

# Zařízení pro monitorování obtížně dostupných prostor

Pavel Jurčák

---

Bakalářská práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel Jurčák**  
Osobní číslo: **A12098**  
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Zařízení pro monitorování obtížně dostupných prostor**  
Téma anglicky: **Monitoring Equipment for Hard-to-reach Areas**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte literární rešerši zaměřenou na využití dronů pro monitorování obtížně dostupných prostor.
2. Provedte návrh vlastní konstrukce dronu. Systém navrhnete jako otevřený s možností rozšíření o další funkce.
3. Prostřednictvím dostupných komponentů realizujte dron s ohledem na ekonomickou náročnost projektu.
4. Ověřte funkčnost modelu a vyhodnoťte podmínky provozu ve venkovním prostředí.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. SIEGWART, Roland. Introduction to autonomous mobile robots. 2nd ed. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, c2011, xvi, 453 s. Intelligent robotics and autonomous agents. ISBN 978-0-262-01535-6.
2. DUDEK, Gregory a Michael JENKIN. Computational principles of mobile robotics. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 2010, xiii, 391 p. ISBN 05-216-9212-1.
3. BÜCHI, Roland. Fascination quadcopter. 1., neue Ausg. Norderstedt: Books on Demand, 2011. ISBN 978-384-2367-319.
4. NOVÁK, Petr. Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení. Vyd. 1. Praha: BEN – technická literatura, 2004, 247 s. ISBN 80-730-0141-1.
5. KÁRNÍK, Ladislav, Radek KNOFLÍČEK a Jozef NOVÁK-MARCINČIN. Mobilní roboty. Vyd. 1. Opava: Máfy Slezsko, 2000, 212 s. ISBN 80-902-7462-5.
6. UHLÍŘ, Adam. Konstrukce a řízení kvadroptéry [online]. Pardubice, 2013 [cit. 2015-02-05]. Dostupné z: <http://dspace.upce.cz/handle/10195/53690>. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.
7. GRÁBLÍK, Petr. Quadcopter – stabilizace a regulace [online]. Brno, 2010 [cit. 2015-02-05]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/15652>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.

Vedoucí bakalářské práce:

**doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.**

Ústav bezpečnostního inženýrství

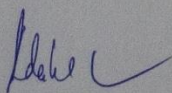
Datum zadání bakalářské práce:

**6. února 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce:

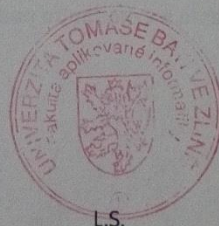
**3. června 2015**

Ve Zlíně dne 6. února 2015

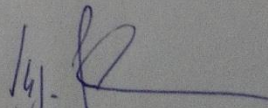


doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.

děkan



L.S.



Ing. Jan Valouch, Ph.D.

ředitel ústavu



### Prohlašuji, že

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

### Prohlašuji,

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

Ve Zlíně 3. 6. 2015

  
.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

Teoretická část bakalářské práce se věnuje problematice neustále se rozvíjejícího potenciálu bezpilotních letadel. Jsou zde rozebrány jednotlivé možnosti využití a jejich praktický přínos pro společnost. Práce věnuje pozornost monitorování obtížně dostupných prostor.

Praktická část bakalářské práce popisuje konstrukci kvadrokoptéry z jednotlivých komponent. Nastavení modelu v programu NAZAM a ověření letových vlastností daného modelu.

Klíčová slova: Dron, multikoptéra, konstrukce kvadrokoptéry, DJI NAZA V2, monitorování obtížně dostupných prostor.

## **ABSTRACT**

The theoretical part of bachelor thesis is dedicated to issue of potential pilotless aircraft. There are analyzed various options and their practical contribution to society. This thesis gives attention to the difficulty of monitoring hard to reach area.

Practical part of bachelor thesis describes the construction of quadcopter from individual components. Setting the model in NAZAM program and verification of flight characteristics of the model.

Keywords: Drone, multicopter, construction of quadcopter, DJI NAZA V2, monitoring hard to reach area.

Děkuji panu doc. Mgr. Milanu Adámkovi, Ph.D. za poskytnuté rady při vedení bakalářské práce. Děkuji také svým rodičům a přátelům za podporu při studiu.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 DRONY</b> .....	<b>11</b>
1.1 ROZDĚLENÍ DRONŮ.....	11
1.1.1 Vojenské využití.....	12
1.1.2 Civilní využití.....	13
1.1.3 Drony a terorismus .....	14
1.2 DRONY V ČR.....	15
1.2.1 Obavy z terorismu .....	15
1.2.2 Státní drony .....	16
1.2.2.1 Česká armáda.....	16
1.2.2.2 Česká policie.....	16
1.2.2.3 Čeští hasiči.....	16
1.3 PRÁVNÍ PŘEDPISY V ČR .....	16
1.3.1 Povolení k létání.....	18
<b>2 MULTIKOPTÉRY</b> .....	<b>19</b>
2.1 TRIKOPTÉRY .....	19
2.2 KVADROKOPTÉRY .....	20
2.3 HEXAKOPTÉRY .....	22
2.4 OKTOKOPTÉRY .....	23
<b>3 ZÁKLADNÍ KOMPONENTY KVADROKOPTÉRY</b> .....	<b>24</b>
3.1 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA .....	24
3.2 MOTORY .....	25
3.3 REGULÁTORY .....	26
3.4 RÁM.....	26
3.5 VRTULE.....	27
3.6 AKUMULÁTOR.....	28
<b>4 MONITOROVÁNÍ OBTÍŽNĚ DOSTUPNÝCH PROSTOR</b> .....	<b>29</b>
4.1 OBTÍŽNĚ DOSTUPNÉ PROSTORY .....	29
4.1.1 Povodně.....	29
4.1.2 Požáry.....	29
4.1.3 Zemětřesení .....	29
4.1.4 Sopečná erupce.....	29
4.1.5 Jaderné nehody.....	30
4.1.6 Pohřešované osoby.....	30
4.1.7 Další možné využití v PKB.....	30
4.2 ZAŘÍZENÍ PRO MONITOROVÁNÍ OBTÍŽNĚ DOSTUPNÝCH PROSTOR.....	30
4.2.1 Dron BRUS .....	30
4.2.2 Flyability – Gimball .....	31
4.2.3 Robodrony.....	32
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>33</b>
<b>5 NÁVRH</b> .....	<b>34</b>

5.1	SEZNAM ZÁKLADNÍCH POUŽITÝCH KOMPONENT .....	34
5.1.1	Řídící jednotka .....	34
5.1.2	Rám .....	38
5.1.3	Motory, regulátory a vrtule .....	39
5.1.4	Akumulátor .....	40
5.1.5	RC souprava .....	41
5.2	ROZŠÍŘENÍ.....	42
5.2.1	Gimbal a kamera .....	42
5.3	FINANČNÍ PŘEHLED .....	43
<b>6</b>	<b>REALIZACE .....</b>	<b>44</b>
6.1	POSTUP PŘI SESTAVOVÁNÍ KVADROKOPTÉRY .....	44
6.2	NASTAVENÍ KVADROKOPTÉRY .....	46
6.2.1	Připojení kvadrokoptéry a výběr typu modelu .....	47
6.2.2	Lokace GPS/Kompas modulu a umístění řídicí jednotky .....	48
6.2.3	Kalibrace ovladačů vysílače a přepínače letových režimů .....	49
6.2.4	Zisk.....	50
6.2.5	Pokročilá nastavení .....	51
<b>7</b>	<b>LETOVÉ VLASTNOSTI.....</b>	<b>52</b>
7.1	TEST PŘI RYCHLOSTI VĚTRU 2 M/S .....	52
7.2	TEST PŘI RYCHLOSTI VĚTRU 4 M/S .....	52
7.3	TEST PŘI RYCHLOSTI VĚTRU 9 M/S .....	52
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>63</b>



## ÚVOD

Cílem teoretické části mé bakalářské práce je vymezení základních charakteristik pojmů týkajících se problematiky rozvoje a využití dronů a dále provedení rešerše dostupné literatury vztahující se k tomuto tématu. Cílem praktické části je pak sestrojení modelu kvadrokoptéry a ověření jeho leteckých vlastností.

Toto téma bakalářské práce jsem si vybral zejména proto, že je to problematika velmi aktuální a především pro mě hodně zajímavá. V současné době se drony dostávají do povědomí čím dál většího počtu lidí a začíná se potvrzovat hypotéza, že tato zařízení mohou být velmi užitečná a prospěšná ve většině průmyslových odvětví. Prozatím je proces zavádění a využívání bezpilotních systémů v civilním sektoru teprve u svého zrodu, ale věřím, že za pár let již budou multikoptéry pro každého člověka samozřejmostí a budou usnadňovat práci mnoha lidem. Myslím si, že momentálně se této tematice ještě nevěnuje dostatek pozornosti a chybí i odborná literatura, která by multikoptéry charakterizovala a která by blíže specifikovala jejich potenciální přínos pro společnost.

Přestože prostor pro civilní využívání multikopterů se ve světě teprve otevírá, chci ve své práci upozornit na fakt, že se Česká republika již dnes může chlubit několika firmami, které vyvíjí velmi kvalitní multikoptéry pro profesionální účely a také záchranné systémy pro jejich bezpečný provoz a které se za velmi krátkou dobu dokázaly díky svým vynikajícím produktům zařadit v tomto oboru ke světové špičce.

Teoretická část bakalářské práce se zabývá charakteristikou pojmu dron a rozdělením bezpilotních letadel na dvě základní skupiny podle účelu jejich využití. Dále se práce věnuje současnému stavu budování a užívání dronů v České republice a také právním předpisům, které provozování těchto zařízení u nás korigují. Druhá kapitola bakalářské práce obsahuje rozdělení multikopterů na jednotlivé typy a jejich doposud používané konstrukce. Třetí kapitola se zabývá výčtem základních komponent, které jsou k sestrojení multikoptéry potřebné a popisuje funkce jednotlivých komponent. Čtvrtá kapitola je zaměřena na monitorování obtížně dostupných prostor. Jsou zde obecně nastíněny úkoly multikoptéry v určitých situacích, které mohou působením přírodních vlivů nebo lidským faktorem nastat a zde představeny některé typy profesionálních multikopterů z české i zahraniční produkce, specializující se právě na monitorování obtížně dostupných míst.

Praktická část popisuje vybrané základní komponenty potřebné k sestavení kvadrokoptéry a finanční přehled pořízených komponent. Dále praktická část práce obsahuje popis skládání

modelu včetně základního nastavení kvadrokoptéry v programu NAZAM. Závěr práce je věnován ověření letových vlastností modelu v různých povětrnostních podmínkách.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 DRONY

Pro označení bezpilotního letadla se používá pojem dron z anglického drone, anebo zkratka UAV z anglického Unmanned Aerial Vehicle, což znamená letadlo bez posádky, které může být řízeno na dálku, anebo může létat pomocí předem naprogramovaných letových plánů nebo pomocí složitějších dynamických autonomních systémů [1].

V současné době jsou možnosti využití těchto bezpilotní letounů velmi široké a rozmanité. Drony se dostanou i do míst, kam klasická letadla nemohou, a proto má jejich použití v mnoha případech hodně výhod oproti letadlům řízených pilotem. Výhodou je také cenově mnohem levnější provoz a možnost jejich použití téměř za každého počasí a v každé, i nebezpečné situaci, kdy životy pilotů v tomto případě nejsou ohroženy.

### 1.1 Rozdělení dronů

Bezpilotní letadla můžeme řadit do jednotlivých kategorií podle mnoha hledisek. Můžeme začít dělením na:

- letouny s pevným křídlem, které mají výhodu v dlouhém doletu, ale nemohou postát nad místem a přiblížit se k němu třeba na metr, což limituje pořízení detailních záběrů.
- letouny s rotujícím křídlem neboli koptéry, které tento problém nemají a dokáží držet svoji pozici tam, kde je potřeba. Mají ale o hodně vyšší spotřebu energie a tedy kratší výdrž [32].

To nejobecnější rozdělení dronů, které v odborné literatuře nalezneme, je rozdělení do dvou základních skupin, a to podle jejich funkčnosti a účelu využití:

- Vojenská bezpilotní letadla
- Bezpilotní letadla používaná v civilní sféře

Dále existuje ještě celá řada aspektů, podle kterých můžeme bezpilotní letouny třídit. Například T. Haman rozděluje drony do jednotlivých kategorií podle osmi hledisek, a to:

- „Podle hlavních výkonnostních charakteristik (váha, výdrž a dolet, maximální výška letu, zatížení křídel, typu motoru, výkon/tah zatížení),
- dle Doplnku X – bezpilotní systémy,
- rychlosti letu,
- funkčních kategorií,
- do skupin v závislosti na hmotnosti, provozním dostupu a rychlosti,
- poslání,
- amerických vojenských tříd podle letectva a námořnictva,
- do skupin v závislosti na hmotnosti, doletu, výšce a době letu [2].“

Jinou klasifikaci bezpilotních letadel najdeme ve wikipedii, kde jsou drony rozděleny na:

- „cile a návnady – poskytují vzdušné cíle simulující nepřátelská letadla nebo střely,
- průzkumné – poskytující informace o bojišti,
- bojové – schopné útoku ve velmi rizikových misích,
- logistické – UAV speciálně navržené pro logistické účely,
- výzkumné a vývojové – používané k dalšímu vývoji UAV technologií,
- Civilní a komerční – UAV speciálně navržené pro civilní a komerční aplikace [1].“

### 1.1.1 Vojenské využití

Drony byly původně využívány výhradně pro vojenské účely. První bezpilotní letoun byl sestrojen již v období první světové války, o jejich další vývoj se zasloužila druhá světová válka, ve které drony sloužily jako útočné bombardovací stroje. Další rozmach techniky a rozvoj bezpilotních letounů nastal v období studené války mezi USA a Sovětským svazem. V dnešní době se používají jako útočné i průzkumné letouny.

