 2024)

1.7 Programování dronu

Drony jsou vybaveny vlastním firmwarem v jejich řídicí jednotce, který zpracovává signály přijímané z dálkového ovladače. Vzhledem k neustálé inovaci firmware výrobců je důležité pravidelně aktualizovat a nastavovat nové verze tohoto softwaru ve řídicí jednotce.

1.7.1 Betaflight configurator

Betaflight Configurator je softwarový nástroj vyvinutý pro konfiguraci řídicích jednotek používaných v různých druzích dronů, quadcopterů a jiných multirotorových létajících zařízení. Tento nástroj je založen na open-source projektu Betaflight, který poskytuje firmware pro řídicí desky dronů.

Betaflight Configurator umožňuje uživatelům nastavovat různé parametry a funkce svých letových řadičů, jako je například nastavení PID regulátorů (pro stabilizaci letu), konfigurace vstupů ovladačů (například RC vysílačů), kalibrace senzorů (například gyroskopů a akcelerometrů) a mnoho dalšího.

Díky Betaflight Configuratoru mohou uživatelé ladit své drony tak, aby lépe vyhovovaly jejich potřebám a preferencím, a to včetně různých letových režimů a speciálních funkcí, jako je například acro režim pro pokročilé akrobatické manévry.

2 Experimentální část

Úvod experimentální části bakalářské práce je zaměřen na konkrétní implementaci a realizaci navržených konceptů spojených se stavbou dronu a využitím 3D tisku. Tato část práce přináší praktické aplikace teoretických poznatků, které byly popsány v předchozích kapitolách. Cílem je detailně popsat postup při konstrukci dronu, včetně využití technologií 3D tisku při výrobě klíčových komponentů. Představeny budou navržené a použité materiály, metody tisku a následně bude detailně rozebraný samotný proces sestavení a kalibrace dronu. Tato část práce slouží jako praktický důkaz funkčnosti a úspěšné realizace teoretických představ a přispívá k celkovému pochopení možností spojení stavby dronu a technologie 3D tisku v reálném prostředí.

2.1 Výběr komponentů

V této kapitole budou popisovány rozhodující faktory a kritéria, která vedla k volbě konkrétních komponentů pro stavbu dronu. Hlavními kritérii byla cena, využití, výkon a jednoduchost stavby.

2.1.1 Rám dronu

Rám, který byl vybrán, nese název Alien 5" (viz Obr.9). Jedná se o inovativní variantu tradičního freestyleového rámu, který poskytuje odolnou a překvapivě cenově dostupnou alternativu v oblasti freestyleových rámových konstrukcí. Konstrukce rámu je zhotovena z kvalitních 2 mm uhlíkových vláken, což zajišťuje vysokou torzní tuhost. Tato charakteristika je dále podpořena 4 mm rameny, což vytváří konstrukci freestyleového rámu s vynikající odolností a dostatkem prostoru pro další komponenty.

Model Alien 5" má navíc praktické příslušenství, jako jsou pěnové protiskluzové podložky pro baterii a přistávací pady, což zvyšuje jeho užitečnost a pohodlí při používání. Tato kombinace faktorů činí Alien 5" atraktivním a praktickým výběrem pro piloty různých úrovní zkušeností.

Další výhodou tohoto modelu pro zvolené účely je, že spodní rám ve tvaru „X“ není jednoduším celkem. Jednotlivá ramena lze odmontovat a vyměnit, což přináší flexibilitu a možnost údržby. Navíc není nutné tisknout rám jako celek, což je výhodné, protože většina dostupných 3D tiskáren nemá dostatečně velkou tiskovou plochu pro takové rozsáhlé tisky.



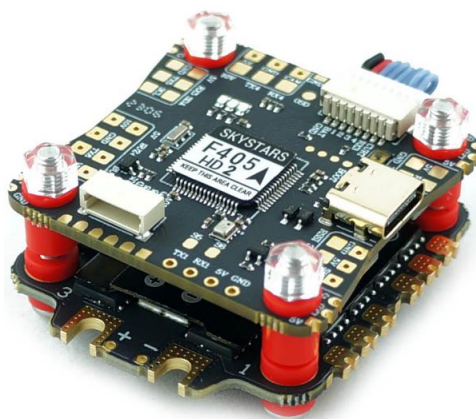
Obr. 9: Alien 5

Zdroj: (Readytosky, 2024)

2.1.2 Řídící jednotka a regulátor

Zvolena byla řídící jednotka Skystars F4+KO50 (viz Obr. 10), která představuje cenově dostupný balíček pro freestylové a závodní koptéry. Tato řídící jednotka s procesorem F405 disponuje 16MB paměti pro blackbox a nabízí BEC s výstupem 5 V/3 A nebo 10 V/2 A. Kromě toho je vybavena konektorem pro připojení DJI FPV a OSD, což usnadňuje používání na dronu s digitálním i analogovým video přenosem. Výraznými prvky jsou speciální pady umístěné v rozích jednotky, určené pro připojení LED diod. Celý set je doplněn 50 A regulátorem s BIHeli_S firmwarem.

Druhá verze tohoto produktu přináší několik vylepšení, včetně integrovaného barometru, rozšířené paměti pro blackbox na 16 MB a přítomnosti USB-C konektoru, čímž poskytuje zdokonalenou verzi oproti předchozím variantám.



Obr. 10: Řídící jednotka

Zdroj: (Skystars, 2024)

2.1.3 Přijímač

Přijímač, který byl použit, musel být v souladu s vysílačkou, která byla zapůjčena školou. Jedná se o lehký a kompaktní model Frsky XM+ (viz Obr. 11). Jednoduchý Sériově sběrníkový systém (SBUS) bez telemetrie, optimalizovaný pro malé koptéry. Tento přijímač zajišťuje spolehlivý příjem signálu z vysílačky.



Obr. 11: Přijímač

Zdroj: (Frsky, 2024)

2.1.4 Kamera

Pro zajištění vysoké kvality obrazu během letu padlo rozhodnutí na Caddx Ratel 2 Micro (viz Obr. 12). Tato výkonná kamera od výrobce Caddx přináší vynikající dynamický rozsah a široký zorný úhel. Oproti předchozí verzi je nová kamera navržena ve full case provedení ze slitiny hořčíku a hliníku, což zvyšuje její odolnost a zároveň snižuje celkovou hmotnost. S nízkou latencí je ideální pro použití v závodních koptérech, a přesto se osvědčí i v oblasti freestylu. Funkce přepínání poměru stran a standardní nastavení poskytují uživateli flexibilitu. Kamera dále disponuje velkým čipem o rozměrech 1/1.8", což z ní činí vhodný výběr i pro lety v náročnějších světelných podmínkách. Další výhodou této kamery je její atraktivní pořizovací cena, která nabízí vynikající poměr mezi cenou a výkonem.



