



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

LÉTAJÍCÍ ROBOT PRO GEOFYZIKÁLNÍ ÚČELY

FLYING ROBOT FOR GEOPHYSICAL PURPOSES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jurij Mocek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Simeon Simeonov, CSc.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Jurij Mocek**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **doc. Ing. Simeon Simeonov, CSc.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Létající robot pro geofyzikální účely

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh létajícího robota. Návrh způsobu řízení létajícího robota

Cíle diplomové práce:

1. Analýza stávajícího stavu létajících robotů pro geofyzikální účely
2. Návrh konfigurace létajícího robota – užitečná hmotnost do 5 kg.
3. Návrh způsobu řízení: - dálkové řízení, GPS, apod.

Seznam literatury:

Autonomous Flying Robots (Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles), 2010, XVII, 329 p., Nonami, K., Kendoul, F., Suzuki, S., Wang, W., Nakazawa, D., SBN 978-4-431-53856-1

PETRÁSEK, Miroslav. Základy letu - vrtulník. Vyd. 1. Brno : CERM, 2008. 98 s. ISBN 978-80-72-4-588-4.

GURDAN, Daniel, et al. Energy-efficient Autonomous Four-rotor Flying Robot Controlled. ICRA 2007. 2007, 1, s. 361-366. ISSN 1-4244-0602-1.

CAI, Guowei, et al. Systematic design methodology and construction of UAV. Mechatronics. 2008, Volume 8, Issue 10, s. 545-558. Dostupný také z WWW: <<http://www.sciencedirect.com>>

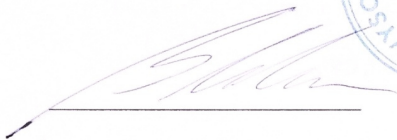
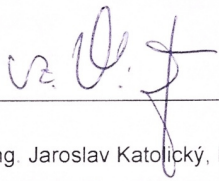
<http://www.flying-robots.com/en/>

http://www.ted.com/talks/vijay_kumar_robots_that_fly_and_cooperate

<https://www.edx.org/course/autonomous-navigation-tumx-autonavx#.VHYEvGfdOJs>

Termín odevzdání diplomové práce je stanovan časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne 30.11.2015

		
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel ústavu		doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan

Abstrakt

Cílem této práce je navrhnout konstrukční řešení pro dálkově řízený létající stroj a navrhnout způsob jeho řízení. Práce se zabývá obecným způsobem, jak zkonstruovat létající stroj se svislým startem a konkrétním řešením konstrukce.

Abstract

The aim of this work is to propose a construction solution for remote controlled flying machine and to propose way of its management. The work deals with the general way to construct a flying machine with vertical start and concrete solution for construction.

Klíčová slova

Létající robot, bezpilotní letoun, Oktokoptéra, Řízení bezpilotních letounů

Keywords

Flying robot, unmanned aircraft, Octocopter, Drone remote control

Bibliografická citace

MOCEK, J. *Létající robot pro geofyzikální účely*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 69 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Simeon Simeonov, CSc..

Prohlášení autora o původnosti práce

Já, Jurij Mocek, prohlašuji, že tato diplomová práce je mým dílem, které jsem vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce. Veškerou literaturu a další zdroje, ze kterých jsem čerpal jsem uvedl v seznamu použité literatury.

V Brně dne: 27.5.2016

.....

Obsah

Úvod.....	11
1.Létající roboty.....	12
1.1 Vznik reakčního momentu a jeho odstranění	12
1.2 Rozdělení	13
1.2.1 Armádní účely	13
1.2.2 Civilní účely	14
1.3 Právní předpisy v ČR	17
2. Postup při navrhování létajícího robota.....	18
2.1 Terminologie	18
2.1.1. Typy létajících robotů	18
2.1.2. Mechanika.....	18
2.1.3 Pohon.....	19
2.1.4. Řízení.....	19
2.1.5. Senzory	20
2.2 Návrh rámu	20
2.2.1 Trikoptéra	20
2.2.2 Kvadroptéra.....	21
2.2.3 Hexakoptéra.....	21
2.2.4 Oktokoptéra.....	22
2.2.5 Velikost rámu	23
2.2.6 Materiál	23
2.2.7 GIMBAL.....	24
2.2.8 Podvozek	24
2.2.9 Montáž	24
2.3 Návrh pohonu.....	25
2.3.1 Motor.....	25
2.3.2 VRTULE	26
2.3.3 ESC regulátory.....	29
2.3.4 Baterie (Akumulátor)	30
2.4. Řízení.....	31
2.4.1 Hlavní procesor / Řídící jednotka	31
2.4.2 SENZORY	32
2.4.3 LETOVÉ REŽIMY	34

2.4.4. SOFTWARE.....	34
2.4.5 KOMUNIKACE	35
3. Návrh konfigurace létajícího robota	37
3.1 Návrh rámu	37
3.2 Rotory	39
3.3. Měření tahu	40
3.4 Přídavné zařízení	51
3.4.1 Sonar Deeper Pro +	51
3.4.2 Elektronický naviják.....	52
3.5 Celková váha multikoptéry:	53
3.6 Podvozek	53
4. Návrh způsobu řízení	54
4.1 Příslušenství k řídící jednotce	56
4.2 RC souprava	58
4.3 Nastavení řídící jednotky.....	59
4.3.1 Výběr typu modelu	59
4.3.2 Nastavení GPS a polohy řídící jednotky.....	60
4.3.3 Kalibrace ovladače a nastavení letových režimů	60
4.3.4 Zisk (Gain)	61
4.3.5 Další nastavení	62
4.4 Celková pořizovací cena:	63
5. Závěr.....	64
6. Seznam literatury	65
7. Seznam obrázků	68
8. Přílohy.....	69

Úvod

Konstrukce bezpilotních létajících strojů je velmi populární. Je to dáno především technicky jednoduchou nenáročností konstrukce a při troše zručnosti si každý může sestavit vlastní návrh těchto létajících strojů.

První známý koncept multikoptér pochází z roku 1922. Autoři byli Dr. George de Bothezat a Ivan Jerome. Sestavili kvadrokoptéru o hmotnosti 1700kg rozpětím ramen 9m. Stroj dokázal viset ve vzduchu necelé dvě minuty. Po roce vývoje byl tento projekt ukončen, protože nebyl schopen překonat výšku 5 metrů. A na delší dobu byla celková myšlenka vícerotorového stroje zapomenuta.

Jak tomu většinou u vědeckého vývoje bývá, za počátkem rozvoje stál zájem armády během druhé světové války. Jejich zájem o použití bezpilotních strojů posunul vývoj výrazně dopředu. V dnešní době je již běžné používání bezpilotních strojů pro bojové i průzkumné nasazení.

Díky rozvoji počítačové techniky a miniaturizaci elektroniky za posledních několik let se rozmáhá vývoj těchto strojů a rozšiřují se do všech oblastí.

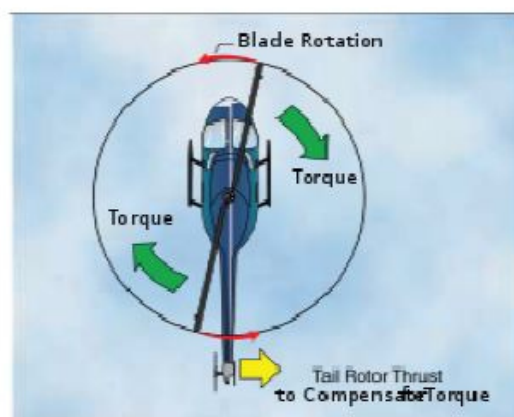
Cílem této práce je podrobně se seznámit s problematikou při navrhování létajících strojů. V první části se zabývá stručnou analýzou létajících strojů. Druhá část pojednává o konkrétních možnostech postupu při realizaci vlastního návrhu. Třetí část je směřována na konstrukční návrh létajícího robota pro geofyzikální účely, přesněji pro monitorování dějů pod vodní hladinou. Závěr práce popisuje, jakým způsobem lze navržený stroj ovládat.

1. Létající roboty

Jedním z hlavních požadavků létání je schopnost se pohybovat nebo viset ve vzduchu. Tyto požadavky splňují letadla. Mezi letadla lze zařadit vzducholodě, letadla s rotujícími nosnými plochami nebo letadla s reakčním pohonem. Tato práce se zaměřuje na bezpilotní letouny s rotujícími nosnými plochami, které jsou schopny svislého startu a přistání. Přesněji UAV, což je zkratka z anglického Unmanned Aerial Vehicle, která v překladu znamená letadlo bez posádky. UAV může být řízeno na dálku nebo může letět pomocí předem naprogramovaných souřadnic. [1]

1.1 Vznik reakčního momentu a jeho odstranění

Reakční moment vzniká vlivem otáčení rotoru. Jeho velikost je přímo úměrná otáčkám motoru a má směr proti smyslu otáčení rotoru. U jednorotorových létajících strojů se tento moment eliminuje přidáním ocasního rotoru, který zajišťuje vyrovnavání. Jelikož reakční moment není vždy stejný, je nutné upravovat i tah ocasního rotoru. U létajících robotů se sudým počtem rotorů je tento moment eliminován tím, že polovina rotorů má opačný směr otáčení. [1]



Obr. 1.1 Zobrazení jaký způsobem se eliminuje reakční moment u helikoptéry a kvadrokoptéry

1.2 Rozdělení

Nejzákladnějším možným rozdělením je rozdělení podle jejich funkce a účelu využití. Jedná se o rozdělení na UAV používaná pro civilní účely a UAV pro vojenské účely. Dále existuje mnoho parametrů, dle kterých můžeme UAV rozdělovat. Zde jsou některé z nich:

- Počet rotorů
- funkce
- rychlost letu
- hlavní charakteristiky - váha, dolet, tah, typ motoru
- účel
- užitečná hmotnost

Dále podle účelu lze UAV rozdělit na:

- průzkumné a geofyzikální
- bojové (armádní)
- civilní
- výzkumné
- logistické

1.2.1 Armádní účely

Tyto drony slouží výhradně pro vojenské účely. O vývoj prvních UAV se zasloužila druhá světová válka. První drony sloužily jako útočné bombardovací stroje. O další výraznější pokrok dronů se zasloužil opět válečný konflikt, tentokrát to bylo v období studené války.

Využití létajících strojů poskytuje mnoho výhod. Díky absenci posádky letouny mají mnohem menší rozměry a můžou se přiblížit daleko blíže nebezpečnému prostředí, protože posádky sedí v bezpečí u ovládání daleko od místa operace.