Použití dronů má mnoho výhod. Mezi nejvýznamnější z nich patří bezpečnostní hledisko. Posádka sedí v místnosti daleko od bojů a pomocí ovládacích prvků a monitorů ovládá letouny bez jakéhokoliv nebezpečí. Tyto letouny mohou nést i několik zbraňových systémů a plně tak nahradí útočné letouny s posádkou bez ztráty na životech a s menšími náklady, než je tomu u letadel s posádkou. Na obrázku 1 vidíme, jak řídicí místnost může vypadat [4].





Obrázek 1 – Řídicí místnost armádních bezpilotních letounů [4]

Dnes se otevírá prostor pro mnohem rozmanitější a širší využití dronů nejen v armádě, ale především v civilním sektoru. S rozvojem různých technologií totiž dochází také k pokroku ve vývoji dronů, takže je možné stavět drony s menší konstrukcí, s větší výdrží a nosností a vybavené kvalitní optikou a různou specializovanou technikou [32].

### 1.1.2 Civilní využití

Civilní letouny mohou být v současné době vybavené podobně jako vojenské průzkumné letouny. Existuje proto obrovské množství rozličných možností využití dronů v jakémkoliv průmyslném odvětví, a proto se drony dostávají stále více do povědomí veřejnosti a zájem o ně každým rokem narůstá.

Příklady možného využití dronů:

- Záchranné služby
  - Monitorování oblasti postižené pohromou,
  - pořízení fotodokumentace z míst havárií,
  - hledání nezvěstných osob,
  - pomoc při hašení požáru,
  - přeprava léků, vybavení a potravin.

- bezpečnostní služby
  - Vyhledávání odcizených vozidel,
  - zabezpečení sportovních akcí,
  - zabezpečení perimetru objektu.
- Zemědělství a ochrana přírody
  - Ošetření rostlin chemickými látky,
  - mapování lesních porostů nebo škod povětrnostními vlivy,
  - monitoring záplavových oblastí,
  - monitorování invazivních rostlin,
  - monitorování zvěře,
  - hledání pytláků.
- Média
  - reklama,
  - filmování a fotografování.
- Zábava
  - Prozkoumávání okolí,
  - akrobatické létání,
  - filmování a fotografování.
- logistika
  - Převážování zásilek [5].

### 1.1.3 Drony a terorismus

Drony jsou bezesporu dobrým služebníkem v mnoha odvětvích lidské činnosti. Jak už to ovšem bývá, přednosti dronů se také dají zneužít kriminálními či teroristickými skupinami k nelegálním účelům. Pomocí dronů je možné provádět například průmyslovou špionáž a efektivní monitorování velkých ploch. Drony by se mohly stát hrozbou v případě jejich zneužití ke shazování výbušných či chemických nebo biologických zbraní na předem určené cíle.

První obavy z dronů se objevily ve Francii po teroristickém útoku v Paříži. V únoru 2015 byli zadrženi tři novináři Al-Džazíry, kteří monitorovali Paříž pomocí dronu. Francie se obává, že by drony mohly být využity k teroristickým útokům, neví však za jakým účelem islamisté s drony létali. Své lety prováděli v nočních hodinách na místech ambasády Spojených států, nad Eiffelovou věží, náměstím Svornosti nebo také Invalidovnou, která je blízko

ministerstva zahraničí. Drony se také objevily v Brestu nad základnou vojenských jaderných ponorek [6].

Proti dronům se v dnešní době lze jen velmi těžce bránit. Běžný letecký radar drony nedokáže zachytit, čehož může být využito k provedení i několika útoků na jeden cíl současně bez možnosti včasného obranného zásahu.

Britský odborník na atomovou energii John Large pracoval na simulaci napadení atomové elektrárny drony. Vytvořil čtyři scénáře tohoto napadení a došel k závěru, že ve všech případech by to s atomovými elektrárnami dopadlo velmi špatně a radioaktivní únik by ohrozil oblasti elektrárny. Dawin Lowry jakožto konzultant světového institutu pro jadernou bezpečnost prohlásil, že všechny jaderné elektrárny na světě jsou ve velkém nebezpečí. Politický postoj většiny států k tomuto problému však zůstává chladný a na vážné nebezpečí nereaguje [7].

## 1.2 Drony v ČR

Stejně jako ve světě, stalo se i v České republice využívání dronů za posledních pár let moderním trendem. Potvrzuje to i fakt, že vloni vzrostl v civilní sféře prodej dronů zhruba pětinásobně a letos by se podle odhadu měl zájem o droby ještě zvyšovat. Cena bezpilotních letounů však, přestože má tendenci klesat, zůstává stále poměrně vysoká. Tento fakt samozřejmě brání ještě masovějšímu nárůstu počtu dalších majitelů dronů [5].

### 1.2.1 Obavy z terorismu

V České republice jsou obavy z terorismu menší než v zemích jako je Francie nebo Velká Británie. Jaderné elektrárny Dukovany a Temelín patří mezi nejpřísněji střežené objekty v České republice. Elektrárny jsou opatřeny několika bariérami, bezletovou zónou, ochrannými systémy a vnější ochrannou obálkou reaktoru. Petr Šuleř z temelínské elektrárny prohlásil, že strach z nevojenských dronů nemá, protože například řídicí systémy nebo systémy dodávky elektřiny jsou mnohonásobně zálohovány [7].

Jaderné elektrárny však nejsou jediným možným cílem teroristického úroku, ten by mohl přijít i na daleko méně chráněná místa v ČR.

## 1.2.2 Státní drony

### 1.2.2.1 Česká armáda

Česká armáda již v dnešní době bezpilotními letadly disponuje. Jedná se o taktické drony, které jsou v zahraničí nasazovány do misí k průzkumným úkolům. Jsou to stroje WASP AE III a RQ-11 Raven [7].

V letošním roce se plánuje výměna a dokoupení dalších dronů a také by se měl zavést nový bezpilotní systém Scan Eagle obsahující 10 letounů. Tento systém, který bude sloužit k boji proti terorismu, by měla naše armáda dostat darem od Americké armády [7].

### 1.2.2.2 Česká policie

Česká policie zatím žádné drony k dispozici nemá, s jejich nákupem však do budoucna určitě počítá. V první řadě by Policie ČR chtěla drony testovat, a to i pro ostatní složky spadající pod ministerstvo vnitra [7].

*„Neplánujeme nějaký centrální nákup jednoho typu letounu, protože každý útvar má jiné potřeby. Jiný má zásahová jednotka, která potřebuje někde v budově s pomocí malého dronu zjistit, zda se uvnitř neskryvá nějaký terorista, a zcela jinou potřebu má pořádková policie, která zase potřebuje nějakou velmi výkonnou a maximálně spolehlivou oktokoptéru, s níž by mohla monitorovat třeba některá fotbalová utkání, pokud to nová legislativa umožní [7].“*

Otázkou zůstává, zda česká legislativa využívání bezpilotních letadel umožní. Nynější zákony by práce s drony hodně omezovaly.

### 1.2.2.3 Čeští hasiči

Hasičský záchranný sbor zatím také jako česká policie žádné drony nevlastní a do budoucna na rozdíl od policie o jejich nákupu zatím neuvažuje. Pracuje se pouze na koncepci, zda drony pořídit a který subjekt ministerstva vnitra by je měl zakoupit. I přes vynikající možnosti jejich využití spadá provoz dronů pod spoustu předpisů, a proto je tato problematika pro české hasiče velmi složitá [7].

## 1.3 Právní předpisy v ČR

Potenciál možného užití bezpilotních letadel je bezesporu obrovský, česká legislativa však jejich větší využívání prozatím hodně znesnadňuje.

Provoz dronů v české republice upravuje letecký předpis doplněk X.

„Doplněk X – bezpilotní systémy je doplněk k Leteckému předpisu L 2, který ustanovuje pravidla létání. Letecké předpisy uveřejňuje Ministerstvo dopravy jako příslušný správní orgán dle ustanovení § 102 zákona č. 49/1997 Sb., o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991Sb [10].“

Doplněk X obsahuje informace o letových prostorech, zda a za jakých podmínek v nich je možné modely provozovat a zakazuje létání nad lidmi, silnicemi a budovami. Navíc přikazuje pilotovi mít svůj stroj stále na dohled. Tyto podmínky musí provozovatelé dodržovat [10].

Drony mohou v případě havárie ohrozit zdraví lidí, kteří by se pohybovali v jejich blízkosti. Pád dronu z několika metrů by mohl vést dokonce až ke ztrátám na lidských životech. Proto je povolení k letu potřeba. Bez tohoto povolení se pilot vystavuje riziku vysoké pokuty od úřadu pro civilní letectví, tato pokuta se může vyšplhat do výše i několika milionů korun a dále mu také hrozí trest za neoprávněné podnikání, za které se pilot může dostat i do vězení. [8].

## PŘEHLED ZÁKLADNÍCH POŽADAVKŮ NA BEZPILOTNÍ SYSTÉMY



### POZNÁMKY:

Definice modelu letadla viz Doplněk X leteckého předpisu L 2, Pravidla létání, viz stránky <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>.

Blíže informace k problematice lze nalézt na stránkách [www.ucl.cz](http://www.ucl.cz) v sekci Provoz / Letadla bez pilota na palubě.

Případné dotazy lze směřovat na [podatelna@caa.cz](mailto:podatelna@caa.cz).

Obrázek 2 – Přehled základních požadavků na bezpilotní systémy [9]



### 1.3.1 Povolení k létání

Cena za povolení pro většinu majitelů dronů není zanedbatelná, je však nutnou podmínkou pro provádění leteckých prací. Orientačně se cena tohoto povolení pohybuje kolem 26 000 Kč a každoroční prodlužování pojištění činí 8 000 až 10 000 Kč.

Ceny za povolení:

- *„Povolení k létání – 6 500 Kč (5 000 Kč – správní poplatek za letecké povolení + 1 500 Kč správní poplatek za odstranění omezení „pilot-žák“)*
- *Pojištění – na rok 8 000 – 10 000 Kč*
- *Povolení k leteckým pracím – 10 000 Kč [8]“*

## 2 MULTIKOPTÉRY

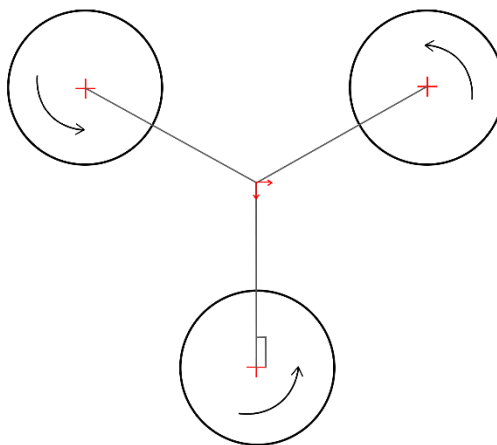
Na rozdíl od běžné helikoptéry, která má jen jeden hlavní rotor, jsou multikoptéry bezpilotní letadla s několika rotory.

Podle počtu ramen se multikoptéry dělí na čtyři druhy, přičemž konstrukce každého z nich má odlišné vlastnosti a také své klady a zápory.

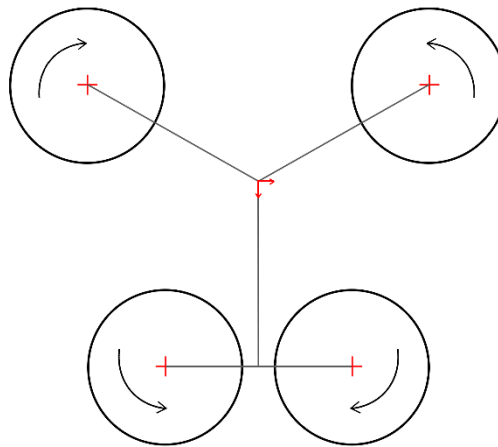
### 2.1 Trikoptéry

Trikoptéra je poháněna třemi rotory a její konstrukce se tedy skládá ze tří ramen. Od dalších typů se liší hlavně tím, že všechny rotory mají stejný směr rotace. To má za následek, že trikoptéra dokáže dosáhnout rovnováhy mezi tahem a momentem setrvačnosti, potřebuje však eliminovat moment setrvačnosti pomocí systému příčného klopení zadního rotoru [10].

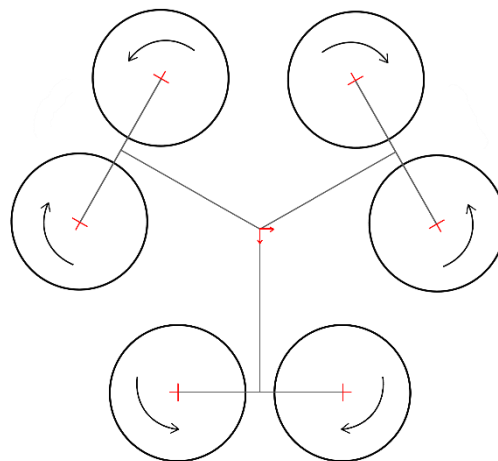
Díky příčnému klopení je trikoptéra velmi obratný a hravý stroj. Horší vlastnosti však má ve stabilizaci obrazu při nahrávání videa. Proto se trikoptéry v některých případech vylepšují na čtyř nebo šestirotorové. Čtyřrotorové jsou rozšířeny o jeden zadní rotor navíc a šestirotorové mají dva rotory na každém rameni. Tyto rotory mohou být umístěny vedle sebe nebo nad sebou vždy s opačným směrem rotace. Toto vylepšení pak zvyšuje stabilizaci a také nosnost trikoptéry. Trikoptéra s šesti rotory může dosahovat vlastností hexakoptéry, ale díky třem ramenům je podstatně lehčí, což může být velká výhoda. Konstrukce tohoto typu trikoptéry je však složitější a cenově dražší.