Obr. 12: Kamera

Zdroj: (Caddx, 2024)

2.1.5 Video vysílač

Pro přenos obrazu z kamery byl využit Zeus VXT od společnosti HGLRC (viz Obr. 13), který je navržen pro použití v závodních i freestyle koptérách. Tento video vysílač disponuje integrovaným mikrofonom pro přenos zvuků během letu a dolní propustností (LC) filtrem. Možnost připojení je poskytnuta jak pomocí konektoru, tak připájením kabelů na připravené pady. Aktuálně zvolený kanál a pásmo jsou jasně indikovány pomocí LED diod, a přepnutí lze snadno provést díky dvěma tlačítkům. Výslednou výhodou je rovněž podpora nastavení prostřednictvím Betaflight a IRC Tramp protokolu. Regulovatelný výkon, který lze nastavit v rozmezí od 25 do 800 mW, poskytuje ideální možnost pro freestyle létání a pokrytí dlouhých vzdáleností. Flexibilita tohoto vysílače spočívá v možnosti umístění jak na velké 30x30 mm stacky, tak i do menších stacků s roztečí děr 20x20mm.



Obr. 13: Video vysílač

Zdroj: (HGLRC, 2024)

2.1.6 Motory

Výběr vhodných motorů byl ovlivněn řadou kritérií. Klíčové faktory zahrnují celkovou hmotnost kompletní sestavy, použité vrtule a záměr použití dronu. Vzhledem k tomu, že je sestavován dron primárně pro freestyle létání, byl kladen důraz na volbu motorů odpovídajících tomuto účelu. Zároveň však byly hledány motory, které poskytují dostatek výkonu pro rychlé a zábavné lety. Z tohoto důvodu byly zvoleny motory Xing-E (viz Obr. 14), které jsou ideální nejen pro freestyle, ale i pro závodní létání s výborným poměrem mezi cenou a výkonem. Tyto motory jsou odolné, výkonné a cenově dostupné.



Obr. 14: Motor

Zdroj: (iFlight, 2024)

2.1.7 Vrtule

Rozhodujícím kritériem pro výběr vrtulí byl počet listů. Moderní závodní a freestyle drony často využívají třílisté vrtule, což zajišťuje větší obratnost a rychlost. Byly proto použity třílisté vrtule od firmy Gemfan, které spojují tyto klíčové parametry. I když mají menší stoupavost a nižší maximální rychlost, což je jejich nevýhoda, pro dané potřeby jsou však ideální, protože při nižších rychlostech nabízejí zvýšenou obratnost, což je v tomto využití výhodou.

2.1.8 Další vybavení

Dalším vybavením, které bylo potřeba, je nabíječka a akumulátor (viz Obr. 15). Na doporučení odborníka, který má dlouhodobé zkušenosti s drony, bylo přistoupeno k šestičláňovým akumulátorům, které poskytují dostatečnou kapacitu pro prodloužené lety, a pro nabíjení byla zvolena nabíječka, která disponuje různými režimy nabíjení, stejně jako režimy pro uskladnění a vybíjení.



Obr. 15: Akumulátor a nabíječka

Zdroj: (Rotorama, 2024)

2.2 Stavba dronu

V této kapitole bude krok za krokem rozebráno, jak postavit funkční dron od složení rámu až po finální montáž. Vysvětleny budou základní principy a techniky, které jsou nezbytné pro úspěšné dokončení dronu.

2.2.1 Složení rámu

Při stavbě dronu je klíčové vytvořit stabilní rám (viz. Obr. 16), který bude schopen držet komponenty pohromadě a umožní snadnou montáž jednotlivých částí. Nejprve se na spodní desku nasadí ramena a spojí se. Po umístění ramen se na šrouby přiloží karbonová střední deska. Jakmile je deska na svém místě, nasadí se pojistné matice na šrouby a pevně se utáhnou.

Pro volné středové díry se použijí dlouhé šrouby, na které se bude umísťovat elektronika.



Obr. 16: Rám dronu
Zdroj: (Rotorama, 2024)

2.2.2 Připevnění motorů

Po postavení základu se přišroubují motory na rám. Je důležité dbát na správnou délku použitých šroubů, aby nedošlo k poškození závitu motoru, nebo na vniknutí šroubu do motoru. Na vnější straně ramene se použijí 8mm šrouby, které jsou přiložené u motorů. Naopak na vnitřní straně ramene, kde jsou vedeny kabely od statoru motorů, se použijí kratší 6mm šrouby. Motory se přišroubují tak, aby kabely směřovaly do středu rámu. Matky pro uchycení vrtule se následně připevní na motory, aby nedošlo k jejich ztrátě. Dále se kabely od motorů zafixují k ramenům pomocí elektrikařské pásky (viz Obr.17).



Obr. 17: Připevnění motorů
Zdroj: (Rotorama, 2024)

2.2.3 Připevnění regulátoru s řídicí jednotkou a napájení komponentů na regulátor

Regulátor se umístí na připravené dlouhé šrouby rámu tak, aby konektory pro baterii byly orientovány směrem dozadu. Je klíčové zajistit, aby žádná neizolovaná elektrická část komponentů nepřicházela do kontaktu s rámem, jelikož je vodivý a mohlo by dojít ke zkratu (viz Obr. 18).



Obr. 18: Uchycení regulátoru

Zdroj: (Rotorama, 2024)

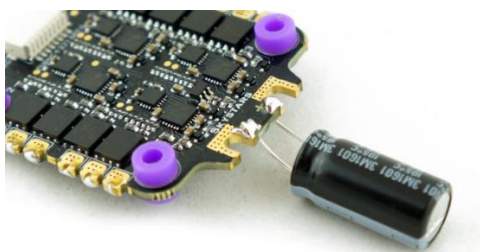
Dalším krokem je pokrytí plošek regulátoru tavným cínem pro připojení kabelů od motorů. Je klíčové, aby byl cín rovnoměrně rozprostřen po celé kontaktní ploše. Poté se provede měření kabelů od motorů a upraví se tak, aby dosahovaly optimální délky pro připojení k ploškám regulátoru. Kabely se poté pokryjí tavným cínem a připájí se na kontaktní plošky regulátoru pomocí pájky a následným ohřátím předem připraveného cínu (viz Obr. 19).



Obr. 19: Napájení motorů na regulátor

Zdroj: (Rotorama, 2024)

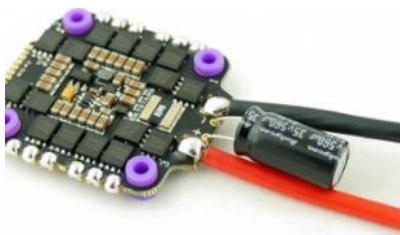
Dalším krokem je připájení kondenzátoru a konektorů baterie. Nohy kondenzátoru se zkrátí a nasunou do kontaktních děr v regulátoru a následně pomocí cínu a pájky se připájí. Důležité je dát velký pozor na polaritu. Pruh na kondenzátoru označuje mínus a musí přijít na mínus označeným na regulátoru (viz Obr.20).



Obr. 20: Připájení kondenzátoru

Zdroj: (Rotorama, 2024)

Poté se pokračuje připojováním kabelů od baterie. Postupuje se podobným způsobem jako u motorů, s tím rozdílem, že plošky baterie jsou značně větší a kabely tlustší. To znamená, že roztavení cínu na regulátoru a kabelu trvá déle, než se dostatečně prohřeje a roztaví (viz Obr. 21).



Obr. 21: Připájení kabelů od baterie

Zdroj: (Rotorama, 2024)

Když je vše připravené, spojí se regulátor s řídicí jednotkou pomocí 8pinového kabelu. Je potřeba si dát pozor, aby kabel nebyl zapojen obráceně (viz Obr. 22).