AirMule

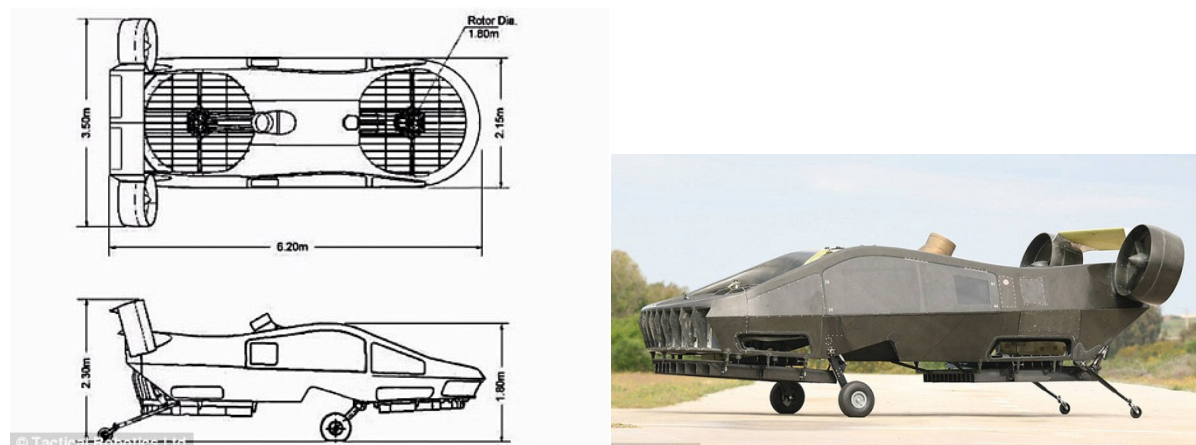
Počátek vývoje tohoto stroje začal již v roce 2004, kdy izraelská společnost Urban Aeronautics představila koncept "létajícího automobilu" X-Hawk LE. Byl to první pokus sestavit stroj velikosti automobilu s kolmým startem a přistáním. S pohybem po zemi se příliš nepočítá, ale v jistém rozsahu je k dispozici. Tento stroj je poháněn dmychadly. Byl navrhován za účelem pronikání v malé výšce nepřátelskými liniemi a odvážet raněné do bezpečí.

Poprvé do vzduchu se dostal v roce 2008 pod názvem Panda a v roce 2009 byla představena jeho vojenská verze.

V roce 2010 byl projekt přejmenován na AirMule. Nový stroj už dokázal krátce viset ve vzduchu, takže se mohla otestovat jeho stabilita a ovladatelnost.

Po 5 letech vývoje a přibližně po 200 testovacích letech se 30. prosince 2015 stroj poprvé zvládl autonomní let bez jištění. V následujících měsících se počítá s lety za hranici viditelnosti a řízení pouze radiovým spojením.

AirMule sice bude pomalejší než vrtulník, ale jeho přední vlastnosti jsou v přistávání ve stísněných prostorech a nepotřebuje tolik prostoru pro přistání. S dobrým senzorovým vybavením by měl být schopen vlétnout i do uzavřených prostorů, jako jsou například podzemní garáže.



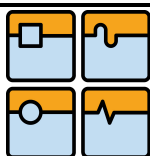
Obr. 1.2 X-Hawk LE

1.2.2 Civilní účely

V současné době mohou být civilní letouny vybaveny stejně jako vojenské letouny. Existuje mnoho oblastí využití létajících strojů a každým rokem je o jejich využití větší zájem.

Civilní létající stroje lze využít v těchto oblastech:

- záchranné služby
 - průzkum oblastí postižených pohromou
 - pátrání po nezvěstných osobách
 - hašení požárů
 - přeprava léků a potravin
- zemědělství a ochrana přírody
 - chemické ošetření potravin
 - zjišťování rozšíření invazivních rostlin
 - sledování zvěře a zjišťování přítomnosti pytláků
- bezpečnostní služby
 - pronásledování a vyhledávání osob a vozidel
 - ostraha objektů



- médi a komunikace
 - reklamní přelety
 - filmování a fotografování jinak nedostupných záběrů
- logistika
 - přeprava zásilek
- zábava
 - dálkové řízení letu
 - průzkum okolí
 - filmování a fotografování [24]

Aerosonde Mark 4.4 series

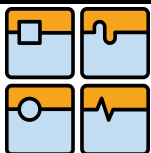
Tento létající stroj byl vyroben australskou firmou AAI. Je to multifunkční letoun vyvinutý pro shromažďování meteorologických údajů. Do vzduchu se dostává pomocí startovací rampy nebo z rychle jedoucího vozidla. Jeho předchůdce, Aerosonde Mark 2, se ve své době stal nejmenším letadlem, kterému se podařilo přeletět Atlantický oceán. Aerosonde byla také první bezpilotní letadlo schopné vletět do tropických cyklónů. Pro spuštění a údržbu je zapotřebí 2 nebo 3 osob. Během provozu stačí jedna osoba. Trup je vyroben z kompozitního materiálu, proto je relativně lehký, ale dostatečně pevný na let v náročných podmínkách.

Vlastnosti Aerosonde Mark 4.4.

Délka [m]	1,7
Rozpětí křídel [m]	3,45
Užitečné zatížení [kg]	16,8
Dolet [km]	3000
Maximální rychlost [km/h]	140
Operační výška [m]	4500
Výdrž [hod]	14-24
Motor	Spalovací



Obr. 1.3 Aerosonde Mark 4.4 series



Aeroscout B1-100

B1-100 je švýcarský bezpilotní průmyslový vrtulník. Tento vrtulník poskytuje autonomní laserové skenování, letecké snímky, nahrávání videa, sledování, vyhledávání, záchranu nebo různá vědecká měření.

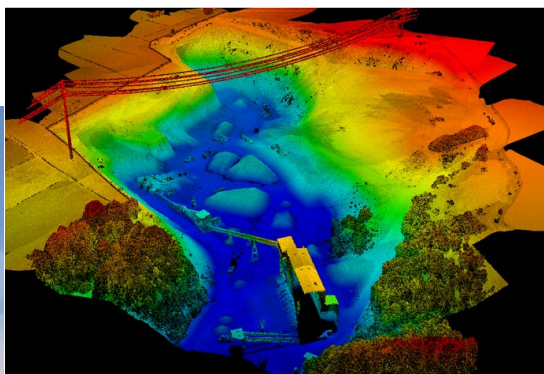
Na stroj lze umístit jakékoliv zařízení a jejich aplikování provádí zkušený tým firmy Aeroscout. Firma dále nabízí úpravu rozhraní dle požadavků klientů. V současné době tento vrtulník využívá několik firem, které se zabývají geofyzikálním průzkumem.

Vlastnosti B1-100:

Průměr hlavního rotoru [m]	3,2
Průměr ocasního rotoru [m]	0,65
Otáčky hlavního rotoru [rpm]	840
Hmotnost [kg]	44
Objem benzínového motoru [ccm]	110
Výkon motoru [PS]	18
Objem nádrže [l]	2 x 5
Materiál listů	Karbon
Délka [m]	3,3
Šířka [m]	0,5
Výška [m]	1



a)



b)

Obr. 1.4 a) Aeroscout B1-100
b) ukázka z průzkumu dolů

1.3 Právní předpisy v ČR

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. " [36]

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 být stroji stále na dohled. Tyto podmínky je nutné dodržovat.

V případě havárie mohou létající stroje ohrozit zdraví lidí, kteří by se mohli pohybovat v jejich blízkosti. Proto je potřeba povolení k letu. Bez tohoto povolení se pilot vystavuje riziku vysoké pokuty od úřadu pro civilní letectví a pokuta se může dostat i do výše několika milionů korun.

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>.
 Bližší informace k problematice lze nalézt na stránkách www.ucl.cz v sekci Provoz / Letadla bez pilota na palubě.
 Případné dotazy lze směřovat na podatelna@cga.cz.

Obr. 1.5. Přehled základních požadavků na bezpilotní letouny

Cena za povolení není zanedbatelná, ale pro provádění leteckých prací je nutná. Cena za povolení se pohybuje orientačně okolo 26.000 Kč (10.000 povolení k leteckým pracím, 10.000 Kč pojištění na rok a 6.500 Kč na správní poplatky pro povolení létání).

2. Postup při navrhování létajícího robota

2.1 Terminologie

Tato část Vás seznámí v terminologii, které se používá v oblasti létajících robotů, přesněji multikoptér. Lze je rozdělit podle několika kategorií: typy létajících robotů, mechanika, pohon, řízení a senzory. Zkratky jsou uvedeny v anglickém jazyku, aby nedocházelo k záměně s něčím jiným.

2.1.1. Typy létajících robotů

ARF (Almost Ready To Fly)	- UAV, který je dodáván téměř sestavený. Zpravidla není vybaven regulátorem ani přijímačem.
BNF (Blind And Fly)	- Je plně sestaven. Obsahuje i přijímač. Zbývá pouze zvolit vhodný vysílač a připojení k přijímači.
DRONE	- Synonymum pro UAV. Drone se obvykle označují UAV pro vojenské účely.
HEXACOPTER	- UAV, které má šest rotorů.
MULTICOPTER	- Letadlo s více rotory.
OCTOCOPTER	- UAV, které má osm rotorů.
QUADROCOPTER	- UAV, které má čtyři rotory a čtyři podpůrná ramena
RTF (Ready To Fly)	- UAV připravený k letu.
SIZE	- Udává velikost třídy UAV. Označuje vzdálenost mezi dvěma rotory na UAV. Obvykle je udávána v mm.
SPYDER	- Nosná ramena nemá symetrická.
TRICOPTER	- UAV, který má tři rotory a tři ramena.
UAV	- Bezpilotní letadlo
V-TAIL	- Quadrocopter, který má dvě ramena ve tvaru "V"
X4/X8	- Konfigurace, které mají čtyři podpůrná ramena.
Y3/Y6	- Konfigurace, které mají tři podpůrná ramena.

2.1.2. Mechanika

CG	- těžiště na UAV
Clamp	- trubková svorka pro připevnění kruhové trubky
Connectors	- konektory pro připojování kabelů

Dampeners	- lisované pryžové díly sloužící k minimalizaci vibrací
Frame	- rám, na kterém drží další části
Landing Gear	- podvozek
LED	- slouží k osvětlení UAV
Prop Guards	- ochranný kryt okolo vrtulí
Retract	- podvozek, který má dvě polohy (přistávací a letovou)
Shell	- kryt okolo celého UAV pro lepší odolnost nebo pro lepší aerodynamické vlastnosti

2.1.3 Pohon

BEC	- regulátor napětí vestavěný do ESC, který může poskytovat napětí 5V pro napájení elektroniky
Blades	- vrtulové listy
CW/CCW	- po směru / proti směru hodinových ručiček
ESC	- regulátor otáček motoru
LiPo	- Lithium Polymerová baterie
PCB	- plošné spoje
Power Distribution	- rozděluje přívod energie
Propeller	- vrtule
Prop Adapter	- slouží k připojení vrtule k motoru
Prop Saver	- typ náboje, který nahrazuje prop adapter. Chrání vrtuli před zničením.
Servo	- druh motoru
Thrust	- tah, který může poskytnout vrtule při určitém napětí.