Obrázek 3 – Trikoptera s příčným klopením



Obrázek 4 – Trikoptera s čtyřmi rotory

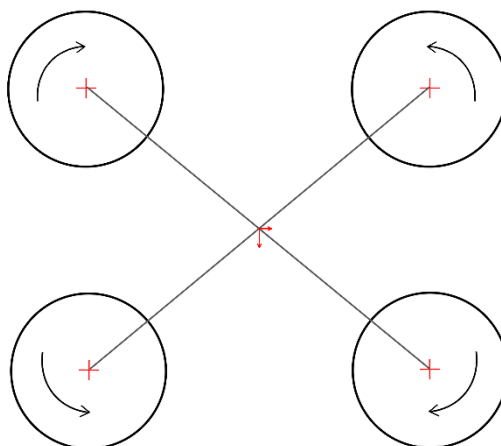


Obrázek 5 – Trikoptera s šesti rotory

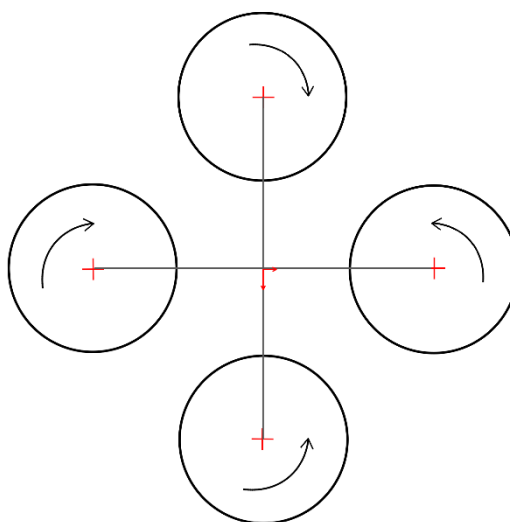
## 2.2 Kvadroptéry

Kvadroptéry disponují čtyřmi rotory a rameny, jejich konstrukce je nejvíce používaná zejména modeláři a amatérskými fotografy. Polovina rotorů musí být levotočivá a druhá polovina pravotočivá. Díky jednoduché konstrukci jsou cenově velmi dostupné. Jejich nevýhoda spočívá v absenci redundantních motorů, které jsou používány u hexakoptér a oktokoptyr. Při výpadku jednoho motoru jsou s redundantními motory hexa- i oktokoptyry schopny letu. U kvadroptéry však dojde k havárii [10].

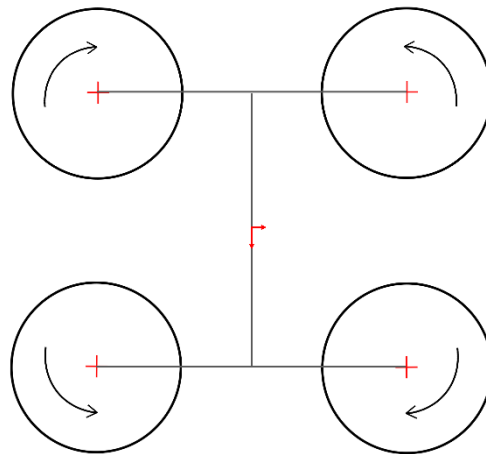
Nejčastější konstrukce kvadroptéry bývá realizována rámem ve tvaru písmene X. Dále se také používá konstrukce ve tvaru +, H a kombinace X+H. Kvadroptéry mohou být podobně jako trikoptéry vylepšeny o další rotory, kdy vznikne osmi rotorová kvadroptéra. Vylepšení se používá opět především pro zvýšení nosnosti těchto strojů.



Obrázek 6 – Kvadroptéra rám X



Obrázek 7 – Kvadroptéra rám +

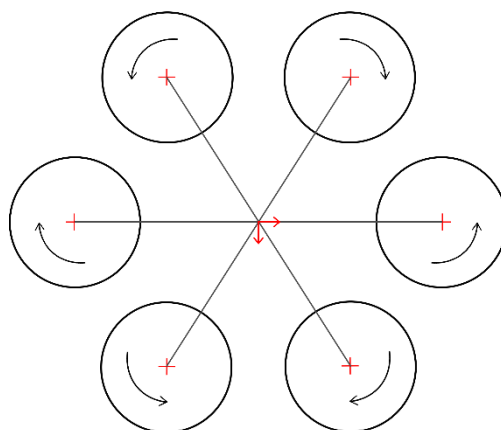


Obrázek 8 – Kvadroptéra rám H

### 2.3 Hexakoptéry

Hexakoptéry jsou o něco dražší stroje s lepšími vlastnostmi než kvadroptéry. Bývají využívány i v modelářině, ale převážně se používají ke komerčním účelům. Díky dobré nosnosti mohou být na hexakoptéru umístěny i větší kvalitní kamery.

Konstrukce hexakoptéry je tvořena šesti rameny a šesti rotory. Tyto rotory jsou umístěny na vrcholech pravidelného šestiúhelníku. Polovina rotorů je vždy stejně jako u kvadroptéry levotočivá a pravotočivá s tím, že vedle sebe jsou umístěny vždy rotory s opačnými směry rotace. Díky redundantním motorům jsou hexakoptéry schopny při závadě bezpečně přistát a počet motorů umožňuje větší nosnost [10].



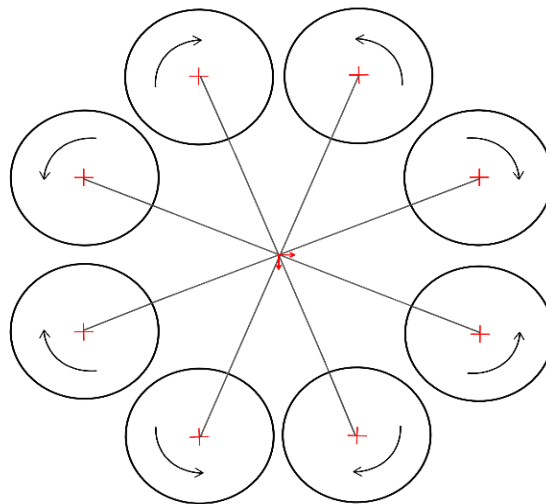
Obrázek 9 – Hexakoptéra



## 2.4 Oktokoptéry

Oktokoptéry jsou plně profesionální stroje s vynikající nosností. Využívají se především v komerční sféře, zejména při různých filmových natáčeních. Pořizovací cena oktokoptéry se pohybuje v rozmezí od 50 000 do 150 000 Kč.

Při výrobě oktokoptéry platí stejné pravidlo jako u kvadropter a hexakopter. To znamená, že polovina rotorů musí být vždy levotočivých a druhá pravotočivých. Konstrukce se tedy skládá z osmi ramen a osmi rotorů. Motory jsou taktéž redundantní jako u hexakopter, a proto nedochází k tolika haváriím.



Obrázek 10 – Oktokoptéra

### 3 ZÁKLADNÍ KOMPONENTY KVADROKOPTÉRY

V této části práce si představíme základní komponenty, ze kterých se kvadrokoptéry sestávají, a které jsou potřebné pro jejich správnou funkčnost, tedy schopnost létání.

#### 3.1 Řídící jednotka

Řídící jednotka tvoří mozek kvadrokoptéry. Mezi její hlavní funkce patří napájení střídavých regulátorů prostřednictvím centrálního spínače, pomocí senzorů výpočet a kontrola úhlů náklonu, výpočet napětí pro motory, odesílání signálů pro regulátory a další funkce, např. signalizace kapacity baterie nebo reakce na ztrátu signálu z vysílačky [13].

Řídící jednotka obsahuje několik senzorů. Akcelerometr, který slouží pro měření zrychlení v osách X, Y a Z a úhlu náklonu. Také pomocí akcelerometru můžeme spočítat rychlost a dráhu v průběhu času. Dalším senzorem je gyroskop, který měří absolutní rychlost otáčení v osách X, Y a Z a díky tomu můžeme v průběhu času zobrazovat natočení kvadrokoptéry. K určení polohy také slouží magnetometr, který měří velikost magnetického pole vůči magnetickému poli Země a tím zpřesňuje měření ostatních senzorů nebo GPS, kdy při zapnutí kvadrokoptéry dojde k záznamu startovního bodu a kvadrokoptéra po ztrátě signálu z vysílačky dokáže sama přistát na bodu startu [10, 16].



Obrázek 11 – DJI NAZA-M V2 s GPS, LED indikací a PMU [42]

### 3.2 Motory

Na začátku vývoje kopter se při jejich výrobě používaly jednoduché stejnosměrné komutátorové motory, kterých se již v dnešní době využívá spíše v levných modelech. Jsou to motory s nízkou cenou a snadným ovládním. *„Hlavními výhodami je snadné řízení, a to změnou budicího napětí na rotoru a lineární charakteristika závislosti otáček na velikosti budicího napětí na rotoru. Nevýhodou je složitější konstrukce a komutátor, u kterého je nutná údržba kluzných kontaktů. [10]“*

Stejnosemřné motory byly později nahrazeny motory střídavými. U těchto motorů se rotor a stator při otáčení nedostávají do kontaktu. Jedinou částí, která se opotřebovává, je tedy ložisko na hřídeli. Právě proto je životnost střídavých motorů větší, než je tomu u motorů stejnosměrných. U střídavých motorů je však potřeba elektronika navíc. Jedná se o regulátory, které pomocí tří vodičů dodávají do motoru proud [13].

Střídavé motory se dělí na dva typy inrunner nebo outrunner. Typ inrunner má pevnou vnější část motoru a vnitřní část se točí. Typ outrunner má konstrukci opačnou [13].

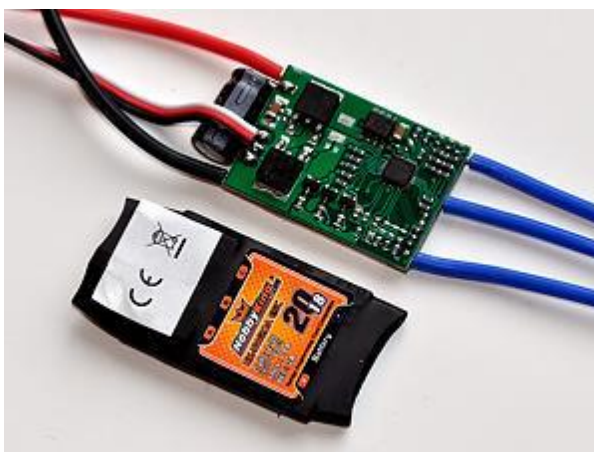
Mezi nejdůležitější parametry motorů patří otáčky za minutu neboli rpm a napětí, často udávané v kV nebo rpm/V. U Kvadrokopty se ve většině případech osvědčily motory outrunner.



Obrázek 12 – Střídavý outrunner motor Foxy G2 [39]

### 3.3 Regulátory

Regulátory vyhodnocují přijímané signály z řídicí jednotky. Poté přemění napětí do třífázového střídavého signálu pomocí FET tranzistorů. Pokud dochází k potřebě větších otáček, je toho dosaženo zvětšením frekvence a amplitudy napětí. Každý střídavý regulátor musí obsahovat kondenzátor, pomocí kterého jsou vyhlazovány poklesy napětí. Ty jsou způsobeny krátkodobým zvýšením odebíraného proudu motorem. Funkce kondenzátoru není zanedbatelná, bez této ochrany by pokles napětí mohl způsobit špatnou komunikaci motoru s řídicí jednotkou [13].



Obrázek 13 – Střídavý regulátor [10]

### 3.4 Rám

Rám je pasivní prvek kvadrokoptéry a tvoří nosnou část pro umístění všech ostatních součástí. Rám se skládá z vrchní a spodní desky, na které bývá umístěna řídicí jednotka, akumulátor a při použití dalších prvků také držák na kameru, GPS modul nebo FPV. K rámu jsou připevněna ramena, na kterých jsou umístěny motory, vrtule a většinou také regulátory.

Samotný rám ovlivňuje svou hmotností délku letu kvadrokoptéry, a proto je snaha o dosažení co nejnižší možné hmotnosti se zachováním co největší pevnosti materiálu [12].

Pro stavbu rámu se nejčastěji používají materiály jako jsou uhlík, hliník, letecký dural, plast nebo balza se smrkovým dřevem [10].

Rámy jsou vyráběny ve dvou variantách, a to buď pevné, nebo rozložitelné. Rozložit se dají buď úplným odpojením ramen, nebo jejich sklopením. Nemají však žádný vliv na letové vlastnosti. Rozložitelné bývají o něco dražší a jejich výhoda spočívá především ve skladnosti a lepší manipulaci.



Obrázek 14 – Rozložitelná kvadrokoptéra AirDog [37]

### 3.5 Vrtule

Dalším pasivním komponentem kvadrokoptéry je vrtule. Její funkcí je převést rotační mechanickou energii motoru na tah. Rotace vrtule svým profilem a jejím úhlem náběhu způsobuje podtlak na horní straně vrtule a tlak na spodní straně. Konstrukce vrtule musí být provedena tak, aby vztlak na každém listu vrtule byl konstantní, protože s rostoucí vzdáleností od středu vrtule roste obvodová rychlost [10].

Vrtule dělíme na dva typy podle směru rotace. Jsou vyráběny v mnoha velikostech a z několika materiálů. Vyrábí se nejčastěji z plastu, carbonu, uhlíku a dřeva a platí u nich stejně jako u rámu, že se musí zachovat co nejnižší hmotnost, ale vysoká pevnost.

Začátečnickům se doporučují vrtule z plastu, ostatní materiály jsou určeny spíše pro zkušené piloty, jelikož jsou náchylnější na závady při havárii.

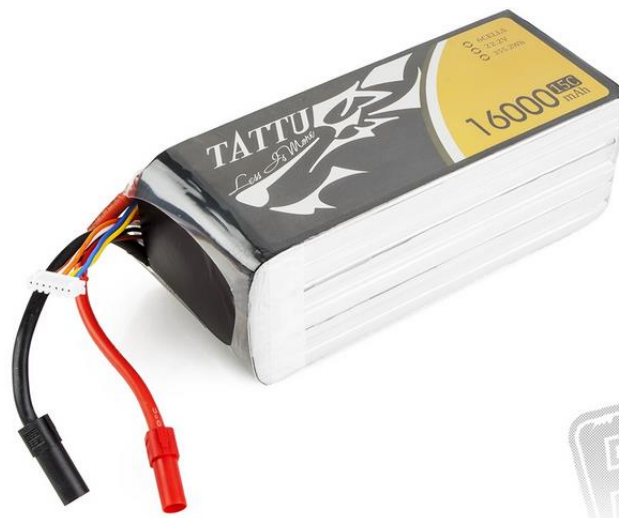
Při havárii kvadrokoptéry nejčastěji dochází právě k poruchám vrtule, a proto je lepší mít s sebou k dispozici vždy sadu náhradních.