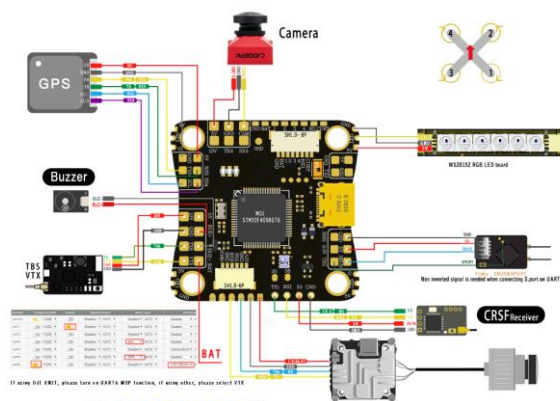


Obr. 22: Připojení řídicí jednotky

Zdroj: (Rotorama, 2024)

2.2.4 Připevnění kamery a zapojení

Na přední část rámu se připevní distanční šrouby a následně se na ně umístí držák kamery, který je součástí rámu. Je důležité zajistit, aby byly držáky umístěny co nejblíže k sobě, aby kamera udržela svůj nastavený úhel a neklouzala. Pevnost připevnění kamery pomocí šroubů ověříme jemným otřesem rámu. Poté se připojí tři kabely od kamery k řídicí jednotce. Je důležité dát pozor, ke kterému účelu slouží jednotlivé kabely. Schéma zapojení řídicí jednotky poskytne informace o tom, kam přesně jednotlivé kabely připojit (viz Obr. 23).



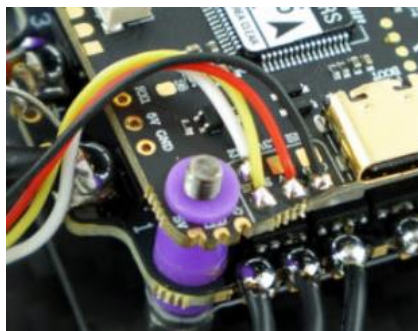
Obr. 23: Schéma zapojení FC

Zdroj: (Rotorama, 2024)

Když je kamera na svém místě, připájí se k řídicí jednotce. Pro připojení kamery slouží plošky GND, 5 V a CAM. GND je zem a spojí se s černým kabelem, 5 V je napájení pro kameru a spojí se s červeným kabelem, CAM je vstup video signálu a spojí se se žlutým kabelem.

2.2.5 Připojení přijímače

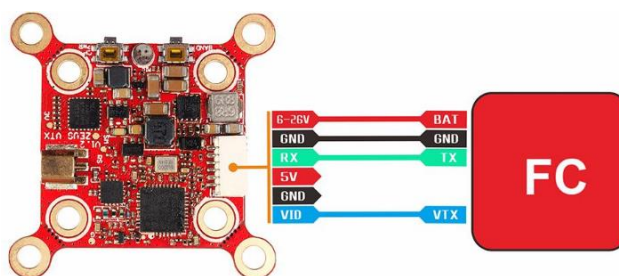
Podle schématu přijímače se připraví jednotlivé kabely a připájí se stejným způsobem jako motory. Následně se zjistí zapojení FC, kam se připojí jednotlivé kabely. V tomto případě bylo využito plošky GND, 5 V a SBUS výstup (viz Obr. 24).



Obr. 24: Zapojení přijímače
Zdroj: (Rotorama, 2024)

2.2.6 Instalace video vysílače

Připojení většiny vysílačů probíhá obdobně jako u přijímačů. U daného modelu byla možnost připájet jednotlivé kabely k vysílači nebo využít předem připravený 6pinový konektor. Kvůli nejistotě ohledně funkce jednotlivých kabelů a odlišnému schématu zapojení zvolené řídicí jednotky, bylo rozhodnuto o použití konektoru. Na internetu dá najít schéma zapojení odpovídající označením na základní desce a kabely byly připojeny podle něj. Dva nevyužitě kabely byly schovány pro případné opravy v důsledku nesprávného zapojení (viz Obr.25).



Obr. 25: Schéma zapojení video vysílače
Zdroj: (Rotorama, 2024)

Video vysílač byl následně umístěn nad řídicí jednotku, byla do něj zapojena anténa, rovněž připevněna k rámu.

2.2.7 Kompletace

Posledními úkony při montáži bylo připojení konektoru XT60 na napájecí kabely baterie. Je nutné správně zahřát konektor a kabely, aby došlo k rovnoměrnému roztavení cínu. Je také důležité zajistit, aby spojení bylo co nej kvalitnější, aby nedocházelo k vytváření odporu při průchodu elektrického proudu (viz Obr. 26).



Obr. 26: Napájení konektoru XT60 pro baterii

Zdroj: (Rotorama, 2024)

Následně se přišroubuje vrchní kryt rámu a dron je připravený na první spuštění (viz Obr. 27).



Obr. 27: Hotový dron

Zdroj: (Vlastní, 2024)

2.3 Softwarové nastavení dronu a první spuštění

V této kapitole bude detailně rozebráno, jak nastavit dron, a jak otestovat, zda všechno funguje. Pro nastavení řídicí jednotky bude používán program Betaflight configurator, který již byl představen v teoretické části.

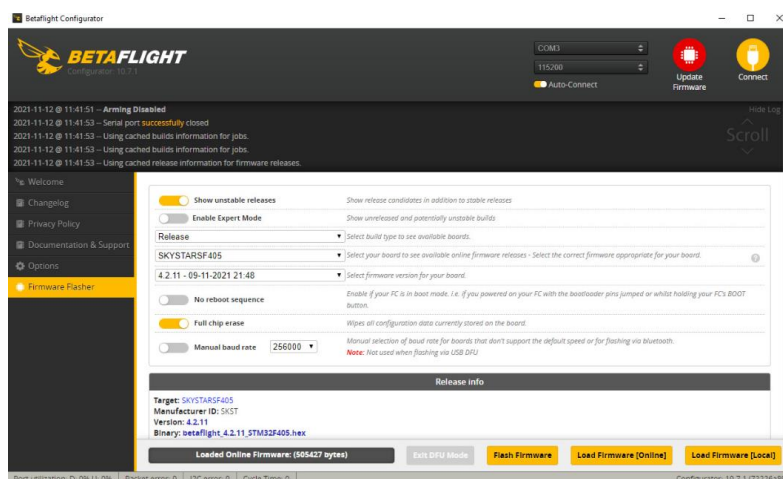
2.3.1 Spárování s vysílačkou

Prvním krokem je synchronizace vysílačky s přijímačem, přičemž je zásadní, aby obě zařízení používala stejný protokol pro vysílání a příjem signálů. V tomto případě bylo nutné prostřednictvím menu vysílačky aktivovat hledání a připravit ho k párování s přijímačem. Po této proceduře bylo potřeba stisknout tlačítko na přijímači, což ho převedlo do párovacího režimu. Správnost párování je signalizována rozsvícením zelené diody na přijímači. Důležité je udržovat vysílačku a přijímač v dostatečné vzdálenosti, neboť blízkost může narušit párování. Mezi zařízeními je třeba zachovat minimální rozestup jednoho metru.