2.1.4. Řízení

Base	- místo, ze kterého se UAV ovládá
Control Station	- ovládací stanice. Zahrnuje vysílač, anténu, monitor, baterii, počítač a jiná zařízení
Channel	- označuje kanály na vysílači
Flight Controller	- řídicí jednotka. "Mozek" celého UAV
HF/UHF/VHF	- rádiové vlny: HF- vysoká frekvence, UHF- velmi vysoká frekvence VHF - ultra vysoká frekvence
Receiver	- přijímač
Sketch/Code	- program, který je nahrán v řídicí jednotce
Transmitter/Radio	- vysílač

2.1.5. Senzory

Accelerometer	- akcelerometr
Antenna	- anténa
Barometer/Altimeter	- barometr
Compass	- kompas
Flight Recorder	- zaznamenává data z během letu
GPS	- globální polohovací systém
Gyroscope	- gyroskop
IMU	- inerciální měřicí jednotky
Pilot Tube	- zařízení na měření rychlosti

2.2 Návrh rámu

Prvním úkolem při sestavení multikoptéry je zvolit vhodný rám. Existují dvě možnosti vytvoření rámu. Buď se vytvoří vlastní konstrukce, nebo lze vybrat různé typy rámu u prodejců UAV.

Zde je přehled různých typů konfigurací:

2.2.1 Trikoptéra

UAV, který má tři ramena a na každém z nich je umístěn jeden servomotor. Úhel mezi rameny je nejčastěji 120° , ale není to podmínkou. Vlivem lichého počtu rotorů vzniká nepříznivý gyroskopický (reakční) moment, který se eliminuje za pomoci naklápění jednoho s rotorů. Ten má také na starosti otáčení kolem vlastní osy. Zbývající dva rotory se starají o směrový pohyb. V jistých případech je možno použít naklápění u dvou rotorů, které lze naklopit ve směru pohybu stroje. [1]

Toto uspořádání má více nevýhod než výhod. Mezi "výhody" se dá zařadit netradiční vzhled UAV a také teoreticky nejnižší pořizovací cena vzhledem k použití nejmenšího počtu rotorů. To by bylo k výhodám vše, protože právě díky použití nesymetrického rozložení rotorů je konstrukce složitější a není tak spolehlivá jako u jiných konfigurací. [1]



Obr. 2.1 Model triblivion

2.2.2 Kvadrokoptéra

Jak z názvu plyne, tak má čtyři ramena. Většinou mezi sebou svírají pravý úhel, ale nemusí to být podmínkou. Na každém z nich je pevně připojen jeden rotor. Vždy jsou dvě vrtulky pravotočivé a dvě levotočivé. Tímto způsobem se eliminuje reakční moment daleko lépe, než tomu bylo u trikoptér. Pohyb zajišťuje zvyšování a snižování otáček rotorů.

K výhodám patří jeho jednoduchá konstrukce, dobrá stabilita, velká pohyblivost a přesnost. Dále s ním mohou komunikovat všechny regulátory, které se na trhu prodávají. Nejvíce využívána modeláři nebo amatérskými fotografy.

V případě poruchy jednoho z motoru nebo vrtulí se létající stroj stane nestabilní a s největší pravděpodobností spadne.



Obr. 2.2 Rám DJI F45 ARF kit

2.2.3 Hexakoptéra

Hexakoptéra se skládá z šesti ramen a šesti motorů. V porovnání s kvadrokoptérou je šestirotorová koncepce stabilnější. S vyšším počtem motorů zvyšuje celkový tah. V případě selhání jednoho z motorů stále existuje šance, že robot dokáže bezpečně přistát. S větším počtem použitých dílů samozřejmě roste i celková hmotnost a tím se zvyšují i požadavky na kapacitu baterie.

Y6

Tato koncepce patří mezi hexakoptery. Na každém rameni jsou připojené 2 motory. Obě dvě vrtule na jednom rameni mají stejný směr tahu, dolů. S větším počtem rotorů je tato koncepce schopna zvednout větší užitečné zatížení. I když Y6 má tři ramena, tak nemá stejný problém s reakčním momentem jako Y3, protože polovina motorů je protiběžná.

Y6 není moc používaná. V porovnání s kvadrokoptérou je potřeba víc součástí, a aby se dosáhlo stejné doby letu, je nutné použít baterii s vyšší

kapacitou. Tah spodní vrtule je ovlivněn tahem horní vrtule. To má za následek celkově nižší tah.



Obr. 2.3 a) Rám hexakopteru od výrobce DJI
b) Multikopter Y6 Pro

2.2.4 Oktokoptéra

Sestava s osmi motory a osmi rameny. Více motorů umožňuje větší tah a tím i větší nosnost. Při vysazení jednoho z motorů je robot schopen letět dále. Využívá se pro těžké gimbal systémy. Vzhledem k velkému množství komponent je tato konfigurace finančně náročná. Pořízení těchto strojů bývá v rozmezí 50.000-150.000 Kč v závislosti na použitých dílech.

X8

Konfiguračně je to stále oktokoptéra, ale má jen čtyři ramena. Na každém z nich jsou připevněny 2 motory. Podobně jako tomu bylo u Y6, tak X8 má nižší tah než normální oktokoptéra.



Obr. 2.4 a) OT-1200 oktokoptéra
b) Plexi Drone

2.2.5 Velikost rámu

Létající stroje existují v různých velikostech. Od velikosti dronů, které jsou menší než dlaň, až po drony ohromných rozměrů, které se dají přepravovat pouze na kamionech. Pro většinu uživatelů je dostačující střední velikost v rozsahu 300 až 800 mm. Rozsah představuje průměr největší kružnice, která protíná všechny motory.

Ne vždy menší velikost znamená menší pořizovací náklady. I když rám pro menší roboty lze pořídit i za poloviční cenu většího rámu, tak často jsou další potřebné díly mnohem dražší.

2.2.6 Materiál

Níže jsou uvedeny některé materiály, které lze využít pro stavbu rámu. Hlavní důraz při výběru materiálu je minimální přenos vibrací a také vysoká tuhost.

Dřevo - nejlevnější ze všech variant. Dřevo je poměrně tuhé a jako konstrukční materiál dobře osvědčené. Po havárii se dá snadno a levně vyměnit. Pro lepší vzhled lze dřevo přemalovat.

Pěna - používána jako doplněk k dalším materiálům. Slouží jako vnitřní skelet nebo výztuha. Existuje mnoho typů pěny. Některé jsou podstatně silnější než jiné, ale dřív než se použijí, je vhodné je nejdříve vyzkoušet.

Plast - většinou se používá na plastové kryty. Plast má tendenci se ohýbat, proto není vhodný na celý rám.

Hliník - lehce dostupný materiál, který je k dostání v různých tvarech a velikostech. Často používaný jako materiál na nosná ramena nebo těla multikoptér. Hliník není nejlehčím materiálem, ale cenově je dostupný a vydrží i nějaký ten náraz.

G10 - je variace ze skelných vláken. Využívá se jako levnější možnost než uhlíková vlákna. Vzhled a základní vlastnosti jsou téměř identické. Nejčastěji se používá na desky těla. G10 neblokuje vysokofrekvenční signály.

PCB - Desky s plošnými spoji jsou téměř stejné jako skleněné vlákno, ale na rozdíl od nich jsou desky vždy ploché. Rámy pod 600 mm někdy využívají PCB na horní a dolní desky, protože lze elektrické připojky integrovat přímo do PCB a tím snížit celkový počet dílů. Malé kvadrokoptéry mohou být vyrobeny celé z jednoho plošného spoje. V tomto případě je veškerá elektronika integrovaná na desce.

Uhlíkové vlákno - nejčastěji využívaný stavební materiál. Jeho předností je nízká hmotnost a vysoká pevnost. Běžně se vyrábí pouze přímočaré tvary, tzn.: ploché desky nebo trubky. Složitější tvary lze vyrobit, ale je to jednorázová výroba a tím roste i pořizovací cena. Uhlíková vlákna brání vysokofrekvenčním signálům, proto je potřeba vzít v úvahu umístění elektroniky a to zejména antény.

2.2.7 GIMBAL

Gimbal neboli kardanový systém se nejčastěji využívá pro stabilizaci zavěšeného zařízení, nejčastěji kamer. Umožňuje pohyb zavěšeného zařízení v jedné, dvou nebo třech osách. Je umístěn pod rámem ve středu hmotnosti létajícího stroje. Je možné provést montáž i mimo těžiště, ale je nutné kompenzovat rovnováhu umístěním baterie nebo jiným způsobem. Létající stroj vybavený tímto systémem potřebuje delší podvozek, aby se zařízení nedotýkalo země.

2.2.8 Podvozek

I když je v některých případech možné přistát přímo na spodní desce létajícího stroje, tak je mnohem lepší využití podvozku a to z těchto důvodů:

- vznikne volný prostor mezi spodní částí stroje a přistávacím povrchem.
- v případě tvrdého přistání podvozek pohltí náraz a nemusí dojít k poškození samotné multikoptéry

2.2.9 Montáž

Důležitým aspektem při vytváření multikoptéry je ponechat těžiště ve středu konstrukce. V ideálním případě by všechny složky měly být upevněny symetricky kolem jedné osy.

Většina motorů určených pro multikoptéry mají stejné montážní otvory, aby bylo umožněno využít kupovaný rám od jednoho výrobce a motory od jiného.

Regulátor by měl být umístěn ve středu kruhu, který spojuje všechny motory, nejlépe v těžišti. K rámu je připevněn pomocí distančních sloupků, gumových tlumičů nebo pomocí oboustranné lepicí pásky.

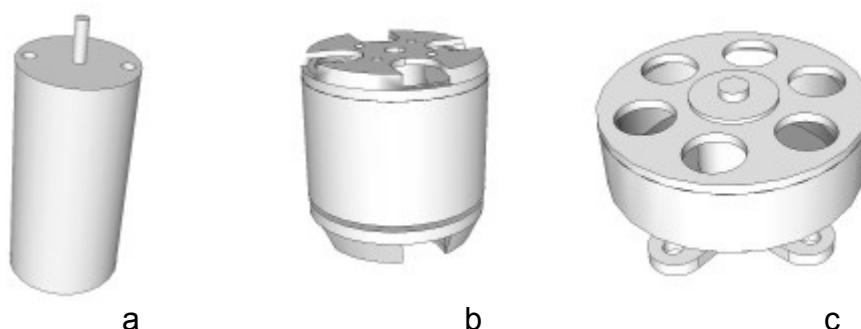
Baterie je dost těžká a lze ji využít pro úpravu těžiště. Proto je často upevněna pomocí suchého zipu, aby byla umožněna jednoduchá úprava.