Obrázek 15 – Dřevěné vrtule Xoar [40]

### 3.6 Akumulátor

Stěžejní částí kvadrokoptéry je akumulátor, který slouží jako zdroj energie pro všechny ostatní aktivní komponenty. Na jeho kapacitě a kvalitě závisí délka letu kvadrokoptery. Nejčastěji se používají akumulátory typu Li-Pol, které jsou většinou spojeny do série nebo paralelně z několika článků. Jeden článek má maximální napětí 4,2V, nominální hodnota je však 3,7V a minimální 2,9V. Při sériovém spojení se napětí sčítá a při paralelním se sčítá kapacita baterie. Tyto baterie se poté značí např. 6S1P 16 000 mAh, což znamená, že jsou tvořeny z šesti článků sériově, jedním paralelně a kapacitou 16 000 mAh. Li-Pol baterie disponuje docela malými rozměry a hmotností, což je další výhodou využití těchto baterií pro kvadrokoptéry.



Obrázek 16 – Akumulátor Gens ace TATTU 16 000 mAh [43]

## 4 MONITOROVÁNÍ OBTÍŽNĚ DOSTUPNÝCH PROSTOR

Jedním z nejlepších, ne-li nejlepším zařízením pro monitorování obtížně dostupných prostor jsou bezesporu multikoptéry. Jejich potenciál můžeme využít všude tam, kde použití letadel s pilotem není možné. Přínos multikopter je proto patrný v mnoha odvětvích lidské či činnosti.

### 4.1 Obtížně dostupné prostory

Problematická dostupnost určitých míst může být způsobena například nepříznivým počasím a různými přírodními vlivy, anebo mohou obtížně dostupné prostory vzniknout důsledkem činnosti člověka.

#### 4.1.1 Povodně

Monitorování povodní slouží k nejrychlejšímu způsobu získání obrazových dat postižené oblasti. Tato data jsou následně využita k přípravě ortofotomapy a digitálního modelu terénu, jejichž analýza slouží k vytvoření dalších protipovodňových opatření krizových štábů [21].

#### 4.1.2 Požáry

Využití dronů při požárech by mělo mít především dvě úlohy. Jednak hledání ohnisek požáru a dále získávání dat o složení kouře a sledování rozsahu teploty pomocí senzorů. Díky tomu budou mít hasiči v reálném čase přehled o unikajících plynech do ovzduší a mohou tak okamžitě reagovat a zabezpečit přesun potřebných prostředků na daná místa [35].

#### 4.1.3 Zemětřesení

Po zemětřesení se drony nasadí na monitorování postižené oblasti podobně jako při povodních a data budou využity pro rychlé znázornění a vyhodnocení situace. Dále by drony vybaveny termokamerou mohly pomoci při hledání osob pod troskami domů anebo sloužit k rychlé dodávce lékařských materiálů či jiné humanitární pomoci.

#### 4.1.4 Sopečná erupce

Drony by mohly sloužit k monitorování sopečné aktivity. A v případě erupce by zajišťovaly získávání informací z ovzduší.

#### 4.1.5 Jaderné nehody

U jaderných nehod mohou drony měřit hodnoty radiace v ovzduší a v reálném čase sledovat velikost kontaminace.

#### 4.1.6 Pohřešované osoby

Drony vybaveny termokamerami a mikrofony jsou skvělým nástrojem pro hledání pohřešovaných osob. Mohou se dostat např. i do jeskyní a podobných těžce přístupných míst, důležitým předpokladem použití dronu v takovémto případě je však síla signálu vysílačky.

#### 4.1.7 Další možné využití v PKB

Kromě monitorování obtížně dostupných prostor, by drony mohly najít své využití i v oblastech průmyslu komerční bezpečnosti.

Drony se mohou uplatnit například při:

- Hlídkání perimetru,
- průzkumu budov,
- špionáž,
- monitorování kritické infrastruktura,
- dohled nad veřejnými akcemi,
- monitorování demonstrací.

### 4.2 Zařízení pro monitorování obtížně dostupných prostor

Na drony pro monitorování musí být kladeny větší nároky, než na pouhé rekreační létání. Parametry dronů jsou specifické podle potřeby jejich využití. Všeobecné nejdůležitější parametry jsou doba letu, která by měla být minimálně 30 min. Dále z hlediska bezpečného letu je nutné použití redundantních motorů. A výbavou dronu by měla být kamera, která je schopna kvalitního video záznamu s možností zoomu.

#### 4.2.1 Dron BRUS

Jde o trikopter Y6, to znamená, že má tři ramena a šest rotorů. Tento typ multikoptéry má vynikající letové vlastnosti. Nosnost, stabilita i doba letu jsou výborné a navíc tento stroj disponuje kvalitními kamerami, které jsou pro monitorování nezbytné. Právě proto se jedná o velmi kvalitní zařízení, vhodné právě pro monitorování obtížně dostupných prostor.



Brus byl vytvořen Vojenským technickým útvarem, který ho poprvé nasadil do akce po výbuchu v muničním skladu ve Vrběticích na Zlínsku, kde nalétal zhruba 70 hodin. Brus má k dispozici dvě kamery, jedna kamera je s nočním viděním a druhá s denním. Kamera s denním viděním má desetinásobný zoom. Noční kamera zoom nemá, ale obsahuje termo-vizi, která je skvělým pomocníkem při hledání osob. Brus využívá ke snímání vždy jednu kameru. Brus vydrží v plné zátěži s kamerami v provozu 40 minut letu. Maximální dosah doletu tohoto dronu je deset kilometrů a výška jeden kilometr [19].



Obrázek 17 – Trikopter Brus s řídicím pultem [18]

Brus je navržen tak, aby jej bylo možné složit. Ve složeném stavu má rozměry 60 cm x 70 cm x 90 cm. V rozloženém stavu má průměr 120cm, výšku 50cm a disponuje vrtulemi o velikosti 70cm. Je vytvořen z uhlíku a jeho hmotnost je přibližně 5 kg [18].

#### 4.2.2 Flyability – Gimball

Gimball je speciální dron vyrobený švýcarskou firmou Flyability. Let tohoto dronu vypadá „jako by byl opilý“ a motal se. Gimball se tak chová proto, že má schopnost se při nárazu odrazit, zapamatovat si překážku a letět jiným směrem dál. Z tohoto důvodu je jeho použití vhodné například při pohybu mezi stromy, v budově plně traverz nebo klidně i na let mezi

lidmi. Díky rotujícímu rámu se při srážce nestane nic dronu ani člověku či objektu, do kterého narazí. Dron je konstruován především pro rychlé a efektivní prohledávání terénu po přírodních katastrofách nebo pro hledání zraněných osob [20].



Obrázek 18 – Flyability Gimball [17]

### 4.2.3 Robodrony

Robodrony jsou bezpilotní letouny, které mají modulární konstrukci, jenž umožňuje rychlé a operativní osazení výstroje podle momentální potřeby. Jsou navrženy tak, aby byla zajištěna co největší bezpečnost. Každý letoun je vybaven integrovaným systémem pro nouzové přistání nebo je schopen letu i při výpadku motoru. Robodrony jsou určeny k pátracím a záchranným operacím, monitorování různých objektů, geodetickým pracím nebo k filmařským účelům [33].

Robodrony vyvinula česká firma Robodron industries ve spolupráci s Ústavem letectví VUT Brno a dalšími výzkumnými pracovišti VUT a v současné době vyrábí dva druhy těchto strojů pod názvem Kingfisher a Strix [33].



Obrázek 19 – Robodrone Kingfisher

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 NÁVRH

K počáteční fázi každého přípravného procesu návrhu konstrukce kvadrokoptéry patří vytýčení požadavků, které by měla kvadrokoptéra splňovat a určení účelu, ke kterému by měla být po sestavení používána. Co se týká vlastností a funkcí, které by měla moje kvadrokoptéra splňovat, byla mým požadavkem schopnost jejího letu i při zhoršených povětrnostních podmínkách a schopnost nést kameru na záznam obrazu. Při nákupu všech potřebných komponent bylo dalším požadavkem dodržení stanoveného limitu ve výši 20 000 Kč.

V dnešní době se sice v obchodech objevují hotové kvadrokoptéry již od 1 000 Kč, ovšem modely v cenové relaci zhruba do 10 000 Kč jsou určeny především pro rekreační létání a nemají tedy téměř žádné praktické využití. Při stavbě vlastního letounu se určité finance sice ušetřit dají, ale vždy je to za cenu nižší kvality jednotlivých komponent.

### 5.1 Seznam základních použitých komponent

Většina komponent, které byly k sestavení multikoptéry použity, jsou produkty firmy DJI innovations řady Flame wheel. Tato firma se výrobou hotových strojů či komponent zabývá již řadu let a v současnosti patří mezi nejlepší firmy specializující se na konstrukce multikoptér. Komponenty z řady Flame wheel se vyznačují vysokou kvalitou, a proto byly pro mou práci zvoleny, přestože se řadí k výrobkům v dražší cenové hladině. V České republice má firma DJI kvalitní základnu uživatelů i prodejců, a to byl další z faktorů, který mě vedl k rozhodnutí, proč si vybrat právě tohoto výrobce.

#### 5.1.1 Řídící jednotka

Jako řídicí jednotka byla vybrána jedna z nejdostupnějších jednotek DJI NAZA-M V2.



Obrázek 19 – Řídící jednotka DJI NAZA-M V2 [24]

Jedná se o kvalitní řídicí jednotku, která slouží k provozu jak rekreačních, tak i poloprofesionálních multikotér. Tato jednotka zvládá řízení kvadra, hexa i oktokopty, a proto je na trhu mezi uživateli velmi oblíbená. Součástí řídicí jednotky je samotná řídicí jednotka, napájecí jednotka, modul GPS/kompas a LED indikátor.

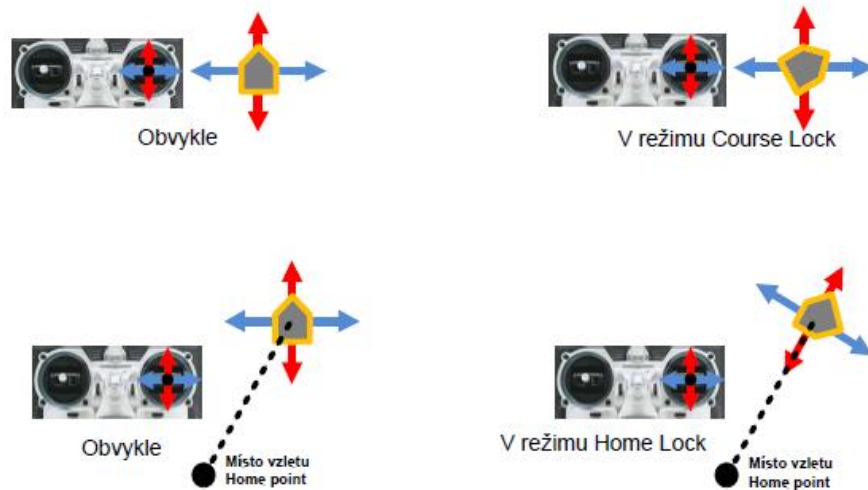
Řídicí jednotka pracuje ve třech letových režimech:

- Manuální režim – Ruční ovládání koptéry pilotem. Tento režim je určen zkušeným pilotům a používá se pro sportovní a akrobatické létání [24].
- Atti. režim – Režim stabilizace polohy ve všech osách koptéry. Nepochází však ke stabilizaci zeměpisné pozice, tzn. že koptéra se sice bude držet ve stejné letové výšce, ale například větrem bude odnášena v jeho směru. Dojde-li ke ztrátě signálu z RC soustavy, přejde koptéra do režimu fail-safe a model zůstane viset ve stálé výšce. Tento režim se používá pro rekreační létání a snímkování [24].
- GPS Atti. režim – Tento režim je dostupný pouze v kombinaci s GPS/Kompas modulem. Režim funguje podobně jako Atti., je ovšem doplněn o data z GPS/kompasu, a proto dokáže udržet i zeměpisnou pozici koptéry. Při ztrátě signálu z RC soupravy je možné využít jednu ze dvou možností:
  - funkce „Landing“, při které koptéra automaticky přistane na místě ztráty signálu
  - funkce „Go home“, při které se koptéra vznesse do výšky 20 m nad zemí a vrátí se do okruhu 10 m na zapsanou zeměpisnou pozici startu. Poté začne automaticky přistávat.



Obrázek 20 – Funkce fail-safe „Go home“ [23]

Režim GPS Atti. má také dvě inteligentní funkce ovládání směru. První z nich je „Course lock“, ta udržuje příd' koptéry v nastavené směru bez ohledu na směr letu. Druhá se jmenuje „Home lock“, kdy příd' koptéry míří ve směru přímky procházející místem startu [24].



Obrázek 21 – Inteligentní funkce „Course a Home lock“ [23]

Napájecí jednotka PMU slouží jednak pro napájení řídicí jednotky, ale také pro nápejení a komunikaci s GPS/kompas modulem a případným rozšířením například gimbaelem.



Obrázek 22 – Napájecí jednotka DJI PMU V2 [24]

Rozšiřující GPS/Kompas modul pro řídicí jednotku NAZA V2, který přes PMU jednotku posílá údaje o zeměpisné poloze do řídicí jednotky.



Obrázek 23 – Modul GPS/Kompas DJI NAZA-M V2 [24]

K signalizaci provozních stavů slouží modul LED indikátoru. Na tomto modulu je také microUSB port pro nastavení řídicí jednotky přes počítač a umožňuje také aktualizování firmware.