2.3.2 Připojení dronu k počítači a nastavení přes Betaflight

Moderní řídicí jednotky jsou vybaveny konektorem USB-C, který umožňuje snadné připojení k počítači. Po připojení a spuštění aplikace Betaflight se může zkontrolovat nastavení dronu a provést případné úpravy.

Prvním krokem byla aktualizace firmware řídicí jednotky. Po připojení k počítači se stisklo tlačítko „Update Firmware“, byla vybrána jednotka SKYSTARSF405 a nejnovější verze firmwaru. Byla také vybrána možnost „Full chip erase“. Po zvolení jednotky a firmwaru bylo kliknuto na tlačítko „Load Firmware [Online]“ v pravém dolním rohu a následně na „Flash Firmware“. Port COM se změnil na „DFU“ a firmware byl automaticky nahrán do jednotky (viz Obr. 28).

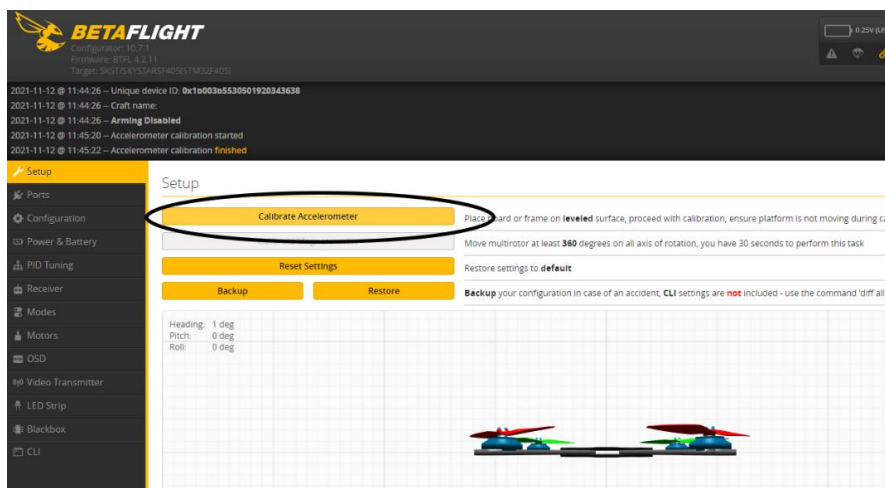


Obr. 28: Flash FC

Zdroj: (Vlastní, 2024)

Po aktualizaci firmware se otevře menu, ve kterém se mohou testovat a nastavovat jednotlivé komponenty dronu.

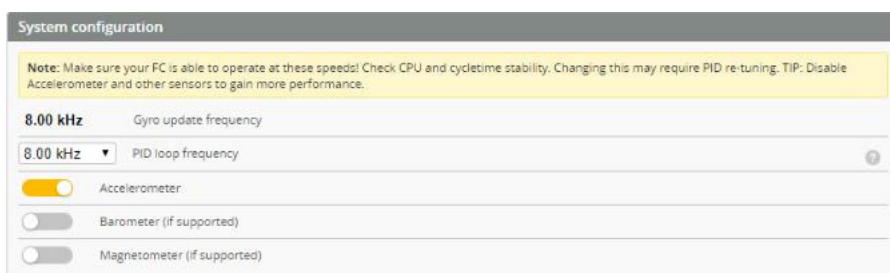
Prvním krokem byla kalibrace akcelerometru. Dron musel být položen na rovný povrch a poté kliknuto na tlačítko Calibrate Accelerometer. Model dronu zobrazený pod tlačítky se měl naklánět stejným způsobem jako skutečný dron (viz Obr. 29).



Obr. 29: Kalibrace akcelerometru

Zdroj: (Vlastní, 2024)

Záložce Configuration v tabulce System configuration byl vypnut Barometer a Magnetometer, který deska nemá. Frekvence PID loop byla místo doporučených 8 kHz nastavena na 4kHz, z důvodu menšího využití procesoru (viz Obr. 30).



Obr. 30: Nastavení frekvence

Zdroj: (Vlastní, 2024)

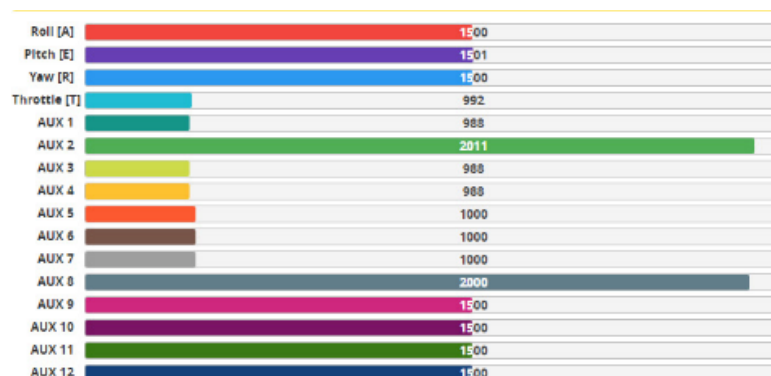
V záložce Receiver byly vybrány možnosti Serial-based receiver a protokol SBUS, dle použitého přijímače (viz Obr. 31).



Obr. 31: Nastavení protokolu vysílačky

Zdroj: (Vlastní, 2024)

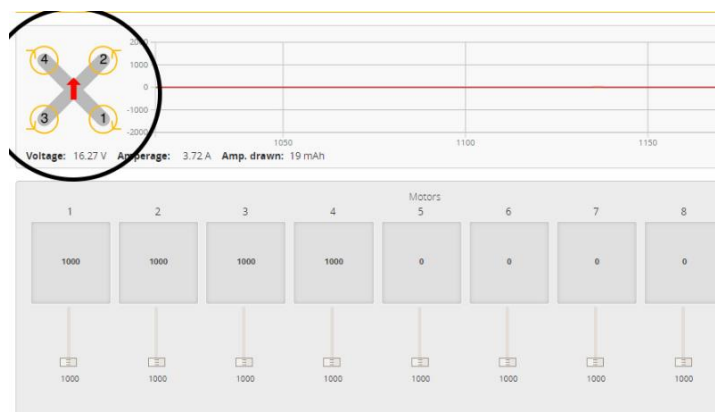
V této záložce jsou vidět grafy zobrazující aktuální hodnotu kanálů. Měly by reagovat na pohyb kniplů na vysílačce.



Obr. 32: Hodnoty přijímaného signálu

Zdroj: (Vlastní, 2024)

V záložce Motors bylo vyzkoušeno (viz Obr.33), zda všechny motory fungují, a zda se točí správným směrem. Důležité je myslet na to, že z motorů musí být sundané vrtule.



Obr. 33: Test motorů

Zdroj: (Vlastní, 2024)

Posledním provedeným krokem bylo nastavení ovládacích prvků dronu na přepínačích vysílačky.

První byl nastavený režim ARM, který zabraňuje nechtěnému roztočení motorů, pokud je aktivován. Tento režim slouží jako bezpečnostní prvek při manipulaci se zapnutým dronem.

Dále pak na dalším přepínači byl zvolen třístupňový režim letu. První poloha, označená jako ANGLE, omezuje náklon dronu na maximálně 30 stupňů, což zajišťuje stabilní let. Druhý režim, HORIZONT, dává ještě menší volnost pohybu, což umožňuje dronu zůstat v klidu ve vzduchu. Třetí poloha, označená jako ACRO, umožňuje pilotovi provádět akrobatické manévry s plnou kontrolou nad dronem, aniž by byl omezen stabilizačními funkcemi.