Jako další zařízení, které lze namontovat na multikoptéru je například kamera, padák, palubní počítač, užitečné zařízení, atd. Každé zařízení přidává hmotnost, se kterou je nutné počítat.

2.3 Návrh pohonu

2.3.1 Motor

Motor výrazně ovlivňuje, jak velkou užitečnou nosnost si můžeme dovolit. Stejně tak ovlivňuje i dobu letu. Pro lepší řízení je vhodné použít motory stejné značky.



Obr. 2.5 a) inrunner motor
b) bezkartáčový motor
c) Pancake motor

Je důležité vybrat správný typ motoru. Vybrat lze z kartáčových, bezkartáčových, inrunner a outrunner.

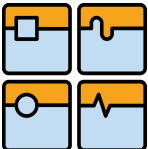
Kartáčové, Bezkartáčové

Ve stejnosměrných motorech jsou cívky umístěny uvnitř pouzdra a magnety jsou pevně namontované kolem vnější strany pouzdra. U střídavých motorů je to přesně naopak. Cívky jsou pevně umístěny na vnější nebo vnitřní části pouzdra a magnety se otáčejí. Nejčastěji využívanými motory jsou bezkartáčové stejnosměrné motory. Takzvané Pancake střídavé motory mívají větší průměr a jsou plošší. Dosahují vyššího točivého momentu a nižšího KV. Multikoptéry velikosti dlaně využívají malé kartáčové motory. Důvodem je nižší cena a jednodušší regulátor.

Inrunner X outrunner

Existuje několik typů bezkartáčových stejnosměrných motorů. Jedním z nich je typ inrunner, u kterého jsou cívky pevně připojené k vnějšímu plášti a magnety jsou namontovány na hřídeli motoru, který se otáčí uvnitř pouzdra. Mají vysoké hodnoty KV.

Typ motoru outrunner má magnety připevněné na vnějším plášti, který se otáčí okolo pevné cívky ve středu krytu motoru.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Třetím typem jsou hybridní outrunnery. Složením se téměř neliší od klasických outrunnerů. Jediným rozdílem je pevný vnější obal, aby vypadaly jako inrunnery.

Hodnota KV

Vyjadřuje počet otáček pro dané napětí. Pro multikoptery je žádoucí, aby hodnota KV byla co nejnižší, protože napětí má přímý vliv na odběr proudu (výkon = proud x napětí). V běžném provozu se nejčastěji využívají motory s hodnotou KV mezi 500 a 1000.

TAH

Jednotka tahu se udává v kg, Lbs nebo N. Většina výrobců přímo poskytuje údaje o tahu motoru při využití různých vrtulí. Tah je uvážen při maximálním výkonu, proto je nutné počítat s dostatečnou rezervou. Ideální je přizpůsobit váhu tak, aby motor pracoval na polovičním výkonu. Další možností je zvětšení počtu motorů.

ZAPOJENÍ

Kartáčové stejnosměrné motory mají dva konektory. Jeden pozitivní a druhý záporný. Podle toho, jak jsou zapojeny, tak se mění směr otáčení motoru.

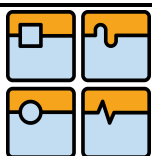
Bezkartáčové střídavé motory mají tři konektory. Směr otáčení záleží na způsobu zapojení. Pro opačný směr otáčení se prohodí zapojení konektorů.

2.3.2 VRTULE

Vrtule mají nejčastěji dva listy, zřídka kdy se objevují vrtule se třemi listy. Platí, že čím menší vrtule, tím je menší setrvačnost a je snazší zrychlovat a zpomalovat, což zlepšuje letecké vlastnosti.

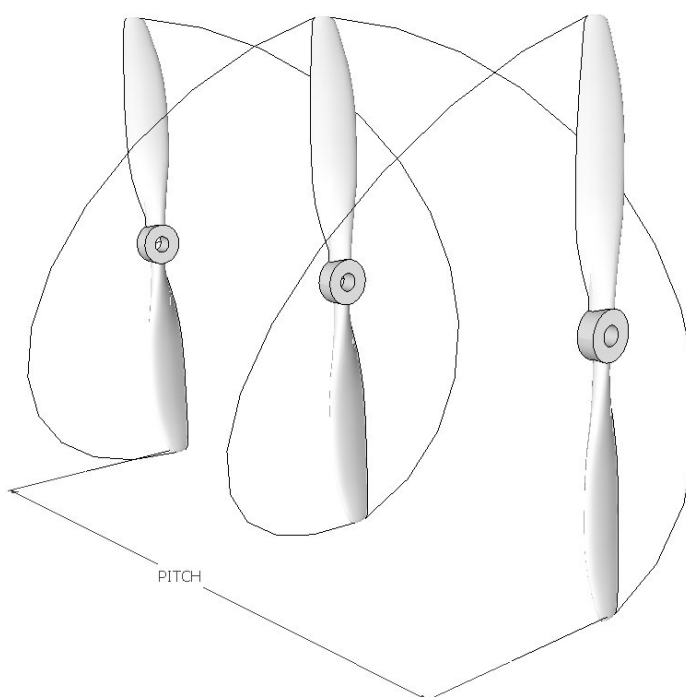


Obr. 2.6 Vrtule



Pitch (úhel záběru)

Tah, který vyrábí vrtule, závisí na hustotě vzduchu, otáčkách, průměru, tvaru a ploše vrtule. Účinnost vrtulí závisí na úhlu náběhu. Ten je definován jako stoupání listu minus úhel sklonu zubů (úhel mezi výslednou relativní rychlostí a směrem otáčení kotouče). Nejlépe navržené vrtule mívají účinnost okolo 80%. Úhel náběhu je ovlivněn relativní rychlostí, takže při různých rychlostech je účinnost odlišná. Velký vliv na účinnost má také náběžná hrana vrtulového listu. Je vhodné, když je hrana, co nejhladší.



Obr. 2.7 Záběr vrtule (jedna otáčka)

Otáčení

Vrtule jsou navrženy tak, aby se otáčely po směru hodinových ručiček nebo v protisměru hodinových ručiček.

Dále je důležité upevnit vrtuli správným směrem vzhůru. To znamená, že horní povrch je zakřivený směrem ven. V případě konfigurace Y6 a Y8 je nutné spodní vrtule obrátit. Tím zůstane tah směrem dolů.

Materiál vrtulí

Materiál nemá výrazný vliv na letové vlastnosti, ale mělo by se dbát na bezpečnost.

plastové vrtule - výroba pomocí injekčního vstřikování. (ABS, Nylon)
Nejpoužívanější varianta. Nízká cena výroby, dobré letové vlastnosti a dostačující trvanlivost. Některé plastové vrtule se vyztužují uhlíkovými vlákny, aby bylo dosaženo lepších vlastností.

polymerová vlákna - dosahují nejlepších vlastností. Patří sem například karbonové vlákno, nylon vyztužený uhlíkem, atd. Bohužel výroba ještě není snadná a tím se výrazně zvyšuje i pořizovací cena vrtulí.

přírodní - pro úplnost je nutné ještě uvést přírodní materiály. Pro multikoptéry se téměř nepoužívají. Dřevěné vrtule je nutné obrábět, a proto jsou dražší než plast. Jejich výhodou je poměrně velká pevnost a nedochází k ohybu. Používají se spíše jako vrtule pro RC letadla.

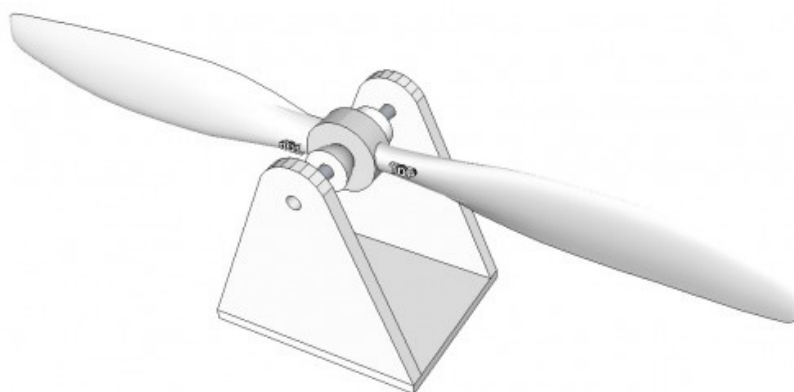
Kryt vrtule

Pohyb multikoptéry je závislý na správném fungování všech motorů a vrtulí. Při neopatrném zacházení při letu může dojít k nárazu do překážky a tím dojít k poškození vrtule, motoru nebo celého stroje.

Aby nedocházelo k poškození, využívá se pevných krytů okolo motorů. Kryty se používají převážně pro multikoptéry určené pro pohyb v uzavřených prostorech.

Vyvažování vrtulí

Nejlevnější vrtule nebývají velmi dobře vyvážené. To lze lehce otestovat pomocí tužky. Jedna strana bude pravděpodobně těžší než ta druhá. Je dobré vrtule vyvážit před montáží na motor. Nevyvážené vrtule způsobují vibrace, které mají za následek nestabilní let. Nesmí se odřezávat části vrtule. Vyvažuje se pomocí pásky, která se lepí na požadovaném místě zespoda na vrtuli.



Obr. 2.8 Vyvažování vrtule

2.3.3 ESC regulátory

Elektrický rychlostní regulátor (ESC) umožňuje regulovat motor během letu. Musí být schopen zvládnout maximální proud, který může potřebovat motor a dále zajišťuje potřebné napětí k řízení.



Obr. 2.9 ESC pro bezkartáčové motory

Z regulátoru vystupuje několik drátů, které mají na starosti následující funkce:

- příkon - dva tlusté dráty (červený a černý) slouží k získání energie z rozvodné desky nebo kabelového svazku.
- 3 bullet konektory - tři kabely zakončené kolíky. Jejich pomocí se připojuje střídavý motor. Na trhu existuje několik standardních velikostí.
- 3-pin R/C servokonektory - tento konektor přijímá signály z RC. Po většinu času interní BEC poskytuje 5V pro napájení elektroniky.

Pokud dochází k potřebě větších otáček, regulátor zvětší frekvenci a amplitudu napětí. Každý střídavý regulátor musí obsahovat kondenzátor, který vyhlazuje poklesy napětí.

Firmware

ESC byly většinou vyráběny pro RC modely aut, kde nebylo potřeba velmi rychlé doby odezvy. Mezi velmi rychle reagující ESC patří SimonK nebo bheli. Dlouhá doba odezvy může mít za následek nestabilní let nebo přímo havárii.