Obrázek 24 – Led indikátor DJI NAZA-M V2 [24]



Technické parametry viz tabulka 1.

Napájení (napájecí jednotka PMU)	7,2-26,0V (2-6S Li-Pol)
Výstup napájení PMU	3 A při 5 V trvale, špičkově 7,5 A
Napájení (řídící jednotka MC)	4,8 - 5,5 V
Proudový odběr (řídící jednotka MC)	max. 0,3 A při 5 V
Provozní teplota	-10°C až +50°C
Rozměry (napájecí jednotka PMU) [mm]	39,5 x 27,5 x 10
Rozměry (řídící jednotka MC) [mm]	45,5 x 32,5 x 18,5
Rozměry (LED modul) [mm]	25 x 25 x 7
Rozměry (GPS modul) [mm]	D46x10
Hmotnost (napájecí jednotka PMU) [g]	28
Hmotnost (řídící jednotka MC) [g]	27
Hmotnost (LED modul) [g]	13
Hmotnost (GPS modul) [g]	27

Tabulka 1 – Technické parametry DJI NAZA V2 [24]

### 5.1.2 Rám

Rám DJI F450 je tvořen čtyřmi rameny a dvěma deskami. Desky jsou vyrobeny z kompozitního materiálu a tvoří střed rámu. Spodní deska obsahuje vodivé cesty, na které jsou připájeny vodiče z regulátorů a baterie, což omezuje počet vodičů kvadrokoptéry. Desky jsou nosnou částí, na které je umístěna řídící jednotka, baterie a ostatní komponenty. Ramena jsou vyrobena z pevného plastu.



Obrázek 25 – Rám DJI F450 [29]

Výhoda rámu F450 je také v rozdílné barvě ramen, pomocí tohoto barevného rozlišení snadno rozeznáme, kde máme přední část kvadrokoptéry.



Technické parametry viz tabulka 2.

Délka [mm]	450
Průměr nosného rotoru [mm]	254
Hmotnost (prázdná) [g]	282
Hmotnost letová [g]	800 - 1600

Tabulka 2 – Technické parametry rámu DJI F450 [28]

### 5.1.3 Motory, regulátory a vrtule

Střídavý motor DJI C2212-0920 řady flame wheel je určen pro napájení z tří nebo čtyřčlánkové Li-pol baterie. Při použití 3S baterií je doporučena velikost vrtulí 10x4,5" a u 4S baterií jsou doporučeny vrtule s rozměry 8x4,5" [26].



Obrázek 26 – Motor DJI C2212-0920 [26]

Motory jsou napájeny regulátory ESC 30A OPTO od firmy vyrobené firmou DJI. Jsou přímo určeny ke kombinaci s motory C2212-0920. Dva vstupní vodiče jsou připojeny na baterii. Do tří výstupních konektorů jsou zapojeny vodiče z motoru a vodič řídicích signálů je připojen na řídicí jednotku.



Obrázek 27 – Regulátor DJI ESC 30A OPTO [27]

Vrtule jsou vyrobeny z plastu a mají velikost 10x4,5". Sada obsahuje jednu pravou a jednu levou.



Obrázek 28 – Vrtule DJI 10x4,5" [25]

#### 5.1.4 Akumulátor

G3 RAY s označením 2200/11,1 26/50C 3SP1 je tříčlánkový li-polový akumulátor s kapacitou 2200 mAh a napětím 11,1V. Označení 26/50C udává hodnotu pro výpočet vybíjecího a maximálního vybíjecího proudu. Výpočet je dán vztahem  $26/50 \cdot \text{kapacita akumulátoru}$ .

Akumulátory G3 RAY jsou určeny především pro letecké modely díky jejich relativně nízké hmotnosti.



Obrázek 29 – Akumulátor G3 RAY 2200/11,1 26/50C [22]

Technické parametry viz tabulka 3.

Kapacita [mAh]	2200
Napětí [V]	11,1
Nabíjecí proud [A]	2,2 - 4,4
Max. nabíjecí proud [A]	4,4
Vybíjecí proud [A]	57.2
Max. vybíjecí proud [A]	110
Délka [mm]	104
Šířka [mm]	35
Výška [mm]	22
Hmotnost [g]	167

Tabulka 3 – Technické parametry akumulátoru G3 RAY [22]

### 5.1.5 RC souprava

RC souprava se skládá z dvou komponent vysílače a přijímače. Pomocí vysílače ovládáme kvadrokoptéru a signál je následně vyslán do přijímače, který je umístěn na rámu kvadrokoptéry a spojen s řídicí jednotkou.

Graupner MX-16 je páková RC souprava s pamětí až pro 20 modelů. Komunikuje s řídicí jednotkou pomocí rádiového spojení na frekvenci 2,4 GHz s dosahem 4 km. Je vybavena osmiřádkovým displejem s modrým podsvícením a dvěma tlačítky, které slouží k ovládání menu vysílačky. Vysílačka disponuje sedmi spínači, z nich dva jsou třípolohové a každý se dá nastavit na libovolnou funkci [31].



Obrázek 30 – RC souprava Graupner-MX16 [31]

Souhrn technických parametrů viz tabulka 4.

Počet kanálů	8
Napájení [V]	3,6-8,4
Proudový odběr [mA]	70
Délka [mm]	190
Šířka [mm]	175
Výška [mm]	115
Hmotnost [g]	770
Dosah [m]	4 000
Pásmo [MHz]	2400-2484,5
Délka antény [mm]	120

Tabulka 4 – Technické parametry RC soustavy Grapner MX-16 [31]

## 5.2 Rozšíření

Z důvodu splnění požadavku možnosti nahrávání obrazu byl základní model vylepšen o kameru se stabilizací a uvažuje se také o zakoupení FPV, které umožní sledovat záběr kamery v reálném čase na obrazovce.

### 5.2.1 Gimbal a kamera

Gimbal je příslušenství ke koptrám, díky kterému je uživatel schopen ovládat směr záběru kamery. Při letu zajišťuje toto zařízení udržování kamery ve stabilizované poloze, takže změny směru letu nebo zhoršené povětrnostní podmínky nemají při nahrávání videa vliv na kvalitu snímaného obrazu.



Obrázek 31 – Gimbal Zenmuse H3-2D s GoPro Hero3 [30]

Jelikož jsem majitelem kamery GoPro Hero3, zvolil jsem gimbal DJI Zenmuse H3-2D, který je plně kompatibilní s řídicí jednotkou NAZA-M V2. Pomocí RC soupravy je možno kameru zapínat/vypínat přímo za letu a také přepínat mezi funkcemi nahrávání videa a fotografování.

Kamera GoPro Hero 3+ podporuje natáčení obrazu v rozlišení FullHD (1920x1080, 60 fps) a je vybavena mikrofonem. Data jsou ukládány na externí microSD kartu s maximální kapacitou 64 GB. Cena kamery se nyní pohybuje okolo 8 000 Kč.

### 5.3 Finanční přehled

Do celkové sumy za sestavení kvadrokoptéry byla zahrnuta pořizovací cena řídicí jednotky, rámu, čtyř motorů, vrtule a regulátorů a dvou kusů akumulátorů. Po sečtení všech položek byla výsledná hodnota kvadrokoptéry ne necelých 15 000 Kč.

Komponent	Množství	Cena/ks
Řídicí jednotka	1	6 690 Kč
Rám	1	899 Kč
Motory	4	799 Kč
Regulátory	4	549 Kč
Vrtule	4	199 Kč
Akumulátor	2	551 Kč
<b>Celkem</b>		<b>14 879 Kč</b>

Tabulka 5 – Cena základních komponent kvadrokoptéry

V ceně ovšem není započítaná RC soustava, která celkový rozpočet zvedá na 23 000 Kč. Tato částka již přesáhla předem stanovený finanční limit, ale bylo nutné jeho překročení pro sestavení kvalitního modelu. Později však bylo zjištěno, že tento model nesplňuje požadavky, které se týkaly záznamu videa. Umístění kamery na model bylo sice možné, avšak bez její stabilizace byl snímáný obraz nekvalitní. Z tohoto důvodu bylo nutné rozšířit sestavu o gimbal a tato investice zvýšila hodnotu kompletní sestavy kvadrokoptéry na celkových 31 000 Kč.

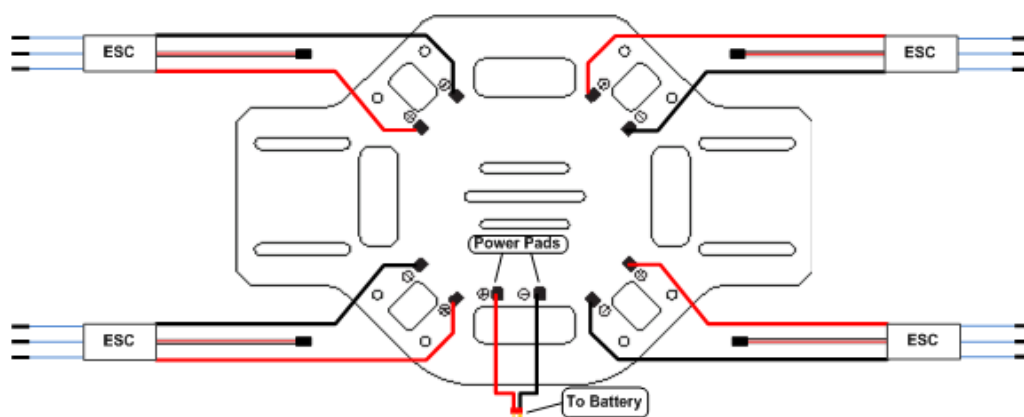
## 6 REALIZACE

Po pořízení všech potřebných základních komponent započala práce na samotném sestavení celého zařízení.

### 6.1 Postup při sestavování kvadrokoptéry

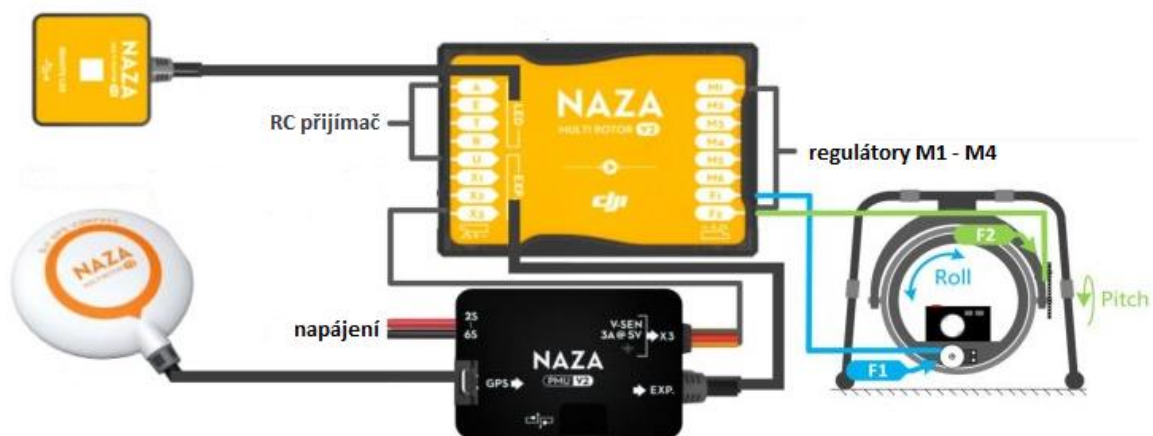
1. Na spodní část desky rámu, která slouží, jako plošný spoj pro rozvod napájení, jsem napájel napájecí kabely všech regulátorů a konektor pro zapojení baterky a PMU jednotky.

#### ESC Wiring

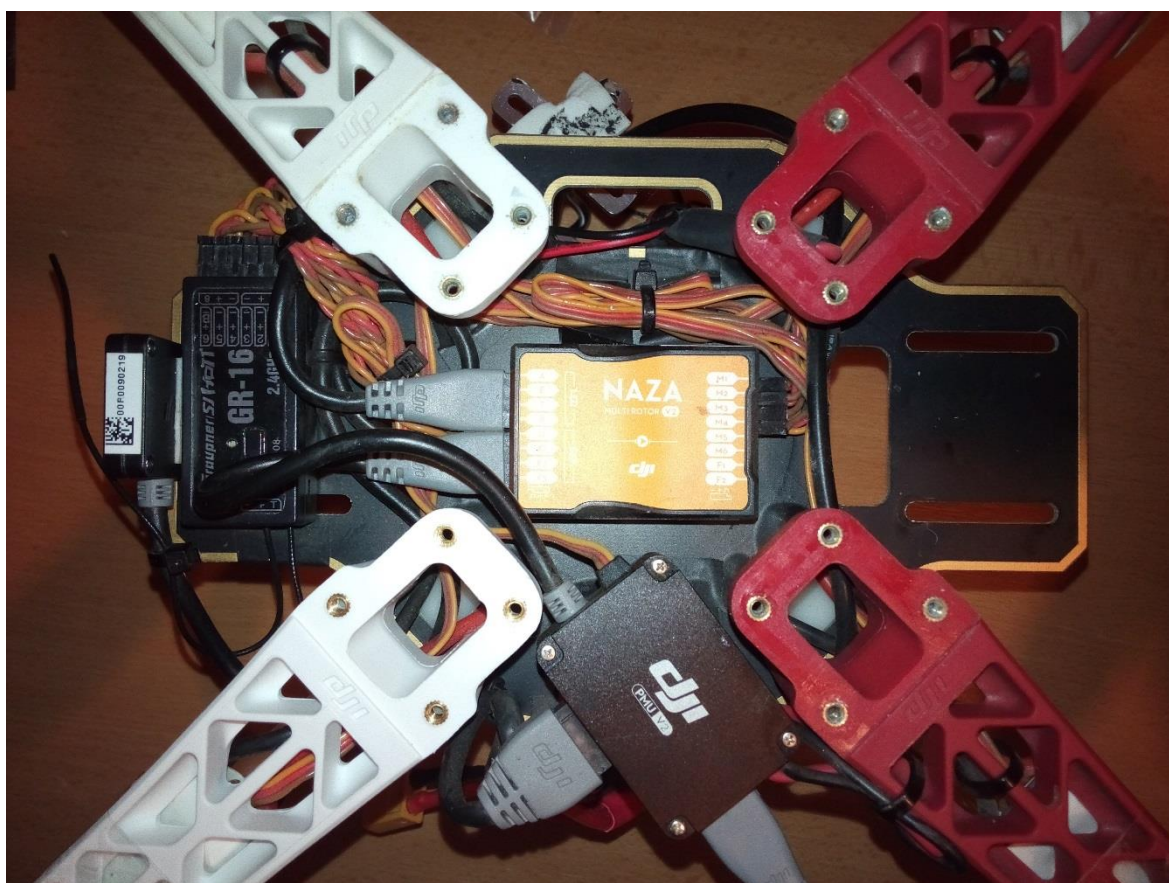


Obrázek 32 – Elektrické vedení rámu f450 [41]

2. Přišroubování všech ramen na spodní desku a připevnění motorů na konce ramen.
3. Pomocí tří kabelů byl následně každý motor propojen se svým regulátorem. Všechny regulátory byly připevněny ke svému ramenu pomocí oboustranné lepicí pásky.
4. Řídící jednotka byla přilepena doprostřed spodní desky a byly do ní následně zapojeny řídicí kabely od všech regulátorů M1-M4. LED modul a přijímač RC soupravy podle „tradičního“ zapojení. Kanál výškovky do vstupu E, plynu do T, směrovky do R a kanál třípolohového přepínače určený na výběr letových režimů do vstupu U.
5. Do PMU jednotky byl připojen GPS/kompas modul.
6. Z PMU jednotky byly poté připojeny na řídicí jednotku dva kabely, GPS výstup do vstupu exp a monitorování napětí do vstupu X3.
7. Při rozšíření byl gimbal připojen do výstupů řídicí jednotky F1 a F2.