2.4 Problematika

V této kapitole budou popsány problémy, které se vyskytly při stavbě dronu.

2.4.1 První problém – nářadí

První problém nastal ihned při montáži rámu. Šrouby, které bylo potřeba do rámu zasunout, měly imbusovou hlavičku o velikosti 1, zatímco zajišťovací matice měly velikost 5,5. K dispozici nejmenší imbusový klíč však měl velikost 2 a klíč na matice byl o velikostech 5 a 6. Proto bylo nezbytné si pořídit hodinářskou sadu, abych bylo možné problém vyřešit.

2.4.2 Druhý problém – cín (pájka)

Dalším nečekaným problémem se ukázal špatný cín. Pro pájení dronů je doporučován olovnatý cín, který je určen především pro profesionální použití a není dostupný pro běžné spotřebitele.

Bezolovnatý cín má mnohem vyšší teplotu tání než olovnatý cín, což způsobuje velké obtíže při práci s ním. Nakonec byl problém vyřešen návštěvou zkušeného letitého opraváře televizorů, který olovnatý cín pro danou práci věnoval.

2.4.3 Třetí problém – zlomený konektor od antény

Kvůli nevhodnému umístění video vysílače vznikly potíže s konektorem pro připojení antény. Kvůli již zapojeným a zkráceným kabelům od video vysílače nebylo možné konektor připojit. Část konektoru od antény byla zalomena do konektoru na vysílači. Problém nastal, když nešlo část vytáhnout. Bylo tedy nutné připojit zbytek konektoru od antény a připájet celou část ke konektoru od vysílače. Vše ale funguje správně.

2.4.4 Čtvrtý problém – nefunkční motor

Během testování motorů bylo zjištěno, že se jeden z nich netočí, jak by měl. Snaha byla identifikovat příčinu a vyzkoušet odpájet a znovu připájet kabely od motoru. Tento krok však nepřinesl žádné zlepšení. Dalším pokusem bylo vyzkoušení jiného motoru, který fungoval bez potíží, což vyloučilo problém s regulátorem. Když došlo k pokusu o znovuvěření starého motoru, ten se náhle roztočil a začal fungovat normálně, avšak po chvíli opět přestal reagovat. Nakonec se přišlo na to, že byly omylem použity příliš dlouhé šrouby k upevnění motoru na vnitřní straně rámu, čímž byl poškozen jeden z kabelů. Po povolení šroubů se motor opět začal bez problémů otáčet.

2.4.5 Pátý problém – protokol přijímače

K dronu byla zapůjčena vysílačka, která byla trochu starší a nepodporovala nejnovější protokoly. Při pokusu o párování s přijímačem vyšlo najevo, že protokoly nejsou kompatibilní, takže bude nutné aktualizovat starý protokol buď ve vysílačce, nebo v přijímači. Protože flashování bylo možné pouze v přijímači, jiná možnost nepřipadala v úvahu. Ze stránek výrobce byl stažen starý protokol a uložen na paměťovou kartu. Od kamaráda byla zapůjčena nová vysílačka s možností vkládání paměťových karet a karta s protokolem do ní byla vložena. Poté byla připojena k přijímači, vybrán na ní soubor s protokolem a provedeno flashování kliknutím na příslušné tlačítko. Během krátké doby byl protokol úspěšně aktualizován a bylo možné se připojit k vysílači pomocí zapůjčené vysílačky.

2.5 Tvorba 3D komponentů dronu

V této kapitole bude popsáno, jaký software byl využit, a jak vytváření částí dronu pro 3D tisk probíhalo.

2.5.1 Výběr softwaru

Byla zvolena tvorba 3D komponentů v programu SolidWorks z několika důvodů. Jednak s tímto softwarem pracuje kolega, který má s programem zkušenosti a díky tomu bylo možné v procesu tvorby výrazně pomoci a poskytovat cenné rady. Díky jeho znalostem došlo k získání základních znalostí v SolidWorks, který je brán jako efektivní nástroj pro tvorbu 3D modelů. Navíc SolidWorks nabízí široké spektrum funkcí a nástrojů pro tvorbu modelů, analýzy a vytváření výkresů, což umožňovalo realizovat návrhy s přesností a detailností, kterou bylo potřeba pro daný projekt. Spolehlivost, uživatelská přívětivost a možnost spolupráce s jinými uživateli, byly dalšími faktory, které přesvědčily o výhodách práce v programu SolidWorks.

2.5.2 Tvorba modelu

Protože projekty vyžadovaly tisk dílů s volnými tvary, nebyla pro začátečníka tvorba 3D komponentů v SolidWorks jednoduchá a reprodukovat tyto tvary s požadovanou přesností se stalo výzvou. Řešením obtížné situace bylo využití funkce vkládání skenů, jako podkladu v SolidWorks. Všechny komponenty, které se měly vytvářet, byly oskenovány na tiskárně Canon PIXMA MG3650S a vloženy jako referenční podklad, který se následně obkresloval (viz Obr. 34). Nicméně, je třeba zdůraznit, že skeny nejsou nikdy absolutně přesné, a proto bylo, pro jistotu, provedeno dodatečné měření jednotlivých děr na šrouby a také délky, šířky a výšky jednotlivých částí. Po získání těchto rozměrů byl upraven obkreslený model a díky nim také pozice děr na šrouby, což zajistilo větší přesnost a shodu s požadovanými specifikacemi. Tato kombinace skenů a ručního měření umožnila efektivně a přesně tvořit složité tvary a dosáhnout výsledků odpovídajícím skutečným komponentům.



Obr. 34: Skeny a modely

Zdroj: (Vlastní, 2024)

2.6 Tisk 3D modelů

V této kapitole bude popsán postup tisku vytvořených komponentů v předchozí kapitole.

2.6.1 Testovací tisk

Vzhledem k potřebě ověřit shodu všech modelů s originálními díly, padlo rozhodnutí vytisknout kontrolní vzorky. Tyto vzorky slouží pouze k ověření správnosti a k nastavení tisku. Pro tisk byla použita tříosá 3D tiskárna Deltiq od společnosti Trilab. Po vytisknutí byly vzorky porovnány s originály a bohužel zjištěny drobné rozdíly ve velikosti. Následně byly modely upraveny a zkouška byla zopakována. Po dalším tisku se znovu vzorky porovnaly a tentokrát vše odpovídalo originálním dílům. To umožnilo pokračovat v testování dalšími vzorky.

2.6.2 První tisk materiálem polyamid s krátkým uhlíkovým vláknem

Pro první testovací byl zvolen materiál polyamid Smooth PA (Carbon fiber filled polyamide). Při přípravě na tisk se muselo provést řadu úprav a nastavení tiskárny, jako například pečlivě zvolit teplotu trysky nastavenou na 255 °C a teplotu podložky na 90 °C. Kromě toho se muselo aplikovat na podložku lepidlo vhodné na polyamidový materiál, což zajistilo optimální přilnavost během tisku a zároveň snadné uvolnění hotových modelů po dokončení. Dále bylo nastaveno vrstvení tisku na 0,4 mm, aby byl výsledný produkt co nejkvalitnější.