Napájení regulátoru

Každý ESC je napájen z hlavního akumulátoru. Konektor hlavní baterie musí být rozdělen mezi požadovaný počet konektorů. K tomu se používá rozvodová deska nebo elektrický svazek. Tato deska rozděluje kladný a záporný pól hlavní baterie.

2.3.4 Baterie (Akumulátor)

Baterie je stěžejní částí multikoptér, kde slouží jako zdroj energie. Na její kapacitě a kvalitě záleží doba letu.

Složení baterií

Používají se lithium-polymer (LiPo) baterie. Olověné baterie nepřicházejí v úvahu, protože jsou prostě příliš těžké. LiPo nabízí vysokou kapacitu s nízkou hmotností.

Napětí

Napětí baterie by mělo korespondovat s motory, které byly zvoleny. Téměř všechny baterie jsou založené na bázi z lithia a obsahují články o napětí 3.7V, kde 3.7V je 1S. Proto označení 4S vyjadřuje $4 \times 3,7V = 14,8V$. Na počtu článků závisí typ zvolené nabíječky.

Kapacita

Kapacita baterií se měří v ampérhodinách (Ah). Malé akumulátory jsou v rozmezí od 0.1 Ah (100mAh). Střední akumulátory dosahují hodnot 2-3 Ah (2000 mAh - 3000 mAh). Platí, že čím vyšší kapacita, tím delší bude doba letu. Musí se také zvážit, že s větší kapacitou přibývá i větší váha.

Rychlost vybíjení

Rychlost vybíjení baterie se měří v jazyce C, kde 1C je kapacita baterie v Ah. Rychlost vybíjení většiny LiPo baterií je alespoň 5C.

Bezpečnost

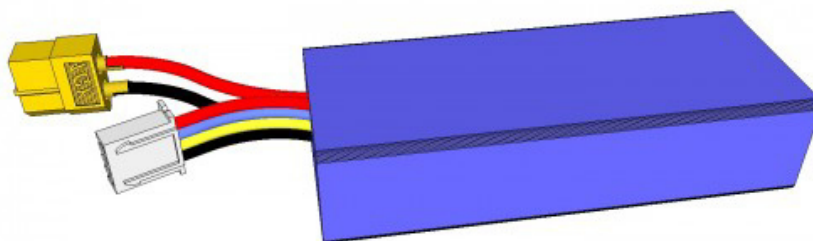
LiPo baterie obsahují stlačený vodík a v případě nějakého problému mají tendenci hořet nebo vybuchovat. Znamení, že baterie už není zcela v pořádku může naznačovat větší velikost baterie nebo důlky na povrchu baterie. V případě havárie je nutné přednostně odpojit baterii a zkontrolovat ji.

Nabíjení

LiPo baterie mají 2 konektory. Jeden určen k hlavnímu napájení multikoptéry a druhý slouží k nabíjení. Nabíjecí konektor je téměř vždy bílý JST konektor, který má zemnicí kolík a určitý počet buněk.

Montáž baterie

Baterie je nejtěžší předmět na celém létajícím stroji. Nejlepší umístění je co nejbližší středu, aby byly všechny motory zatěžovány stejně. Nejčastějším způsobem upevnění je suchý zip, protože se tím eliminuje možnost poškození baterie při montáži a lehce se s ním dá manipulovat.



Obr. 2.10 Baterie

2.4. Řízení

Regulátor letu pro létající stroje je integrovaný obvod skládající se z mikroprocesoru, senzorů a vstupních a výstupních pinů. Regulátory jsou většinou univerzální, proto je potřeba před použitím nastavit určité parametry v softwarovém programu v počítači a poté danou konfiguraci nahrát na desku.

2.4.1 Hlavní procesor / Řídící jednotka

CPU - Mikroprocesory mohou zpracovávat pouze maximální počet bitů v paměti. Vyskytují se ve velikostech 8-bit, 16-bit, 32-bit nebo 64-bit. Čím více bitů, tím rychlejší bude zpracování dat.

Pracovní frekvence - Hlavní procesor pracuje při určité frekvenci. Frekvence se měří v jednotkách Hertz (počet cyklů za sekundu). Čím vyšší je frekvence procesoru, tím rychleji může zpracovávat data.

Programová paměť (FLASH) - V paměti flash je uložen hlavní kód. Do paměti se ukládají data v letu, kterými mohou být GPS souřadnice, letové plány, automatizovaný pohyb kamery apod. Z toho je zřejmé, že je vhodné zajistit dostatek paměti, aby bylo možné uložit více informací. Při výpadku proudu data zůstávají zachována.

SRAM - SRAM znamená "Static Random Access Memory". Je to prostor na čipu, který slouží pro provádění výpočtů. Opět platí, že čím vyšší RAM, tím více informací lze zpracovat v daném okamžiku. Při výpadku proudu budou ztracena.

EEPROM - obvykle se využívá pro uložení dat, které se nemění v průběhu letu. Většinou se jedná o nastavení, údaje pro čidla, apod.

Dodatečné I/O Pins - Většina mikroprocesorů má spoustu digitálních a analogových vstupních a výstupních pinů. Některé z nich jsou použity pro komunikaci se senzory nebo mohou zůstat obecným vstupem nebo výstupem, k nimž lze připojit gimbal systém nebo jiná zařízení.

A/D převodník - V případech, kdy senzory používají výstup analogového napětí (normálně 0-3,3 V nebo 0-5 V). Digitální převodník převádí data z analogové podoby do digitální. Stejně jako u CPU, rychlost zpracování dat ovlivňuje počet bitů a frekvence.

Tento seznam je vhodný pro ty, kteří se rozhodnou sestavit si vlastní řídicí jednotku. Ti, kteří se rozhodnout pro tuto cestu musí být zruční a musí mít přehled o elektrotechnice. Pro ostatní je nejlepší varianta koupit řídicí jednotku, která je už vyrobená a stačí ji jen zapojit a zkalibrovat. Řídicí jednotka je většinou napájena z hlavní baterie.

2.4.2 SENZORY

Pokud jde o hardware, tak řídicí jednotka je programovatelný mikroprocesor, který má své specifické senzory na desce. Jako minimum lze považovat tříosý gyroskop. Dalším použitým senzorem může být akcelerometr, IMU, kompas apod. (viz. dále v textu)

- Akcelerometr

Pomocí akcelerometru lze měřit lineární zrychlení až ve třech osách (X,Y,Z). Jednotky jsou obvykle v g/s (gravitační zrychlení za sekundu nebo stopy za sekundu). Výstup z akcelerometru lze dvakrát integrovat, čímž lze získat pozici stroje. Další důležitou vlastností akcelerometru je detekce gravitace a díky tomu lze určit jakým směrem je natočená multikoptéra, což ji napomáhá udržet stabilní. Měl by být namontován tak, že lineární osy akcelerometru by měly být shodné s hlavními osami multikoptéry.

- Gyroskop

Gyroskopem lze změřit rychlost úhlové změny až ve třech úhlech (alfa, beta, gama). Měří se obvykle ve stupních za sekundu. Gyroskop neměří absolutní úhly přímo, ale dostaneme je pomocí iterace. Koncový výstup gyroskopu je většinou analogový nebo I2C. Ten je dále zpracováván pomocí regulátoru. Osy otáčení gyroskopu by se měly shodovat s hlavními osami multikoptéry.

- Setrvačnost měřicí jednotky (IMU)

IMU je deska, která obsahuje akcelerometr i gyroskop. Oba dva senzory jsou většinou tříosé. Kromě těchto dvou senzorů mohou ještě obsahovat například tříosý magnetometr.

- Kompas (Magnetometr)

Elektronický magnetický kompas je využíván pro měření zemského magnetického pole. Používá se pro určení natočení multikoptéry vůči magnetickému severu. Tento snímač je vždy součástí GPS nebo ho lze namontovat i zvlášť, ale není to moc běžné.

- Barometr

Slouží k relativně přesnému určení výšky. Je to díky tomu, že atmosférický tlak se mění vzdáleností od hladiny moře. Většina řídicích jednotek využívá vstupů z barometru i nadmořské výšky z GPS pro výpočet přesnější nadmořské výšky. Pro lepší funkci se doporučuje pokrýt povrch barometru kusem pěny, aby se snížily účinky povětrnostních podmínek.

- GPS

Global Position Systems (GPS) získávají konkrétní geografickou polohu pomocí signálů vysílaných se satelitů na oběžné dráze Země. GPS je upevněno přímo na řídicí jednotce nebo je umístěn zvlášť a je připojen pomocí kabelu.

Distanční senzory

Využívají se čím dál více. GPS a barometr neposkytuje, jak daleko od země nebo od objektu je létající stroj. Senzor může snímat vzdálenost pomocí laseru, ultrazvuku nebo technologie LIDAR (infračervený snímač).

2.4.3 LETOVÉ REŽIMY

V následující tabulce je uveden seznam nejčastěji využívaných režimů letu a využití senzorů v daných režimech.

Režim	G	A	B	K	GPS
ACRO	X				
ANGLE	X	X			
HORIZONT	X				
BARO	X	X	X		
MAG	X	X		X	
HEADFREE	X	X		X	
GPS/Return to home	X	X		X	X
GPS / waypoint	X	X		X	X
GPS/Position hold	X	X		X	X

INFORMACE K TABULCE:

- ACRO - Normální výchozí režim využívaný při ovládání uživatelem
- ANGLE - stabilní režim. Snaha udržet drone stabilně vůči zemi
- HORIZONT - kombinuje rychlé příkazy s pomalými příkazy řídicí jednotky
- BARO - udržování dronu v určité výšce
- MAG - udržuje orientaci v požadovaném směru
- HEADFREE - udržuje požadovaný náklon (kruhový pohyb)
- GPS/Return to home - automatický návrat do výchozího bodu GPS pomocí kompasu s GPS
- GPS/Waypoint - sleduje předem nastavenou trasu pomocí GPS
- GPS/Position Hold - udržuje aktuální polohu a výšku pomocí GPS a barometru
- G - gyroskop
- A - akcelerometr
- B - barometr
- K - kompas

2.4.4. SOFTWARE

PID

Proportional Integral Derivate plní specifickou funkci v řídicí jednotce během letu a je zodpovědná za stabilizaci multikoptéry. Od výrobce bývají přednastavené parametry, které poté stačí jen doladit pro daný typ létajícího stroje. V případě výroby robota na zakázku se o přesné nastavení stará výrobce.

GUI

Grafical User Interface (Grafické uživatelské rozhraní) slouží k vizuálnímu zobrazení kódu přes počítač nebo jiné zařízení. Ten je po úpravě nahrán do regulátoru letu. Software se neustále vyvíjí. Z počátku bylo zapotřebí porozumět celému kódu, protože rozhraní bylo převážně textové. Nyní je využíváno interaktivní grafické rozhraní, kde stačí zadat potřebné parametry.