Obrázek 33 – Blokové schéma instalace řídicí jednotky [23]



Obrázek 34 – Kvadroptéra po zapojení



Po celkovém zapojení přišlo na řadu přišroubování horní desky a na něj pomocí oboustranné lepicí pásky přilepení držáku GPS/Kompas modulu a na něj následně modul. Vrchní deska byla také vybavena suchými zipy, které slouží k pevnému uchycení akumulátoru.

Posledním krokem konstrukce bylo přišroubování nožiček kvadrokoptéry a uchycení vrtulí.



Obrázek 35 – Kompletně sestavený model kvadrokoptéry

## 6.2 Nastavení kvadrokoptéry

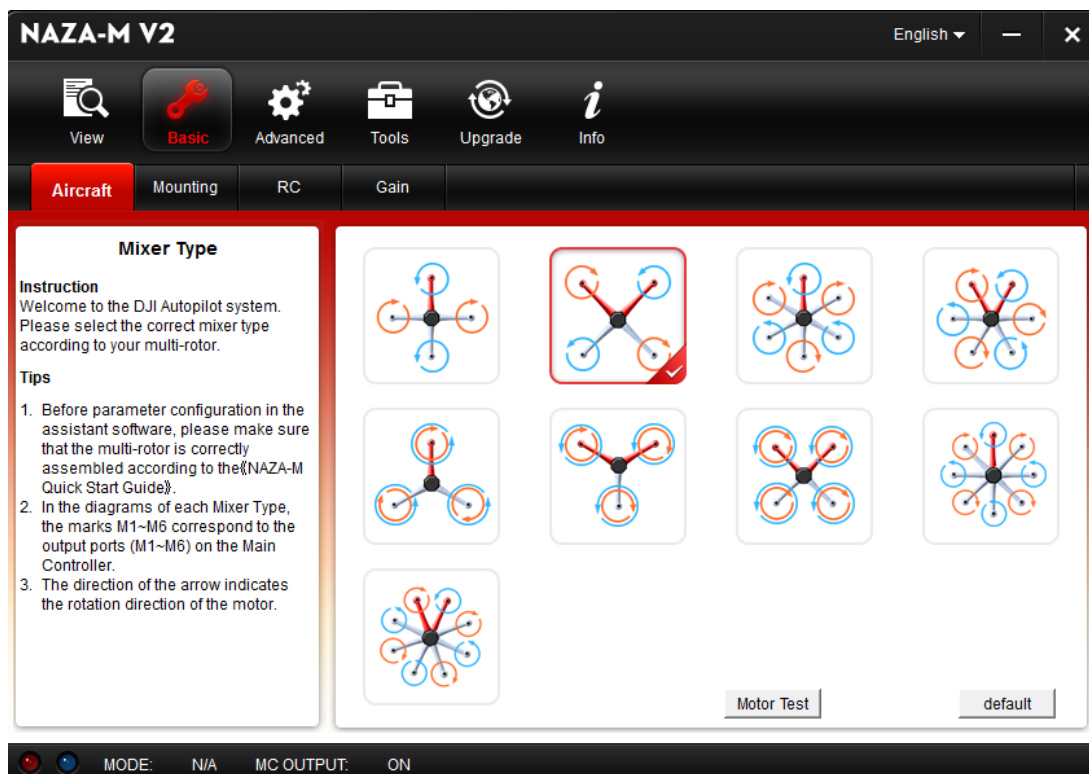
K nastavení kvadrokoptéry slouží software s grafickým rozhraním DJI NAZAM Assistant v2.20 dostupný na webových stránkách výrobce.



### 6.2.1 Připojení kvadrokoptéry a výběr typu modelu

Po připojení kvadrokoptéry v zapnutém stavu do PC a následném zapnutí programu NAZAM se na obrazovce objeví možnost, zda chceme upgradovat firmware řídicí jednotky. Program poté zobrazí bezpečnostní doporučení na odejmutí vrtulí při jejich testování.

Pro výběr typu modelu stačí označit obrázek v programu a můžeme pokračovat v dalším nastavování.

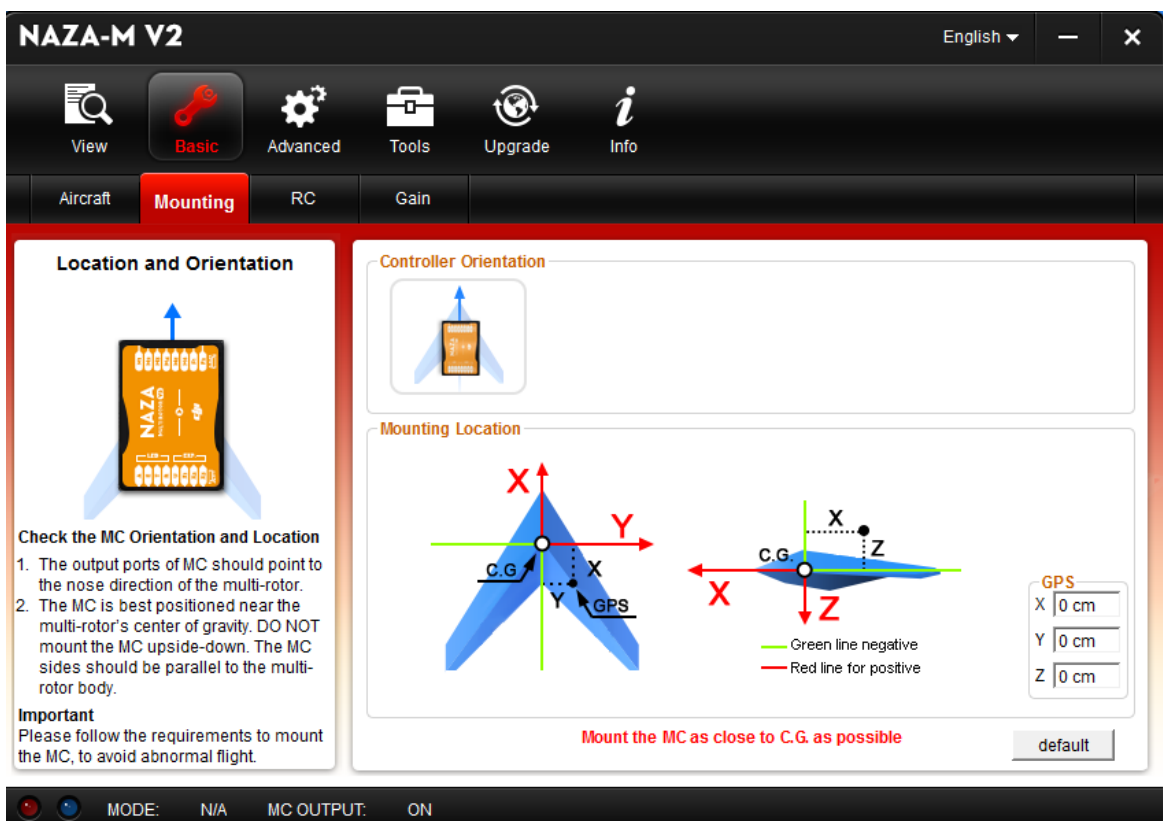


Obrázek 36 – Zvolení typu multikoptéry [38]

Na obrázku 35 jsou znázorněny všechny podporované typy modelů, které DJI NAZA-M V2 dokáže řídit.

### 6.2.2 Lokace GPS/Kompas modulu a umístění řídicí jednotky

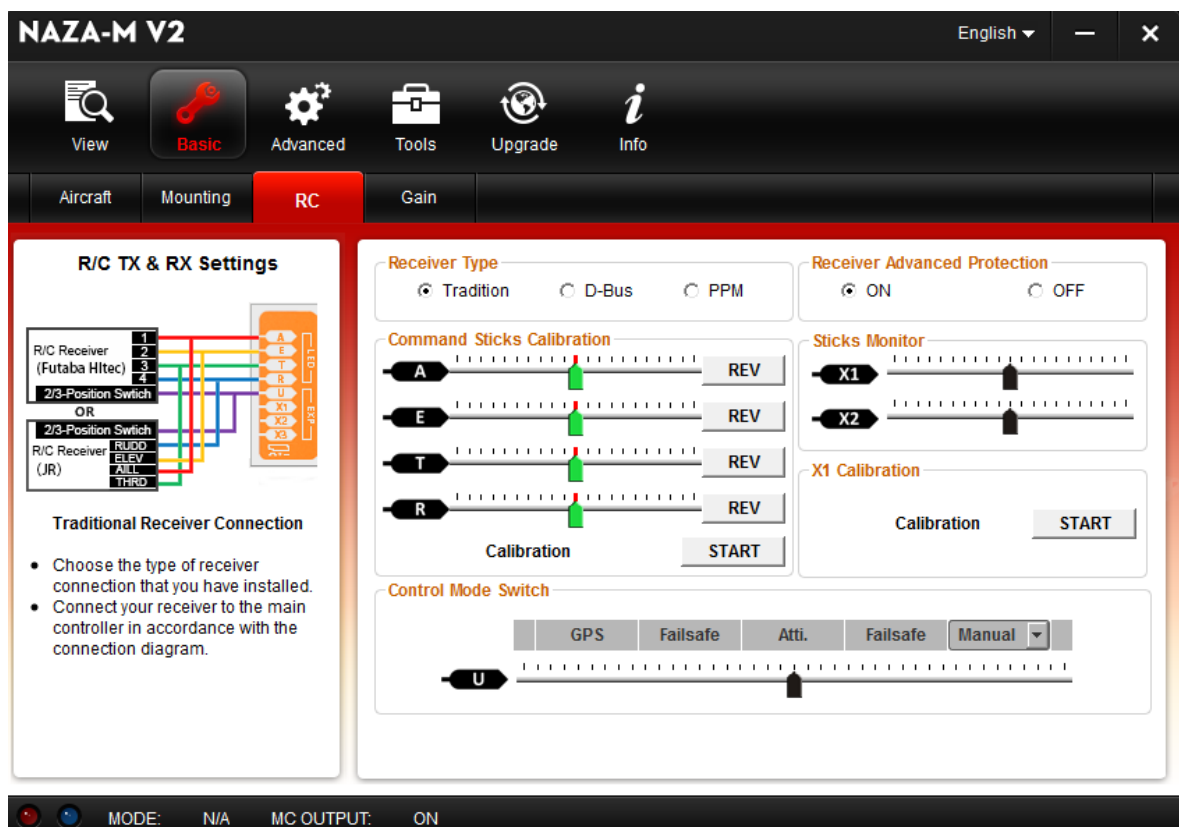
Těžiště kvadrokoptéry je v osovách na bodu 0, 0, 0 a od něj měříme vzdálenost k GPS/Kompas modulu. V tomto případě bylo nastavení  $x = 4$  cm,  $y = 0$  cm a  $z = -14$  cm. Pokud by byla poloha modulu zapsána špatně, mohlo by to vést k oscilacím modelu při letu. Řídicí jednotka musí být umístěna ve směru orientace šipky v programu. Jinak bude docházet k driftování modelu či jeho převrácení při startu a let by nebyl možný.



Obrázek 37 – Lokace GPS/Kompas modulu [38]

### 6.2.3 Kalibrace ovladačů vysílače a přepínače letových režimů

- Volba typu přijímače - V popisu je vždy uvedené, jaký typ přijímače má jaké zapojení. V tomto případě bylo zvoleno tradiční zapojení.
- Nastavení kalibrace ovladače - Na vysílače nastavíme výchylky všech kanálů na výchozí hodnotu. Poté klikneme na tlačítko START a několikrát vychýlíme ovladače vysílačky do krajní polohy a klikneme na FINISH. Nyní se zaznamenaly koncové výchylky všech ovladačů.
- Nastavení přepínače letových režimů - Toto nastavení je závislé na zapojení přijímací jednotky. Pokud bylo zapojení dodrženo podle instrukcí, měl by v tomto případě přepínač volit mezi GPS/Atti./Manual režimy. Výchylku doladíme na vysílači.