Samotný tisk probíhal na tříosé 3D tiskárně Deltiq od společnosti Trilab bez jakýchkoli zjevných problémů. Po dokončení tisku byly pečlivě odstraněny modely z desky pomocí špachtle a provedeno důkladné začistění, aby se zajistil jejich dokonalý vzhled a povrchová kvalita. Celkově lze říci, že první testovací vzorek byl úspěšně vytištěn a připraven k dalšímu zkoumání.

2.6.3 Druhý tisk kompozitním materiálem s příměsí uhlíkových vláken

Pro druhý testovací exemplář byl zvolen materiál Smooth PA (Carbon fiber filled polyamide), CFC PA (Plastic filament for Composite Fiber) a Composite carbon fiber (karbonové vlákno). Během tisku se postupovalo podle doporučení zkušeného kolegy v oblasti 3D tisku, zejména v kompozitním tisku. Nastaveny byly parametry, jako je průtok plastu na 110 %, teplotní korekce plastu o 10 °C a kompozitního materiálu o 5 °C, teplota podložky 90 °C a teplota trysky 255 °C.

Tisk se prováděl na tiskárně Anisoprint Composer A4. S ohledem na vysokou cenu tiskárny a náklady na materiál, se tisk pečlivě monitoroval, aby se předešlo případným problémům, které by mohly vést ke vzniku vadných výrobků. Tisk proběhl bez komplikací a po dokončení byly pouze očištěny hotové výrobky.

2.7 Testování modelů z polyamidu s uhlíkovým vláknem

Otestování materiálu se bude provádět pohledem, tahovou zkouškou a vyhodnocením letových dat. Důležité je zdůraznit, že všechny modely odpovídají velikostně originálním dílům z karbonové desky.

2.7.1 Pohledová zkouška

Při běžném zkoumání vytisknutých dílů vyšlo najevo, že jsou výrazně pružnější než originální díly, přestože zachovávají stejné rozměry. Kromě toho tisk nebyl úplně dokonalý, což vyžadovalo důkladnější čištění a rozšíření otvorů, které nebyly vyvedeny s optimální kvalitou.

2.7.2 Testovací let a vyhodnocená data

Testovací let nebylo možné uskutečnit kvůli nedostatečné pevnosti a vysoké pružnosti zejména ramen dronu. S ohledem na vysoký tah motorů dronu, bylo riziko, že při zvýšení plynu by motory vyvinuly takový tlak na rám, že by došlo k jeho prasknutí. To by mohlo vést nejen k poškození motorů, ale také k možnému poškození regulátoru a řídicí jednotky, protože jsou s nimi spojeny kabely od motorů.

2.8 Testování modelů z kompozitního materiálu s příměsí uhlíkových vláken.

Testování materiálu bylo prováděno pomocí vizuální kontroly, tahových zkoušek a analýzy letových dat. Je důležité zdůraznit, že veškeré modely jsou ve svých rozměrech shodné s originálními díly vyrobenými z karbonové desky.

2.8.1 Pohledová zkouška

Po důkladném vizuálním posouzení bylo zjištěno, že kompozitní díly jsou sice výrazně pevnější než ty předchozí, nicméně nedosahují takové pevnosti originálních dílů při zachování stejných rozměrů. Tisk byl sice přesnější a celkově estetičtější, avšak stále bylo patrné, že nedosahuje dokonalého stavu.

2.8.2 Testovací let s kompozitním rámem a vyhodnocená data

Díly během testovacího letu fungovaly dobře, avšak stále byla zřejmá jejich pružnost, která ovlivňovala přesnost a spolehlivost dronu, zejména při náhlých manévrech. Pro začínajícího nezkušeného pilota, to sice nebyl zásadní problém, ale zkušenější letci by mohli pociťovat nedostatečnou stabilitu dronu. Tato pružnost by mohla být překážkou pro přesné řízení dronu ve složitějších situacích.

3 Výsledky a diskuse

V této závěrečné práci bylo docíleno sestavení funkčního dronu, vytvoření 3D komponentů rámu, úspěšné vytisknutí nosné části a následné testování.

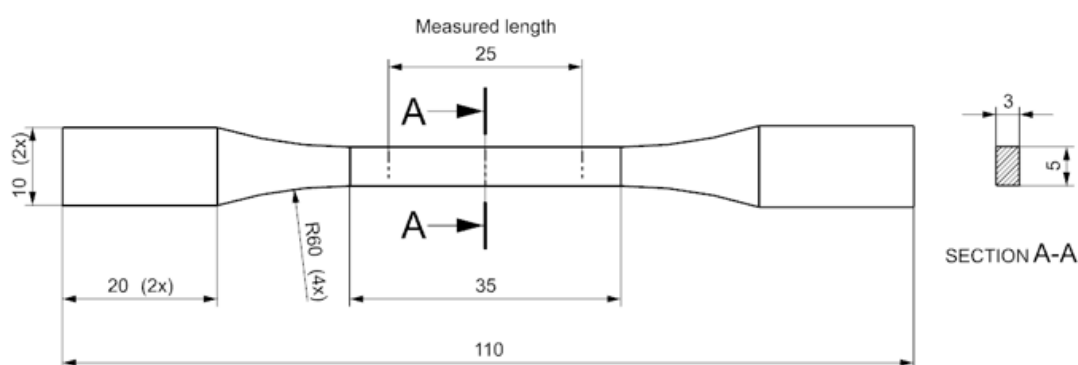
3.1 Tahová zkouška

Mechanické vlastnosti byly testovány prostřednictvím tahových zkoušek provedených na zařízení Instron 3345 (Instron, USA). Parametry testování byly stanoveny v souladu s normami ČSN EN ISO 527-1, ČSN EN ISO 527-5 a ČSN EN ISO 527-4. Tahové zkoušky byly provedeny na vzorcích podle zobrazených specifikací na obr. 37. Z výsledků (viz Tab. 1) můžeme pozorovat, že kompozitní materiál je v tahové zkoušce odolnější než materiál z polyamidu.

Tab. 1: Tahová zkouška

Vzorek	Tahové napětí / MPa	Youngův modul pružnosti / MPa
Polyamidový tisk	34±1	2279±33
Kompozitní tisk	64±5	4166±623

Zdroj: Vlastní (2024)



Obr. 35: Tahová zkouška

Zdroj: Vlastní (2024)

3.2 Hmotnostní analýza dílů

Tab. 2: Hmotnost dílů

Hmotnost / g	Originál	Polyamid	Kompozit
Spodní destička	18,14	10,71	11,61
Horní destička	13,89	8,29	8,21
Rameno	5,23	3,15	3,07

Zdroj: Vlastní (2024)

Hmotnost výrobků z polyamidu a kompozitu jsou téměř shodné (viz Tab. 2), ovšem oproti originálním komponentům z karbonové destičky jsou lehčí. Hmotnost byla ověřována na tiskárně od firmy Aczet model CY6102C.

3.3 Vyhodnocení letových dat dronu s originálním rámem

Dron s originálním rámem reagoval velice rychle a hbitě. Při přidání plného plynu dron velice rychle zrychlil na jeho maximální rychlost, stejně tak při zastavování zastavil téměř okamžitě.