Další funkce softwaru, které mohou být použity:

- autonomní navigace terénem
- "následuj mě" - sledování GPS souřadnic
- 3D zobrazování - zobrazuje se po letu pomocí pořízených snímků a souřadnic GPS
- open source software - umožňuje pokročilejším uživatelům upravit kód tak, aby vyhovoval požadavkům uživatele

2.4.5 KOMUNIKACE

- RC souprava

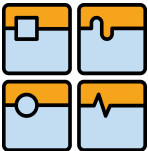
Komunikace probíhá mezi RC (rádio vysílač) vysílačem a RC přijímačem. Pro UAV je zapotřebí minimálně čtyř kanálů. Za normálních podmínek jsou tyto kanály spojeny s:

- pitch - pohyb dopředu a dozadu
- elevation - pohyb nahoru a dolů
- yaw - rotace ve směru nebo proti směru hodinových ručiček
- roll - pohyb doprava a doleva

další kanály, které mohou být použity:

- zapnutí/vypnutí motorů
- ovládání gimbálu
- změna režimu letu (akrobacie, visení, atd.)
- aktivace/deaktivace zavěšeného zařízení
- jakýkoliv počet dalších využití

Nejčastěji je využíváno ručního ovládání UAV. Proto jsou RC systémy nejvíce využívány. UAV nelze přímo ovládat jen za pomoci vysílače. Proto RC přijímač přenáší vstupní hodnoty do regulátoru letu, který musí být naprogramován tak, aby přijímal signál z RC. Ne všechny vysílače mohou poskytnout celý rozsah signálu 500ms až 2500ms. Některé jsou uměle omezené podle toho, jestli jsou určené pro RC auta, letadla nebo vrtulníky. Maximální dosah bezdrátového přenosu vysílače zpravidla neodpovídá přesně údajům uvedeným výrobcem, protože na dosah má vliv mnoho faktorů (překážky, teplota, vlhkost, napájení z baterie, atd.) Některé RC systémy mají

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 36
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

v sobě zabudovaný vysílač pro přenos dat ze senzorů, které lze zobrazit na LCD displeji RC vysílače.

- Bluetooth

Bluetooth a jiné BLE (Bluetooth Low Energy) byly původně určeny pro přenos dat bez složitosti párování nebo nastavování stejné frekvence. Některé přijímače umožňují odesílat a přijímat data přes bluetooth. Nevýhodou oproti RC systémům je relativně nízký dosah.

- WiFi

Ovládání pomocí wifi je obvykle pomocí wifi routeru nebo počítače. Přes wifi lze přenášet jak data, tak i přenos obrazu. Nevýhodou wifi je omezený rozsah vysílače.

- Radiofrekvenční (RF)

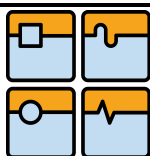
RF jednotka připojená k počítači umožňuje vysílat na dlouhé vzdálenosti obousměrnou komunikaci s vysokou hustotou dat.

- SmartPhone

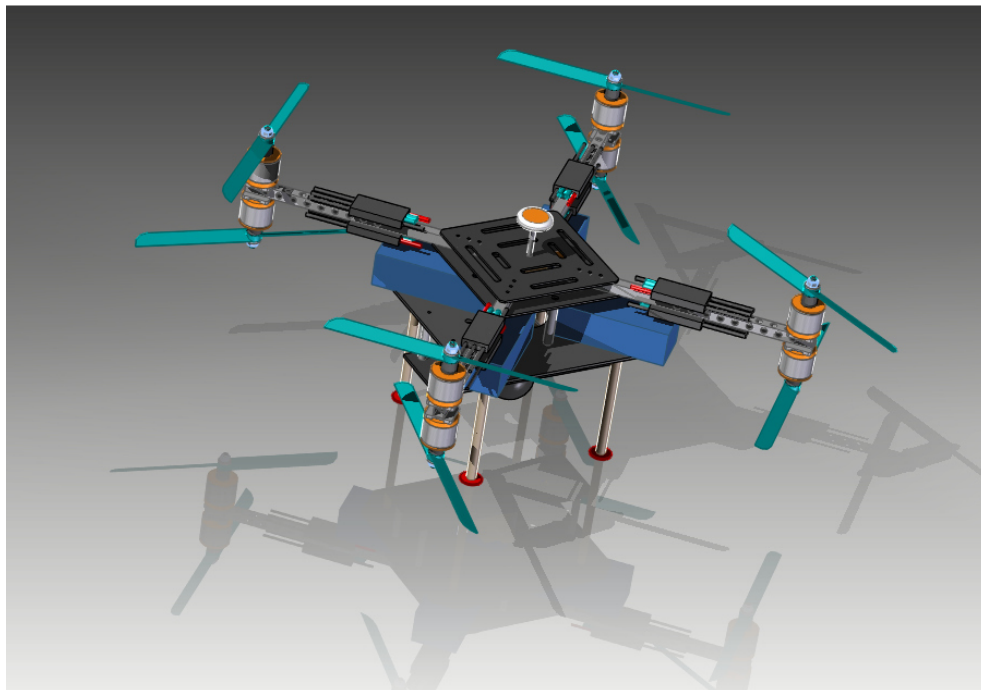
Poslední dobou se objevují UAV řízené pomocí moderních telefonů. V dnešní době jsou telefony spíše malé výkonné počítače a téměř všechny jsou vybaveny wifi nebo bluetooth.

- Infračervená komunikace (IR)

Jen pro úplnost lze ještě uvést IR. Není spolehlivá, má velice krátký dosah a téměř se nevyužívá.



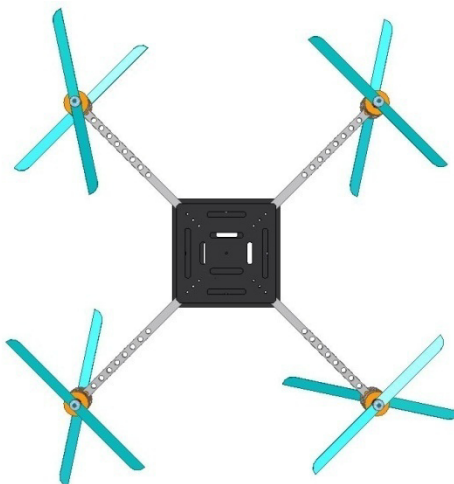
3. Návrh konfigurace létajícího robota



Obr. 3.1 Návrh létajícího robota

3.1 Návrh rámu

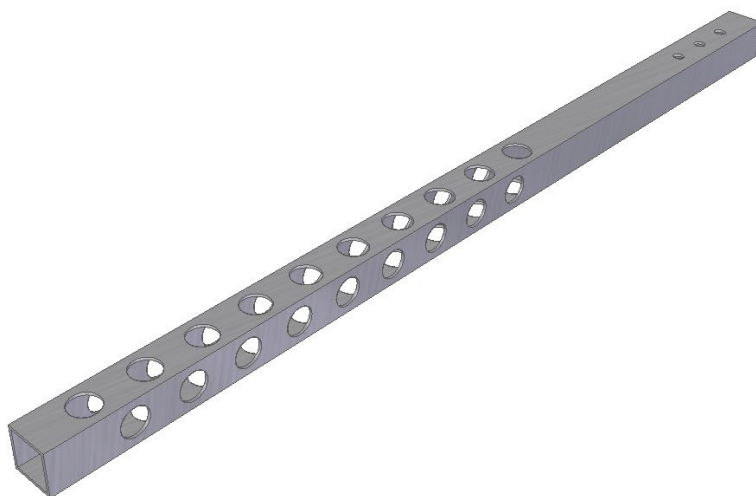
Ze zadání diplomové práce plyne, že užitečné zatížení musí být do 5 kg. K tomu musí být přizpůsoben i rám. Pro uzvednutí této váhy bude zapotřebí dostatečný tah motorů, který bude vyžadovat větší rozměr vrtulí. Proto byla zvolena koncepce o čtyřech ramenech a osmi rotorech připevněných koaxiálně.



Obr. 3.2 Návrh rámu

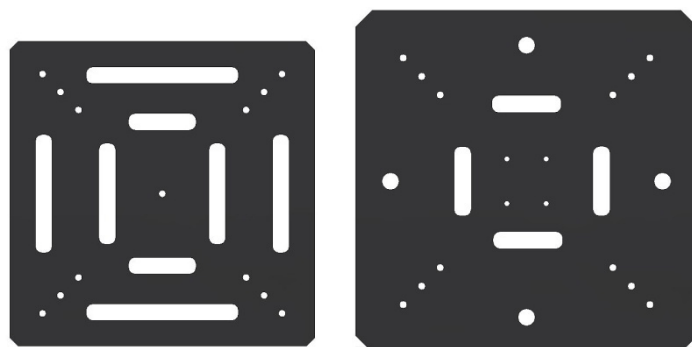
Koncepce hexakopteru byla nevhodná, protože při zvolených motorech by nebyl vyvinut dostatečný tah. Koncepce oktokopty vyžadovala příliš velký prostor, proto nakonec bylo zvoleno sestavení X8 i za cenu nižšího výkonu spodních vrtulí.

Rotory jsou připevněny na odlehčených hliníkových profilech. Dále v textu je jim věnována samostatná část.

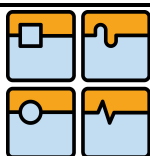


Obr. 3.3 Jedno z ramen

Ramena jsou šroubově připojena k deskám rámu. Desky jsou vyrobené z materiálu G10. Je to z toho důvodu, že tento materiál poskytuje nejlepší vlastnosti pro účely robota. Je dostatečně lehký a také pevný. Před deskami z uhlíkových vláken byl upřednostněn kvůli levnější pořizovací ceně a také neblokuje vysokofrekvenční signály.