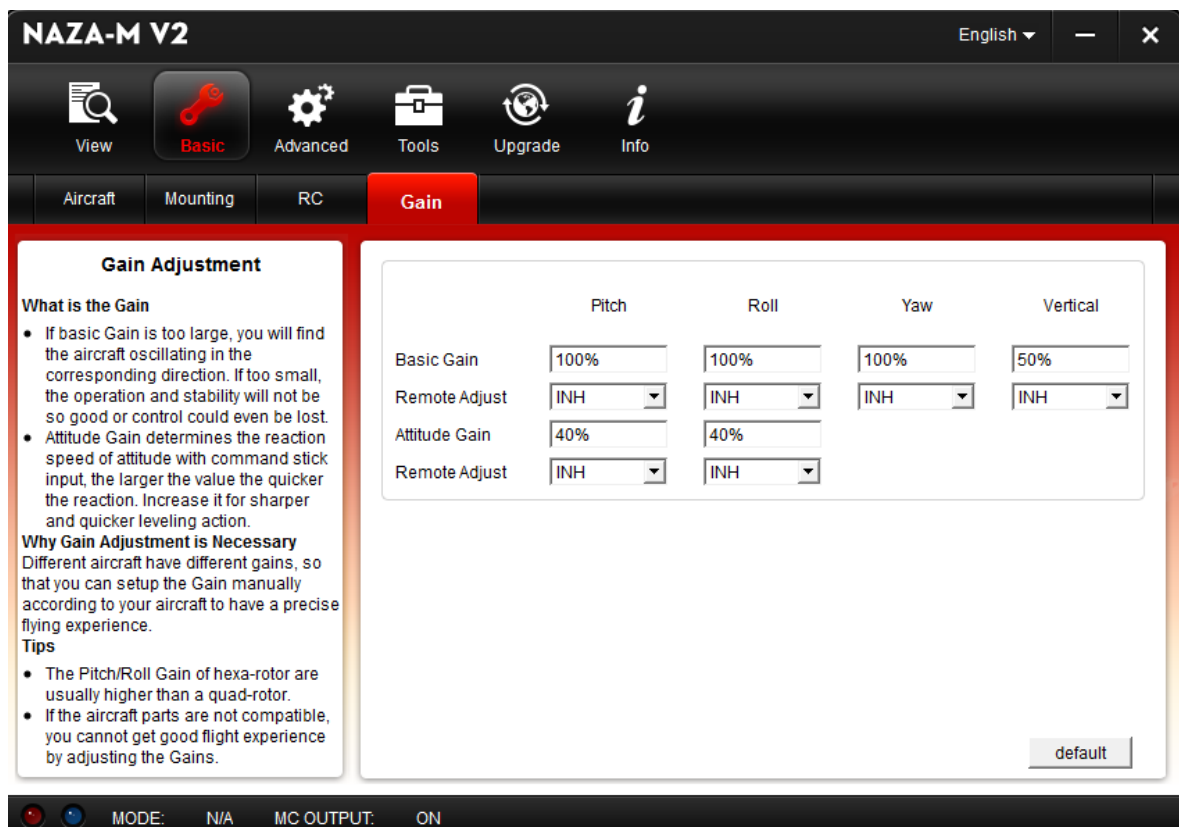


Obrázek 38 – Kalibrace ovládání [38]

Další nastavení ještě umožňuje kalibraci potenciometrů k ovládání gimbálu a kamery.

## 6.2.4 Zisk

Nastavení zisku slouží k doladění citlivosti ovládání modelu, vše záleží na velikosti vrtulí, typu regulátorů a motorů. Při nastavení nízkého zisku bude kvadrokoptéru obtížnější řídit a při nastavení většího zisku bude kvadrokoptéra oscilovat v dané ose. Ideální je tedy najít střední nastavení. „Pitch“ slouží k nastavení zisku klopení, „Roll“ zisku klonění, „Yaw“ zisku bočení a „Vertical“ nastavení svislého zisku. „Attitude Gain“ neboli polohový zisk udává závislost rychlosti změny polohy modelu na pohyb ovladače na vysílači. Reakce jsou rychlejší s vyšší hodnotou zisku.



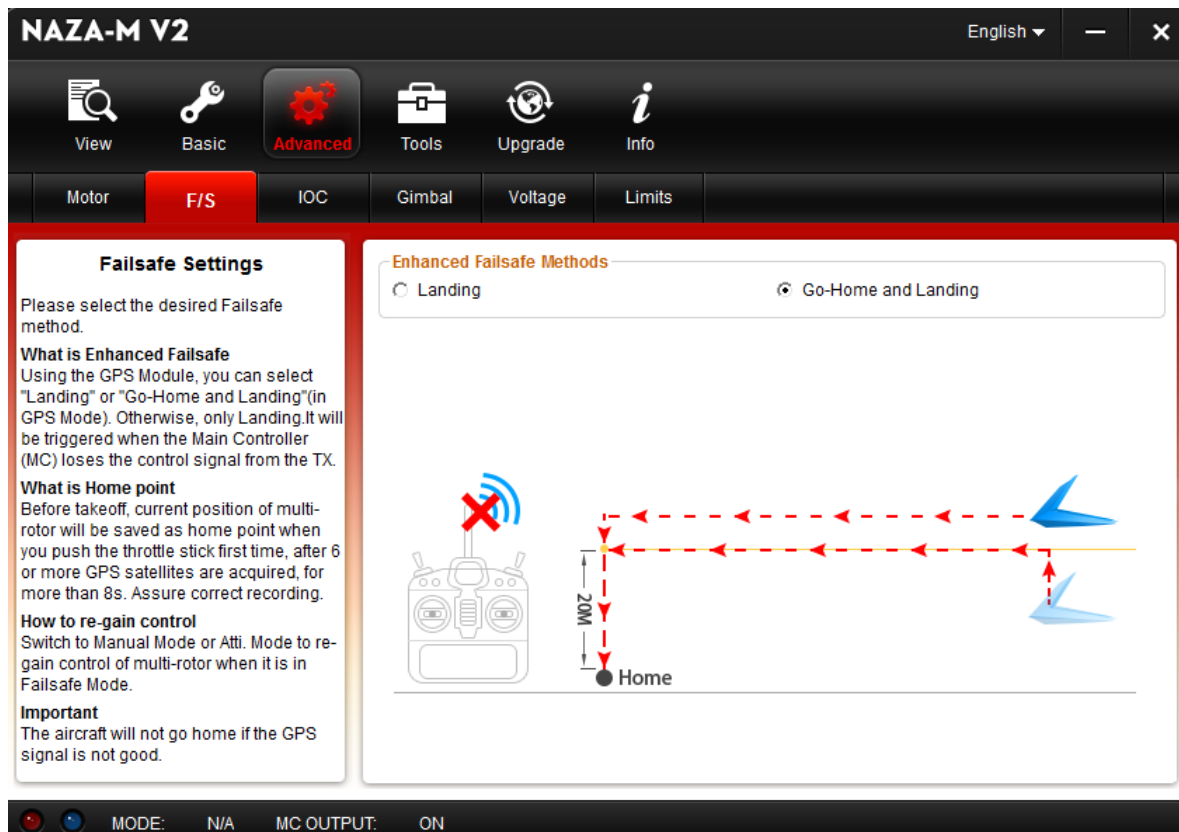
Obrázek 39 – Nastavení zisku [38]

## 6.2.5 Pokročilá nastavení

Program NAZAM umožňuje také pokročilé nastavení modelu.

V této sekci programu jsou možná tato nastavení:

- Volnoběžných otáček motoru,
- výběr failsafe modu,
- IOC – inteligentní ovládání směru,
- gimball,
- sledování napájecího napětí,
- limity maximální výšky a vzdálenosti.



Obrázek 40 – Pokročilé nastavení kvadrokoptéry – výběr failsafe módu [38]

## 7 LETOVÉ VLASTNOSTI

Testování probíhalo v letovém režimu GPS Atti., a to pouze se základními komponenty, to znamená bez gimbalu a kamery. Kvadrokoptéra se pohybovala v letové výšce přibližně 10 až 20 m nad zemí.

### 7.1 Test při rychlosti větru 2 m/s

K první testování došlo za slunečného dne při rychlosti větru cca 2 m/s. Kvadrokoptéra se ve vzduchu stabilně vznášela bez sebemenších problémů, avšak po přibližně osmi minutách došlo k problému s baterií. Jedna baterie s kapacitou 2200 mAh doporučená výrobcem jako vhodná k motorům, začala signalizovat nízké napětí.

Z tohoto důvodu byla na kvadrokoptéru umístěna druhá náhradní baterie v paralelním zapojení s první, čímž bylo docíleno zvýšení kapacity na 4400 mAh.

Druhý pokus se zvýšenou kapacitou akumulátoru proběhl podobně při rychlosti větru cca 2 m/s. I přes svou vyšší hmotnost se kvadrokoptéra opět bez problému vznášela na jednom místě s minimální výchytkou své polohy. Její zvýšená hmotnost způsobila vyšší proudový odběr motorů a doba letu trvala přibližně 14 minut, po té začalo kolísat napětí baterie.

Doba letu je neuspokojivá. Bohužel z finančních důvodů nebylo možné provést výměnu baterie a zvýšit tím dobu letu alespoň na 20 minut.

### 7.2 Test při rychlosti větru 4 m/s

Další test se konal za horších větrnostních podmínek s přibližnou silou větru 4 m/s. Kvadrokoptéra si pomocí GPS opět skvěle udržovala svou pozici a ovládání se chovalo velmi podobně jako při rychlosti větru 2 m/s. Let tedy proběhl bez problému, akumulátor v tomto případě vydržel přibližně 14 minut.

### 7.3 Test při rychlosti větru 9 m/s

Poslední pokus testování letových vlastností se základní sestavou kvadrokoptéry byl proveden při rychlosti větru cca 9 m/s. Tato rychlost větru už byla dosti znát na stabilitě kvadrokoptéry. Ta si udržovala svou výšku a zeměpisnou polohu s odchylkou přibližně 0,5 m. V tomto případě bylo vedení kvadrokoptéry mnohem náročnější, protože pohyby kvadrokoptéry byly ovlivněny silnějším větrem, tudíž řízení nereagovalo přesně, jak by mělo. Jsem si však jist, že se jedná i o chybu pilota, který nemá dostatečné letové zkušenosti.

V silnějším větru nebyly z důvodu malých zkušeností s ovládáním letounů další pokusy prováděny. Testovaný typ multikoptery však má pod vedením zkušeného pilota předpoklady k letu i při vyšší rychlosti.

K testování kvadrokoptéry nemohlo být použito ideální vybavení v podobě anemometru, který nebyl k dispozici. Proto bylo testování provedeno s pomocí bezplatné android aplikace AccuWeather. Tato aplikace poskytuje informace o rychlosti a směru větru. Údaje z aplikace nebyly úplně přesné, avšak k přibližnému testování postačily.

## ZÁVĚR

Závěr každé bakalářské práce by se měl věnovat zejména zhodnocení cílů stanovených v úvodu práce. Cílem teoretické části mé bakalářské práce bylo provedení literární rešerše zaměřené na využití dronů pro monitorování obtížně dostupných prostor. Domnívám se, že tohoto cíle se mi podařilo dosáhnout. Zjistil jsem, že kvalitní odborné literatury zabývající se problematikou bezpilotních letadel je v současné době nedostatek. Je to obor, který se teprve začíná rozvíjet. V první kapitole jsem provedl základní rozdělení bezpilotních letadel a poté jsem mírně nastínil problematiku české legislativy týkající se provozu dronů. Dále jsem se zabýval jednotlivými typy multikoptér a popisem funkcí základních součástí. Nastudování těchto poznatků bylo nezbytně nutné pro získání teoretického základu k vypracování mé praktické části bakalářské práce. V závěru teoretické části jsem popsal využití dronů pro monitorování obtížně dostupných prostor a uvedl příklady pro jejich možné využití v průmyslu komerční bezpečnosti. Teoretickou část jsem zakončil představením dvou výborných dronů vytvořených českými firmami a dále dronu ze švýcarské produkce, které svou funkcí letu bez ovládání pilotem a uměním nalezení cesty udávají nový rozměr využití dronů pro budoucnost.

Cílem praktické části bakalářské práce bylo navržení konstrukce dronu s možností jejího dalšího rozšíření, tuto kvadrokoptéru z dostupných komponent sestavit a otestovat její letové vlastnosti. Sestavená kvadrokoptéra splnila mé očekávání, její letové vlastnosti jsou výborné a konstrukci se mi podařilo rozšířit o stabilizaci kamery. Myslím si, že vznikl kvalitní stroj, který je vhodný pro pořizování fotografií a videa na poloprofesionální úrovni. I při vyšších povětrnostních podmínkách model zvládne držet svou pozici a pořizovat kvalitní video záznam. S výsledkem testování kvadrokoptéry jsem však nebyl zcela spokojen, a to s délkou letu modelu. Tomuto problému se chci v nejbližší době ještě věnovat a pokusit se v ideálním případě prodloužit dobu trvání letu na cca 30 min. Naopak mě při testování letových vlastností multikoptery potěšilo, že díky kvalitní řídicí jednotce, kterou jsem při konstrukci modelu použil, se dron dokáže i při ztrátě signálu vrátit na místo startu. Což je skvělá výhoda pro začínající piloty s méně zkušenostmi.