Na Obr. 36 můžeme pozorovat let sestaveného dronu s originálním rámem s externě připevněnou GPS Garnin LEGEND HCx. Na Obr. 36 vidíme údaje o výšce, rychlosti a délce etapy. Záznamy o letu byly pořizovány každých 5 sekund.

Vlastnosti Graf Poznámky							
ACTIVE LOG 001							
Shnutí		Čas		Rychlost		Nadmořská výška	
Body: 23		Uplýnulý čas: 0:01:50		Průměr: 16.7 km/h		Minimální: 105 m Výstup: 113 m	
Vzdálenost: 509 m		Čas pohybu: 0:01:45		Průměr pohybu: 17.5 km/h		Maximální: 225 m Sestup: 1 m	
Plocha: 262 m ²		Doba zastávek: 0:00:05		Minimální: 0.3 km/h		Stupeň: 23.3 %	
				Maximální: 98 km/h			
Index	Nadmořská výška	Délka etapy	Čas úseku	Rychlost úseku	Azimut úseku	Čas	Pozice
1	106 m	3 m	0:00:05	2.5 km/h	223.1° True	23.08.2004 19:26:31	N49° 23...
2	105 m	3 m	0:00:05	2.0 km/h	166.4° True	23.08.2004 19:26:36	N49° 23...
3	109 m	15 m	0:00:05	11 km/h	244.6° True	23.08.2004 19:26:41	N49° 23...
4	109 m	6 m	0:00:05	4.4 km/h	98.1° True	23.08.2004 19:26:46	N49° 23...
5	120 m	3 m	0:00:05	2.0 km/h	98.5° True	23.08.2004 19:26:51	N49° 23...
6	125 m	23 m	0:00:05	16 km/h	107.6° True	23.08.2004 19:26:56	N49° 23...
7	133 m	103 m	0:00:05	74 km/h	357.5° True	23.08.2004 19:27:01	N49° 23...
8	138 m	15 m	0:00:05	11 km/h	270.0° True	23.08.2004 19:27:06	N49° 23...
9	141 m	5 m	0:00:05	3.8 km/h	90.0° True	23.08.2004 19:27:11	N49° 23...
10	155 m	136 m	0:00:05	98 km/h	168.3° True	23.08.2004 19:27:16	N49° 23...
11	154 m	9 m	0:00:05	6 km/h	92.3° True	23.08.2004 19:27:21	N49° 23...
12	155 m	6 m	0:00:05	5 km/h	20.8° True	23.08.2004 19:27:26	N49° 23...
13	156 m	3 m	0:00:05	2.5 km/h	14.0° True	23.08.2004 19:27:31	N49° 23...
14	158 m	9 m	0:00:05	6 km/h	270.2° True	23.08.2004 19:27:36	N49° 23...
15	165 m	12 m	0:00:05	9 km/h	341.7° True	23.08.2004 19:27:41	N49° 23...
16	170 m	114 m	0:00:05	82 km/h	352.3° True	23.08.2004 19:27:46	N49° 23...
17	175 m	4 m	0:00:05	3.1 km/h	90.0° True	23.08.2004 19:27:51	N49° 23...
18	183 m	3 m	0:00:05	2.5 km/h	90.0° True	23.08.2004 19:27:56	N49° 23...
19	189 m	0 m	0:00:05	0.3 km/h	90.0° True	23.08.2004 19:28:01	N49° 23...
20	198 m	17 m	0:00:05	12 km/h	67.7° True	23.08.2004 19:28:06	N49° 23...
21	208 m	15 m	0:00:05	11 km/h	67.7° True	23.08.2004 19:28:11	N49° 23...
22	219 m	3 m	0:00:05	2.5 km/h	67.8° True	23.08.2004 19:28:16	N49° 23...
23	225 m					23.08.2004 19:28:21	N49° 23...

Obr. 36: Let s originálním rámem

Zdroj: Vlastní (2024)

3.4 Vyhodnocení letových dat dronu s polyamidovým rámem

Testovací let nemohl být uskutečněn, protože nosná část dronu zejména ramen nedosahovala takové pevnosti k zajištění letu. Při zvýšení tahů motorů vzniklo riziko, že se ramena vyvine takový tlak, že ramena prasknou a dron se nenávratně poškodí, proto bylo od testování upuštěno.

3.5 Vyhodnocení letových dat dronu s kompozitním rámem

Dron s kompozitním rámem létal, ale bylo vidět, že je rám méně pevný. Při přidání plynu dron nestoupal kolmo vzhůru, ale kvůli prohnutí ramen při tahu motorů se při stoupání různě nakláněl a vybočoval ze směru. Z důvodu rizika prasknutí rámu byl proveden let v nízké rychlosti s co nejmenším zatížením.

Na Obr. 37 můžeme pozorovat let sestaveného dronu s kompozitním rámem s externě připevněnou GPS Garnin LEGEND HCx. Na Obr. 37 vidíme údaje o výšce, rychlosti a délce etapy. Záznamy byly pořizovány každých 5 sekund.

Vlastnosti Graf Poznámky							
ACTIVE LOG 001							
Shnutí		Čas		Rychlost		Nadmořská výška	
Body: 17		Uplýnulý čas: 0:01:20		Průměr: 5.6 km/h		Minimální: 260 m	
Vzdálenost: 125 m		Čas pohybu: 0:01:00		Průměr pohybu: 7.5 km/h		Maximální: 264 m	
Plocha: 18 m2		Doba zastávky: 0:00:20		Minimální: 0.4 km/h		Výstup: 3 m	
				Maximální: 16 km/h		Sestup: 6 m	
						Stupeň: -1.9 %	
Index	Nadmořská výška	Délka etapy	Čas úseku	Rychlost úseku	Azimut úseku	Čas	Pozice
1	264 m	11 m	0:00:05	8 km/h	262.9° True	22.08.2004 16:31:34	N50° 20...
2	264 m	7 m	0:00:05	5 km/h	340.0° True	22.08.2004 16:31:39	N50° 20...
3	264 m	21 m	0:00:05	15 km/h	142.5° True	22.08.2004 16:31:44	N50° 20...
4	264 m	10 m	0:00:05	7 km/h	104.6° True	22.08.2004 16:31:49	N50° 20...
5	261 m	1 m	0:00:05	0.9 km/h	297.7° True	22.08.2004 16:31:54	N50° 20...
6	263 m	22 m	0:00:05	16 km/h	302.0° True	22.08.2004 16:31:59	N50° 20...
7	263 m	2 m	0:00:05	1.6 km/h	313.3° True	22.08.2004 16:32:04	N50° 20...
8	263 m	13 m	0:00:05	10 km/h	108.6° True	22.08.2004 16:32:09	N50° 20...
9	262 m	1 m	0:00:05	0.4 km/h	127.3° True	22.08.2004 16:32:14	N50° 20...
10	260 m	1 m	0:00:05	0.8 km/h	259.6° True	22.08.2004 16:32:19	N50° 20...
11	262 m	5 m	0:00:05	3.8 km/h	289.8° True	22.08.2004 16:32:24	N50° 20...
12	260 m	10 m	0:00:05	7 km/h	274.0° True	22.08.2004 16:32:29	N50° 20...
13	260 m	11 m	0:00:05	8 km/h	99.0° True	22.08.2004 16:32:34	N50° 20...
14	261 m	6 m	0:00:05	4.1 km/h	64.5° True	22.08.2004 16:32:39	N50° 20...
15	261 m	1 m	0:00:05	0.5 km/h	30.9° True	22.08.2004 16:32:44	N50° 20...
16	262 m	3 m	0:00:05	2.1 km/h	115.6° True	22.08.2004 16:32:49	N50° 20...
17	262 m					22.08.2004 16:32:54	N50° 20...