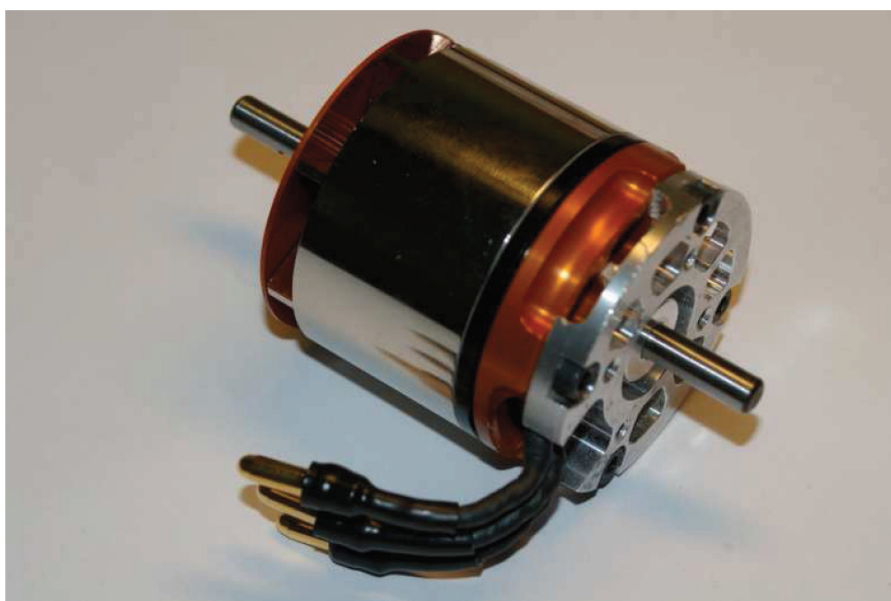


Obr. 3.4 Použité desky



3.2 Rotory

Rotor se skládá z motoru, vrtule a případně dalších součástí (např. tlumiče vibrací). Zvoleným motorem byl střídavý bezsenzorový elektromotor 8/680 od výrobce MVVS. Je převážně určen pro modely letadel a vrtulníků. Doporučená velikost vrtulí pro tento motor je 12"/8" - 15"/8". [1]



Obr. 3.5 Elektromotor MVVS 8/680

Technické parametry motoru [22]:

Otáčky/volt	680
Průměr statoru	36 mm
Délka statoru	20 mm
Průměr hřídele	5 mm
Jmenovité napětí	12 V
Počet pólů	16
Provozní napětí	12-30 V
Doporučené proudové zatížení	30-40 A
Max. zatížitelnost	60 A/ 30 s
Počet článků	4 – 5 Li-xx
Hmotnost	225 g

Vrtule byla pořízena v požadovaném rozsahu motoru a to 13x8.



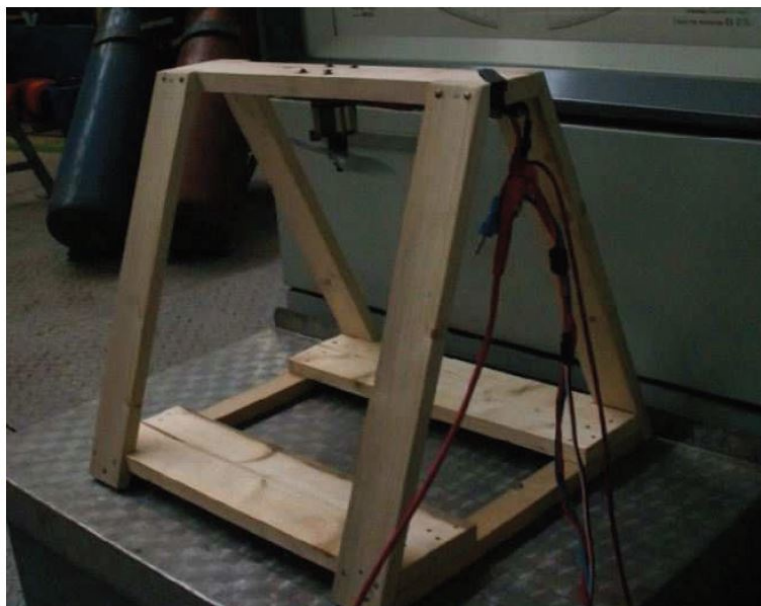
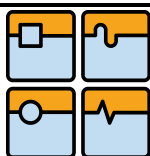
Obr. 3.6 Vrtule s motorem

3.3. Měření tahu

Nejjednodušším a nejspíše asi i nejlevnějším způsobem měření skutečného tahu je měření pomocí váhy, kde tah zjistíme v kilogramech. Změřením tahu zjistíme, kolik rotorů budeme potřebovat na zvednutí požadované užitečné hmotnosti. [1]

Aby se stroj zvedal nahoru, tak tah od vrtule musí směřovat dolů. Měření na váze může probíhat dvěma způsoby. V obou případech se vrtule upevní na konstrukci, která se postaví na váhu. V prvním případě se vrtule přimontuje kolmo nahoru. Výsledný tah změříme z nadlehčení konstrukce. Jestliže bude tah motoru větší než váha konstrukce, tak může dojít k nadlehčení celé konstrukce, při kterém může dojít k převrácení nebo poškození vrtule. V druhém případě se vrtule přimontuje obráceným směrem. Vrtule se upevní směrem dolů a tah poté směřuje nahoru a tlačí stroj směrem dolů. Výsledný tah změříme z příbytku hmotnosti na váze. Pro naše potřeby byl zvolen druhý případ s vrtulí směřující směrem dolů a tahem nahoru. [1]

K měření byl použit už vyrobený stojan. Je vyroben z dřevěných trámů. Motor, který pohání vrtuli, je přišroubovaný k horní části stojanu pomocí čtyř šroubů. Je připevněn přesně uprostřed horního trámu. Výška 300 mm a šířka 400 mm umožní, že konstrukce nebude mít vliv na výsledky měření. Základna byla zkonstruována tak, aby byla co nejvíce stabilní. [1]



Obr. 3.7 Stojan na váze při měření

Pro měření bylo zapotřebí těchto zařízení:

- regulátor GWS Multi-tester MT-1
- olověný šestičlankový akumulátor o napětí 12 V a kapacitě 33 Ah
- digitální multimetr
- ampérmetr
- váha
- elektromotor MVVS 8/680

Měření bylo provedeno pro šířku signálu 1000,1250,1500,1750 a 2000 μs . Hodnota 1000 odpovídá minimální poloze plynu a hodnota 2000 maximu. Bylo provedeno 8 měření. Pomocí ampérmetru byl sledován proud. Napětí bylo sledováno digitálním multimetrem a tíha pomocí váhy.

Bylo provedeno celkem osm měření a hodnoty byly zaznamenány do tabulky.

1. Měření

Šířka pulzu	Proud	Napětí	Tíha
[μs]	[A]	[V]	[kg]
1000	0	12,6	2,95
1250	3	12,01	3,12
1500	6	11,42	3,26
1750	9	10,59	3,41
2000	12	10,55	3,5

2. měření

Šířka pulzu	Proud	Napětí	Tíha
[μs]	[A]	[V]	[kg]
1000	0	12,59	2,95
1250	3	12,01	3,12
1500	6	11,40	3,25
1750	9	10,58	3,4
2000	12	10,6	3,5

3. měření

Šířka pulzu	Proud	Napětí	Tíha
[μs]	[A]	[V]	[kg]
1000	0	12,65	2,95
1250	3	12,11	3,12
1500	6	11,44	3,26
1750	9	11,56	3,39
2000	12	10,37	3,45

4. měření

Šířka pulzu	Proud	Napětí	Tíha
[μs]	[A]	[V]	[kg]
1000	0	12,51	2,95
1250	3	11,99	3,15
1500	6	11,35	3,28
1750	9	10,9	3,31
2000	12	10,24	3,42

5. měření

Šířka pulzu	Proud	Napětí	Tíha
[μs]	[A]	[V]	[kg]
1000	0	12,55	2,95
1250	3	11,94	3,1
1500	6	11,33	3,2
1750	9	10,8	3,3
2000	12	9,92	3,4

6. měření

Šířka pulzu	Proud	Napětí	Tíha
[μs]	[A]	[V]	[kg]
1000	0	12,48	2,95
1250	3	11,7	3,1
1500	6	11	3,2
1750	9	10,5	3,3
2000	11	9,6	3,35

7.měření

Šířka pulzu	Proud	Napětí	Tíha
[μs]	[A]	[V]	[kg]
1000	0	12,51	2,95
1250	3	11,68	3,1
1500	6	10,75	3,2
1750	8	10,1	3,25
2000	9	9,5	3,3

8.měření

Šířka pulzu	Proud	Napětí	Tíha
[μs]	[A]	[V]	[kg]
1000	0	12,42	2,95
1250	3	11,02	3,2
1500	5	10,5	3,2
1750	7	9,8	3,25
2000	8	9,44	3,25

S každým dalším měřením bylo znát, že baterie slábne a to se projevilo na naměřených hodnotách.

Pomocí naměřených hodnot lze vypočítat příkon P a tahovou sílu T .

Pro výpočet příkonu se použije vzorce pro příkon:

$$P = U \cdot I$$

, kde P = příkon [W]
 U = napětí [V]
 I = proud [A]

Tahová síla se získá ze vzorce:

$$T = \Delta m \cdot g$$

, kde T = tahová síla [N]
 Δm = změna tíhy na váze [kg]
 g = gravitační zrychlení [9,81 m·s⁻²]

Vypočtené hodnoty byly zaznamenány do tabulek.

Tabulka pro příkon [W]:

Šířka pulzu	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Měření 6	Měření 7	Měření 8
1000	0	0	0	0	0	0	0	0
1250	36	36	36,3	36	35,8	35,1	35	33,1
1500	68,5	68,4	68,6	68,1	68	66	64,5	52,5
1750	95,3	95,2	104	98,1	97,2	94,5	80,8	68,6
2000	126,6	127,2	124,4	122,88	119	105,6	85,5	75,5

Tabulka pro tahovou sílu [kg]:

Šířka pulzu	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4	Měření 5	Měření 6	Měření 7	Měření 8
1000	0	0	0	0	0	0	0	0
1250	1,7	1,7	1,7	2	1,5	1,5	1,5	2,5
1500	3	2,9	3	3,2	2,5	2,5	2,5	2,5
1750	4,5	4,4	4,3	3,5	3,4	3,4	2,9	2,9
2000	5,4	5,4	4,9	4,6	4,4	3,9	3,4	2,9

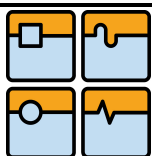
Pomocí lineární aproximace byly hodnoty zaznamenány do grafu, který znázorňuje závislost tahové síly na příkonu. K aproximaci byly použity průměrné hodnoty z měření.