Poznatky, které jsem načerpal při tvorbě této bakalářské práce, bych si chtěl i nadále rozšiřovat a věnovat se této problematice se věnovat více do hloubky. Žijeme v moderní době, potenciál dronů je díky novým technologiím obrovský a věřím, že za nedlouho budou součástí každodenního života většiny lidí. Již dnes například americká firma Amazon uvažuje



o dronech jako expresních doručovacích kurýrech, které by samovolně létaly a přenášely zásilky. Vývoj a potenciál dronů je opravdu obrovský, zatím však celosvětově naráží na přísnou legislativu, která zatím na rozvoj dronů nedokáže adekvátně reagovat.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Bezpilotní letadlo. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Bezpilotn%C3%AD\\_letadlo](http://cs.wikipedia.org/wiki/Bezpilotn%C3%AD_letadlo)
- [2] HAMAN, Tomáš. *Přehled bezpilotních letounů* [online]. Brno, 2010 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_ve\\_rejne.php?file\\_id=28533](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_ve_rejne.php?file_id=28533). Bakalářská práce. Vysoké učení technické.
- [3] HARAŠTA, Jakub. Má právo co říci k bezpilotním letounům?. *Má právo co říci k bezpilotním letounům?* [online]. 2014, č. 1 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.securitymagazin.cz/legislativa/ma-pravo-co-rici-k-bezpilotnim-letounum-1404043171.html>
- [4] Bezpilotní letouny řízené z USA útočí na dálném východě jako v počítačové hře. In: *Technet* [online]. 2010 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: [http://technet.idnes.cz/bezpilotni-letouny-rizene-z-usa-utoci-na-dalнем-vychode-jako-v-pocitacove-hre-18b-/tec\\_tecnika.aspx?c=A100322\\_160113\\_tec\\_tecnika\\_vse](http://technet.idnes.cz/bezpilotni-letouny-rizene-z-usa-utoci-na-dalнем-vychode-jako-v-pocitacove-hre-18b-/tec_tecnika.aspx?c=A100322_160113_tec_tecnika_vse)
- [5] Komerční využívání dronů zažívá boom. Zároveň ale roste počet přestupků. 2015. ŠVEJDOVÁ, Zuzana. *Rozhlas* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: [http://www.rozhlas.cz/zpravy/technika/\\_zprava/komercni-vyuzivani-dronu-zaziva-boom-zaroven-ale-rostе-pocet-prestupku--1485575](http://www.rozhlas.cz/zpravy/technika/_zprava/komercni-vyuzivani-dronu-zaziva-boom-zaroven-ale-rostе-pocet-prestupku--1485575)
- [6] V Paříži zadrželi tři novináře Al-Džazíry, kteří nad městem ilegálně pouštěli drony. 2015. *Rozhlas* [online]. [cit. 2015-05-9]. Dostupné z: [http://www.rozhlas.cz/zpravy/evropa/\\_zprava/1459946](http://www.rozhlas.cz/zpravy/evropa/_zprava/1459946)
- [7] PŠENIČKA, Jiří. 2015. Jak si chce stát pořizovat drony. *Drony útočí* [online]. (1) [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: [http://www.dotyk.cz/08-2015/4\\_drony-utoci](http://www.dotyk.cz/08-2015/4_drony-utoci)
- [8] Povolení k létání a leteckým pracím. 2014. *Andru* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.andru.cz/povoleni-letani-letecke-prace/>
- [9] Přehled základních požadavků na bezpilotní systémy. 2011. *Úřad pro civilní letectví* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilotana-palube/prehled-zakladnich-pozadavku-na-bezpilotni-systemy>
- [10] OPLUŠTIL, Milan. *Určení řízení pohybových stavů quadcoptery* [online]. Zlín, 2014 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://digilib.k.utb.cz/handle/10563/29962?show=full>. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati.

- [11] SIEGWART, Roland. *Introduction to autonomous mobile robots*. 2nd ed. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2011, xvi, 453 s. Intelligent robotics and autonomous agents. ISBN 978-0-262-01535-6.
- [12] PETR, Gábrlík. *Quadrocopter - stabilizace a regulace* [online]. Brno, 2010 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_ve\\_rejne.php?file\\_id=29578](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_ve_rejne.php?file_id=29578). Bakalářská práce.
- [13] BURŠÍK, Jiří. *Autonomní létající vozidla a jejich aplikace* [online]. Plzeň, 2014 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: [https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/12508/bakalarska\\_prace\\_Jiri\\_Bursik-Autonomni\\_letajici\\_vozidla.pdf?sequence=1](https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/handle/11025/12508/bakalarska_prace_Jiri_Bursik-Autonomni_letajici_vozidla.pdf?sequence=1). Bakalářská práce.
- [14] DUDEK, Gregory a Michael JENKIN. *Computational principles of mobile robotics*. 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 2010, xiii, 391 p. Intelligent robotics and autonomous agents. ISBN 05-216-9212-1.
- [15] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Vyd. 1. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 247 s. ISBN 80-730-0141-1.
- [16] BÜCHI, Roland. *Fascination quadrocopter*. 1., neue Ausg. Norderstedt: Books on Demand, 2011. ISBN 978-384-2367-319.
- [17] PAYNE, John. Flyability wins UAE Drones For Good Award. *Robohub* [online]. 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://robohub.org/flyability-wins-uae-drones-for-good-award/>
- [18] LANG, Pavel. BRUS: Ostrá akce českého dronu v muničním skladu. *Armadnioviny* [online]. 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.armadnioviny.cz/e2809eostra22-premiera-ceskeho-bezpilotniho-stroje-v-municnim-skladu.html>
- [19] Vojenský technický ústav představil nový bezpilotní stroj. *Novinky* [online]. 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.novinky.cz/domaci/361925-vojensky-technicky-ustav-predstavil-novy-bezpilotni-stroj.html>
- [20] JEŽEK, Martin. Ve Švýcarsku vyrobili 'opilý' dron, měl by pomáhat záchranářům. *Rozhlas* [online]. 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: [http://www.rozhlas.cz/zpravy/technika/\\_zprava/1455648](http://www.rozhlas.cz/zpravy/technika/_zprava/1455648)
- [21] Monitorování letošní povodně pomocí dronů. *Cad* [online]. 2013 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.cad.cz/component/content/article/4235.html>

- [22] G3 RAY Li-Pol 2200mAh/11,1 26/50C Air pack. *Helicam* [online]. 2015 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.helicam.cz/shop/cz/akumulatory/2000-3500mah/ray/g3-ray-li-pol-2200mah-11-1-26-50c-air-pack>
- [23] PELIKÁN, Daniel. *NAZA-M pro multikoptéry: Návod k obsluze* [online]. 2012 [cit. 2015-05-22].
- [24] Naza M V2 + GPS Combo řídicí jednotky pro multikoptéry. PELIKÁN, Daniel. *Pelikandaniel* [online]. 2015 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.pelikandaniel.com/?sec=product&id=69915>
- [25] Vrtule 10 x 4,5 ( 2 ks 1 CCW + 1 CW) (1045). PELIKÁN, Daniel. *Pelikandaniel* [online]. 2015 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.pelikandaniel.com/?sec=product&id=74993>
- [26] C2212-0920 náhradní motor FlameWheel. *Kvadroptera* [online]. 2015 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.kvadroptera.cz/shop/index.php?uri=/c22120920-nahradni-motor-flamewheel-p73>
- [27] ESC 30A OPTO náhradní regulátor. *Kvadroptera* [online]. 2015 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.kvadroptera.cz/shop/index.php?uri=/esc-30a-opto-nahradni-regulator-p68>
- [28] DJI - F450 ARF kit. PELIKÁN, Daniel. *Pelikandaniel* [online]. 2015 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.pelikandaniel.com/?sec=product&id=66830>
- [29] Quadcopter Frame V1-F450. *Battrc* [online]. 2015 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.battrc.com/ShowProducts.asp?ID=105&ClassID=5>
- [30] Zenmuse H3-2D. *DJI* [online]. 2015 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.dji.com/product/zenmuse-h3-2d>
- [31] MX-16 2,4GHz HOTT RC souprava. *RCKing* [online]. 2015 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.rcking.eu/cs/pakove/17600-mx-16-24ghz-hott-rc-souprava-v-2011-4013389455961.html>
- [32] Co je nového na poli bezpilotních leteckých prostředků? Aneb jedinečná možnost proniknout do problematiky dronů v ČR. *Ozbrojeneslozky* [online]. 2015 [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.ozbrojeneslozky.cz/clanek/co-je-noveho-na-poli-bezpilotnich-leteckych-prostredku-aneb-jedinecna-moznost-proniknout-do-problematiky-dronu-v-cr>

- [33] O robodronech. *Robodrone* [online]. 2015 [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.robodrone.com/o-robodronech>
- [34] Kingfisher. *Robodrone* [online]. 2015 [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.robodrone.com/produkty-a-sluzby>
- [35] Letecké práce. *helicam* [online]. 2015 [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: <http://www.helicam.zone/inpage/helicam-sluzby/>
- [36] KÁRNÍK, Ladislav, Radek KNOFLÍČEK a Jozef NOVÁK-MARCINČIN. *Mobilní roboty*. Vyd. 1. Opava: Márfy Slezsko, 2000, 212 s. ISBN 80-902-7462-5.
- [37] AirDog pro minikamery GoPro i AEE MagiCam. 2014. *Kiteboarding* [online]. [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.kiteboarding.cz/kite-clanky-paddleboarding-sup/airdog-auto-follow-drone-gopro-magicam-snowkiting.php>
- [38] DJI inovations. *DJI NAZAM Assistant\_2.20* [software]. [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.dji.com/product/naza-m/download>. Požadavky na systém: Windows XP sp3 / Windows 7 / Windows 8
- [39] FOXY G2 střídavý motor C5325-255. *Rc-profimodel* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.rc-profimodel.de/en-detail-49752-foxy-g2-stridavy-motor-c5325-255.html#>
- [40] Xoar Elektro Holzluftschrauben für Multicopter. *Hoelleinshop* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.hoelleinshop.com/Alles-fuer-den-Elektroflug/Luftschrauben-und-Mitnehmer/Starrluftschrauben/XOAR-Holzluftschrauben/Precision-Pair-Multicopter-Luftschrauben/Xoar-Electric-Precision-Pair-Multicopterpropeller-Paar-13x4-Hacker-34130040.htm?shop=hoellein&SessionId=&a=article&ProdNr=H34130040&t=49302&c=54608&p=54608>
- [41] F450 ESC and Motor Mounting. *DJI* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: [http://wiki.dji.com/en/index.php/F450\\_ESC\\_and\\_Motor\\_Mounting](http://wiki.dji.com/en/index.php/F450_ESC_and_Motor_Mounting)
- [42] NAZA-M V2. *DJI* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.dji.com/product/naza-m-v2>
- [43] Gens ace TATTU 16 000mAh 22.2V 15C 6S1P pro DJI S800/1000. PELIKÁN, Daniel. *Pelikandaniel* [online]. 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.pelikandaniel.com/?sec=product&id=72743>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

PMU	Power management unit
MC	Multirotor controller
GPS	Global positioning systém
LED	Light-emitting diode
FPV	First-person view
Li-Pol	Lithium-Polymerová baterie
ESC	Electronic speed controler
RC	Radio control
FPS	Frames per second

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 – Řídící místnost armádních bezpilotních letounů [4] .....	13
Obrázek 2 – Přehled základních požadavků na bezpilotní systémy [9] .....	17
Obrázek 3 – Trikoptra s příčným klopením .....	19
Obrázek 4 – Trikoptra s čtyřmi rotory .....	20
Obrázek 5 – Trikoptra s šesti rotory.....	20
Obrázek 6 – Kvadroptéra rám X.....	21
Obrázek 7 – Kvadroptéra rám + .....	21
Obrázek 8 – Kvadroptéra rám H.....	22
Obrázek 9 – Hexakoptéra .....	22
Obrázek 10 – Oktokoptéra.....	23
Obrázek 11 – DJI NAZA-M V2 s GPS, LED indikací a PMU [42].....	24
Obrázek 12 – Střídavý outrunner motor Foxy G2 [39] .....	25
Obrázek 13 – Střídavý regulátor [10] .....	26
Obrázek 14 – Rozložitelná kvadroptéra AirDog [37].....	27
Obrázek 15 – Dřevěné vrtule Xoar [40] .....	27
Obrázek 16 – Akumulátor Gens ace TATTU 16 000 mAh [43] .....	28
Obrázek 17 – Trikoptra Brus s řídicím pultem [18] .....	31
Obrázek 18 – Flyability Gimball [17].....	32
Obrázek 19 – Robodrone Kingfisher .....	32
Obrázek 20 – Funkce fail-safe „Go home“ [23] .....	35
Obrázek 21 – Inteligentní funkce „Course a Home lock“ [23].....	36
Obrázek 22 – Napájecí jednotka DJI PMU V2 [24].....	36
Obrázek 23 – Modul GPS/Kompas DJI NAZA-M V2 [24] .....	37
Obrázek 24 – Led indikátor DJI NAZA-M V2 [24].....	37
Obrázek 25 – Rám DJI F450 [29].....	38
Obrázek 26 – Motor DJI C2212-0920 [26] .....	39
Obrázek 27 – Regulátor DJI ESC 30A OPTO [27] .....	39
Obrázek 28 – Vrtule DJI 10x4,5" [25].....	40
Obrázek 29 – Akumulátor G3 RAY 2200/11,1 26/50C [22].....	40
Obrázek 30 – RC souprava Graupner-MX16 [31].....	41
Obrázek 31 – Gimbal Zenmuse H3-2D s GoPro Hero3 [30] .....	42
Obrázek 32 – Elektrické vedení rámu f450 [41].....	44

---

Obrázek 33 – Blokové schéma instalace řídicí jednotky [23] .....	45
Obrázek 34 – Kvadrokoptéra po zapojení .....	45
Obrázek 35 – Kompletně sestavený model kvadrokoptéry .....	46
Obrázek 36 – Zvolení typu multikoptéry [38] .....	47
Obrázek 37 – Lokace GPS/Kompas modulu [38] .....	48
Obrázek 38 – Kalibrace ovládání [38] .....	49
Obrázek 39 – Nastavení zisku [38] .....	50
Obrázek 40 – Pokročilé nastavení kvadrokoptéry – výběr failsafe módu [38] .....	51



**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 – Technické parametry DJI NAZA V2 [24] .....	38
Tabulka 2 – Technické parametry rámu DJI F450 [28].....	39
Tabulka 3 – Technické parametry akumulátoru G3 RAY [22] .....	41
Tabulka 4 – Technické parametry RC soustavy Grapner MX-16 [31].....	42
Tabulka 5 – Cena základních komponent kvadrokoptéry .....	43