Obr. 37: Let s kompozitním rámem

Zdroj: Vlastní (2024)

3.6 Vyhodnocení

Analýza výsledků

Cílem práce bylo úplné nahrazení originálních částí nosné konstrukce dronu pomocí aditivní technologie. Zjistilo se, že modely z materiálu polyamid s krátkým uhlíkovým vláknem byly pevnostně nedostatečné a nebylo možné provést testovací let. Modely z kompozitního materiálu byly možné použít na nosnou část rámu dronu, avšak byly nedostatečné pro úplné nahrazení původních částí kvůli nižší pevnosti v porovnání s originálními částmi.

Vyhodnocení cílů a hypotéz

Využití 3D tisku pro tisk nosné části je možný, ale je zapotřebí optimalizace tisku a optimalizace rozměrů modelů pro zajištění větší pevnosti.

Budoucí směry výzkumu

Dalšími kroky ve výzkumu, bude věnována důslednosti na různé styly modelů, optimalizaci tisku, a výběr materiálů.

Závěr

Závěrem bakalářské práce lze konstatovat, že aditivní technologie, zejména 3D tisk, představují v současném průmyslu klíčový nástroj pro inovace a rozvoj nových možností v oblasti konstrukce a výroby. Tato práce se zaměřila na zkoumání a demonstraci využití 3D tisku pro výrobu konstrukčních částí dronu, který se stává stále důležitějším prvkem v různých odvětvích, od vojenských aplikací po průmyslová měření či osobní použití.

Teoretická část práce se zabývala drony a základy aditivních technologií, přičemž zdůraznila výběr účelu dronu, důležitost správného výběru dílů a materiálů a jejich fyzikálně-mechanické vlastnosti s ohledem na konstrukci dronů. V experimentální části práce byly připraveny modely pro 3D tisk, proveden samotný tisk a sestavení funkčního dronu, jehož letová data byla následně vyhodnocena. Cílem bylo ověřit proveditelnost a výkonnost dronu s použitím aditivní technologie. Vytvořený funkční prototyp dronu demonstroval výhody a omezení 3D tisku a poskytl doporučení pro optimalizaci tisku a rozměrů tisknutých modelů.

Bakalářská práce přispívá k lepšímu porozumění a využití aditivních technologií v oblasti výroby dronů a otevírá nové perspektivy pro vývoj a výrobu technologicky pokročilých bezpilotních letounů. Očekává se, že tento přístup přinese významné vylepšení v návrhu, výrobě a údržbě dronů, posune hranice jejich využití a podnítl další inovace v oblasti bezpilotních systémů.

Seznam použité literatury

- ALZA A.S, 2023. Pravidla pro létání s drony 2023 (LEGISLATIVA) | Alza.cz. Alza.cz [online]. B.m.: Alza.cz [vid. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/pravidla-pro-drony-legislativa#eu-strucne>
- BETAFLIGHT, 2024. Betaflight - Pushing the Limits of UAV Performance | Betaflight. Betaflight.com [online] [vid. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://betaflight.com/>
- ČESKÁ TELEVIZE, 2024. K čemu slouží drony - ČT edu - Česká televize. ČT edu [online] [cit. 2024-01-04]. Dostupné z: <https://edu.ceskatelevize.cz/namet/k-cemu-slouzi-drony>
- DRONERULES, 2024. Pro rekreační uživatele - Drone Rules. Dronerules.eu [online] [cit. 2024-01-04]. Dostupné z: <https://dronerules.eu/cs/recreational/>
- DRONPRO, 2024. Školení PRVNÍ START zdarma k nákupu dronu. DronPro [online] [cit. 2024-01-04]. Dostupné z: <https://dronpro.cz/drony-v-prumyslu>
- DRONY-KAMERY, 2016. Dron Má Letos Narozeniny! - Drony-kamery.cz. Drony-kamery.cz [online] [vid. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.drony-kamery.cz/2016/08/19/dron-ma-letos-narozeniny/>
- FABHEADS, 2021. 3D Printed Drones - Future of Drone fabrication - Fabheads. Fabheads [online] [cit. 2024-01-04]. Dostupné z: <https://fabheads.com/blogs/3d-printed-drones-future-of-drone-fabrication/>
- FLYGUYS, 2021. FlyGuys. FlyGuys [online] [cit. 2024-01-04]. Dostupné z: <https://flyguys.com/drone-technology-commercial-uses-applications/>
- FYFT, 2021. Jak vybrat dron. fyft.cz [online] [vid. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.fyft.cz/drone-racing-clanky/jak-vybrat-dron-pro-zacatecniky/>
- FYFT, 2024. Jak ovládnout Betaflight Configurator? | Návod. fyft.cz [online] [vid. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.fyft.cz/drone-racing-clanky/jak-na-betaflight-configurator/>
- GE ADDITIVE, 2015. What is Additive Manufacturing | GE Additive. Ge.com [online] [cit. 2024-01-04]. Dostupné z: <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing>
- LINKEDIN, 2023. Learn how to program and automate drones with this guide. Discover the best platforms, courses, simulators, and tutorials for drone programming and automation. Linkedin.com [online] [cit. 2024-01-04]. Dostupné z: <https://www.linkedin.com/advice/3/what-best-ways-learn-drone-programming-automation-skills-drones>
- MATERIALPRO3D.CZ, 2017. Rozdíl mezi ABS, PLA a PETG. materialpro3d.cz [online] [vid. 2024-04-07]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/rozdil-abs-pla-petg/>
- ONDŘEJ HUBÁČEK, 2021. FDM tiskárna pro 3D tisk a co byste o ní měli vědět | For3Dtisk.cz. For3dtisk [online] [cit. 2024-01-04]. Dostupné z: <https://for3dtisk.cz/fdm-tiskarna-blog/>

PECH, Václav, 3n. I. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ Katedra elektroenergetiky a ekologie DIPLOMOVÁ PRÁCE Návrh a konstrukce prototypu víceúčelového dronu Václav Pech 2018 [online]. Dostupné

z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/31536/1/diplomova_prace_pech.pdf

PRUSA, Josef, 2024. Kompozitní materiály (plněné uhlíkem, kevlarrem či sklem) | Prusa Knowledge Base. Prusa3d.com [online] [vid. 2024-04-07]. Dostupné

z: https://help.prusa3d.com/cs/article/kompozitni-materialy-plnene-uhlikem-kevlarrem-ci-sklem_167387

SHARPLAYERS S.R.O, 2023. 3d tisk | technologie 3D tisku | druhy 3D tisku | Sharplayers 3D tisk. eshop.sharplayers.cz [online] [cit. 2024-01-04]. Dostupné

z: <https://eshop.sharplayers.cz/a/technologie-3d-tisku>

VERTICAL TECHNOLOGIES, 2023. Security and Defense. DeltaQuad VTOL UAV [online]

[cit. 2024-01-04]. Dostupné z: <https://www.deltaquad.com/vtol-drones-for/security-and-defence/>