Tabulka aritmetických průměrů:

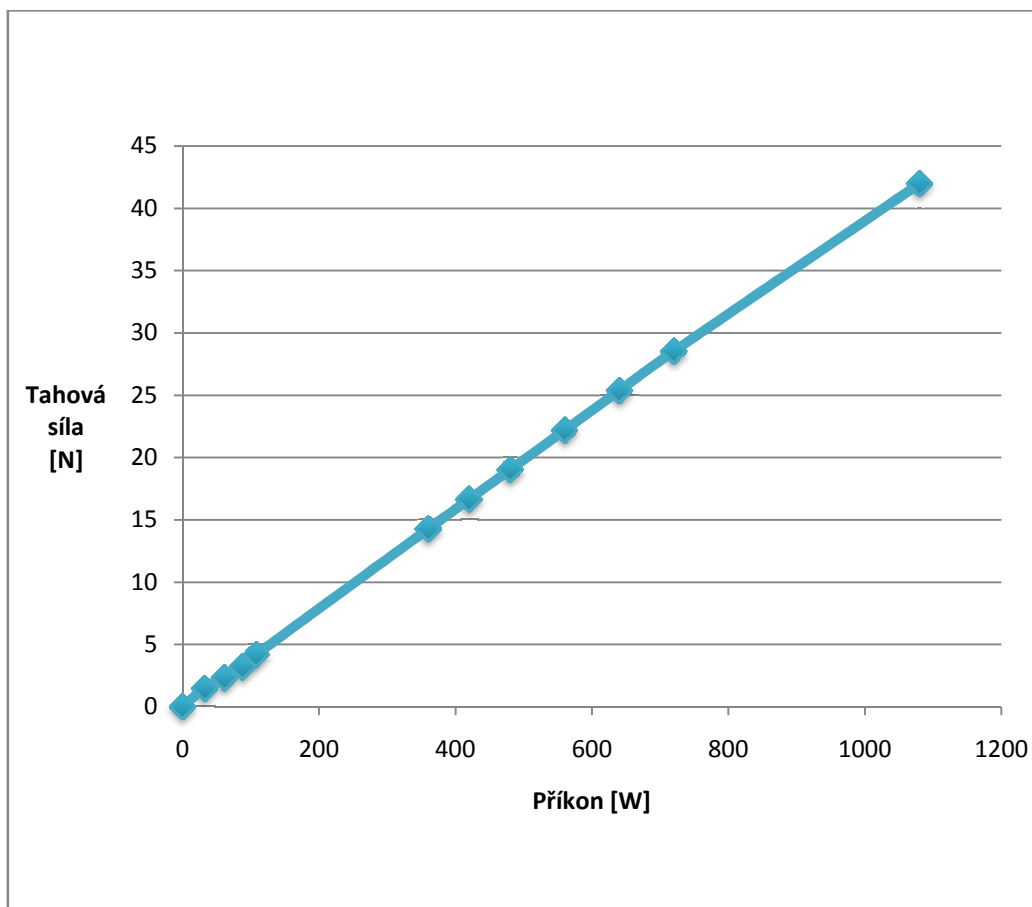
Šířka pulzu [μs]	Napětí [V]	Proud [A]	Tahová síla [N]	Příkon [W]
1000	12,5	0	0	0
1250	11,8	3	1,7	35,4
1500	11,1	5,9	2,8	65,6
1750	10,6	8,6	3,7	91,7
2000	10	11	4,4	110,8

Tabulka odhadnutých hodnot:

Napětí [V]	Proud [A]	Tahová síla [N]	Příkon [W]
12	30	16,9	360
12	35	19,7	420
16	30	22,5	480
16	40	28	640
18	42	33	770
18	60	42	1080

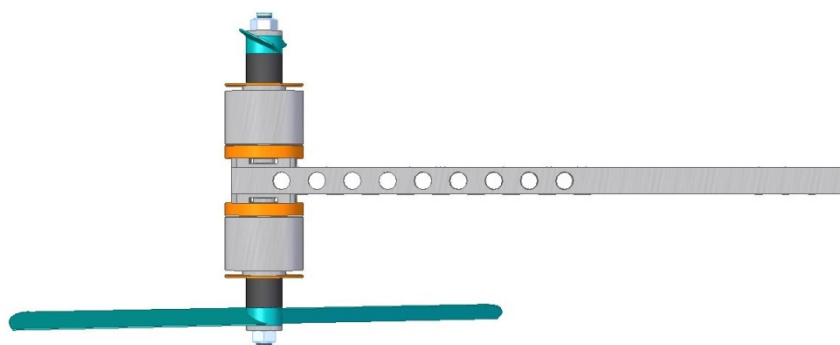


Graf závislosti tahu a příkonu:



Při optimálních podmínkách pro chod motoru, které jsou přibližně při příkonu 580 W, má jeden motor tah 2,4 kg. Při zvolené konfiguraci s osmi rotory by měly mít zdvih 19,2 kg. A při maximálním vytížení motorů je schopen mít zdvih cca 30 kg po dobu několika vteřin.

Vlivem koaxiálního zapojení dochází ke snížení tahu spodního rotoru. Dochází k tomu kvůli tomu, že spodní vrtulí prochází vzduch, který je rozvířený vrchní vrtulí. Ztráta bývá přibližně mezi 15 -20%. Proto se musí vzít v úvahu to, že spodní motory budou mít tah $2,4 \cdot 0,8 = 1,92$ kg. Proto celkový zdvih klesne na 17,28 kg.



Obr. 3.8 Koaxiální uspořádání motorů

Pro toto uspořádání bylo provedeno kontrolní měření. Byl použit zdroj s napětím 16V a proudem 30A. Bylo opět využito vyrobeného stojanu. Způsob uchycení je zobrazen na Obr. 3.9.

Nejdříve byl zapojen jeden motor, aby se zjistila hodnota tahu s jedním motorem. Byla naměřena tahová síla 2,35 kg.

Poté byl koaxiálně přimontován druhý motor. V ideálním případě, tedy beze ztrát, by toto uspořádání mělo mít dvojnásobný tah. Koaxiální ztrátu zjistíme rozdílem dvojnásobku tahu beze ztrát a naměřenou hodnotou.



Obr. 3.9 Konstrukce pro měření tahu při koaxiálním uspořádání

Při stejném příkonu byla naměřena hodnota 4,32 kg.

$Ztráta = 2 \cdot \text{tah jednoho motoru} - \text{koaxiální tah}$

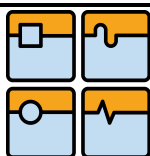
$Ztráta = 0,38$

Tah druhého motoru: $T = 2,35 - 0,38 = 1,97 \text{ kg}$

Ztráta v procentech: $1 - 1,97/2,35 = 0,16 \%$

Z toho plyne, že ztráty jsou v rozmezí 15 - 20%. Dokonce se více blíží 15%.

Ted' už je ověřen tah koaxiálního uložení a známe celkový zdvih X8-koptéry, který je při optimálních podmínkách pro motor 17,28 kg.

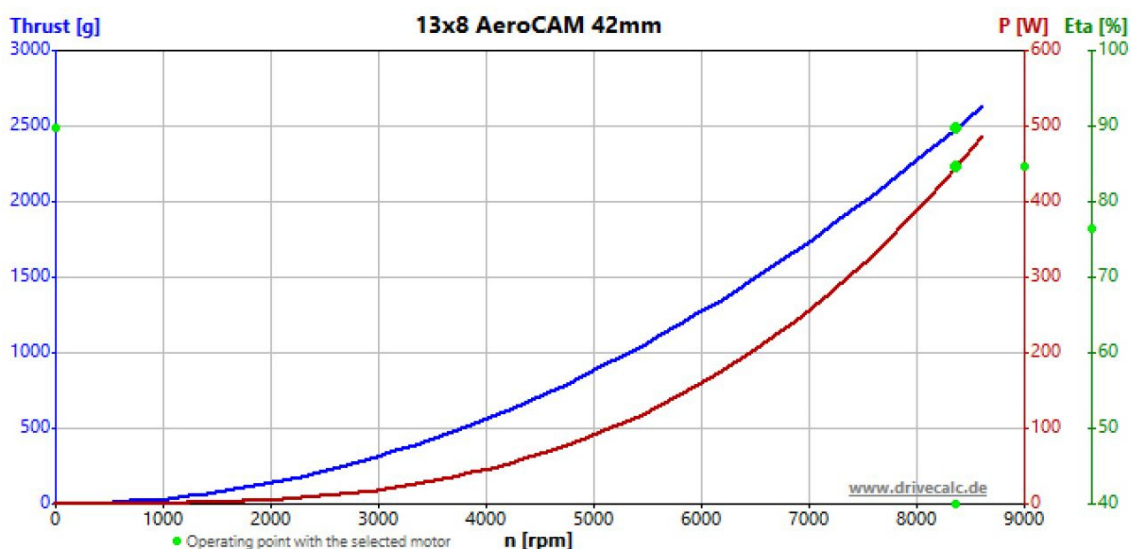


Naměřená data lze ověřit pomocí programu Drive Calculator [21].

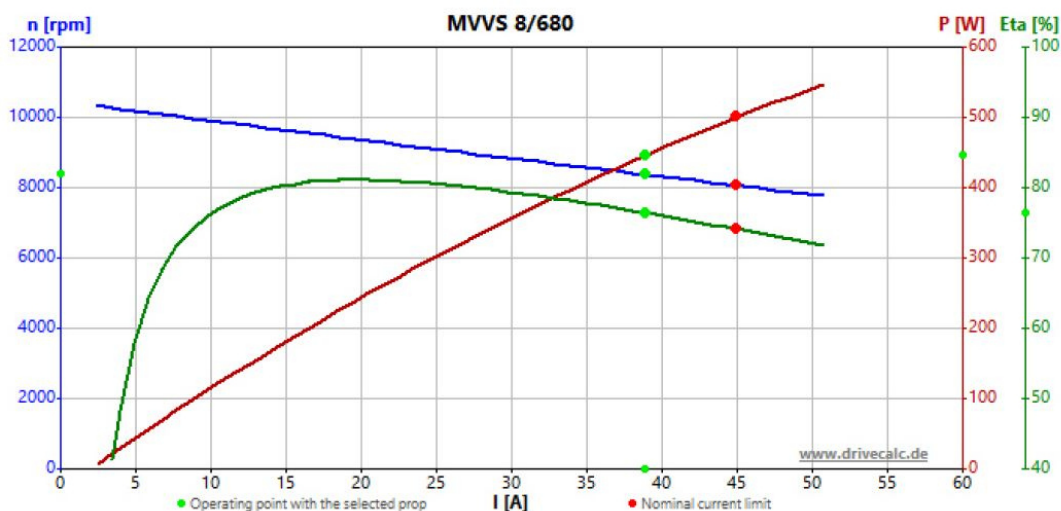
Tento program poskytuje širokou nabídku charakteristik motorů, vrtulí a regulátorů, které se vyskytují na trhu. Po zadání potřebných parametrů byly získány grafy popisující vlastnosti vrtule a vlastnosti motoru.

Legenda k diagramům:

- Thrust [g] - tahová síla
- P [W] - příkon
- Eta [%] - účinnost
- n [rpm] - počet otáček za minutu
- I [A] - proud



Obr. 3.10 Graf vlastností vrtule při konstantním napětí 15V



Obr. 3.11 Graf vlastností motoru při konstantním napětí 15V

Při odečtení hodnot z grafu lze zjistit, že při napětí 15 V a proudu 38,88 A. Je příkon 583,1W a tah jednoho motoru osazeného 13x8 vrtulí je 2,48 kg. Účinnost motoru je 76,4%.

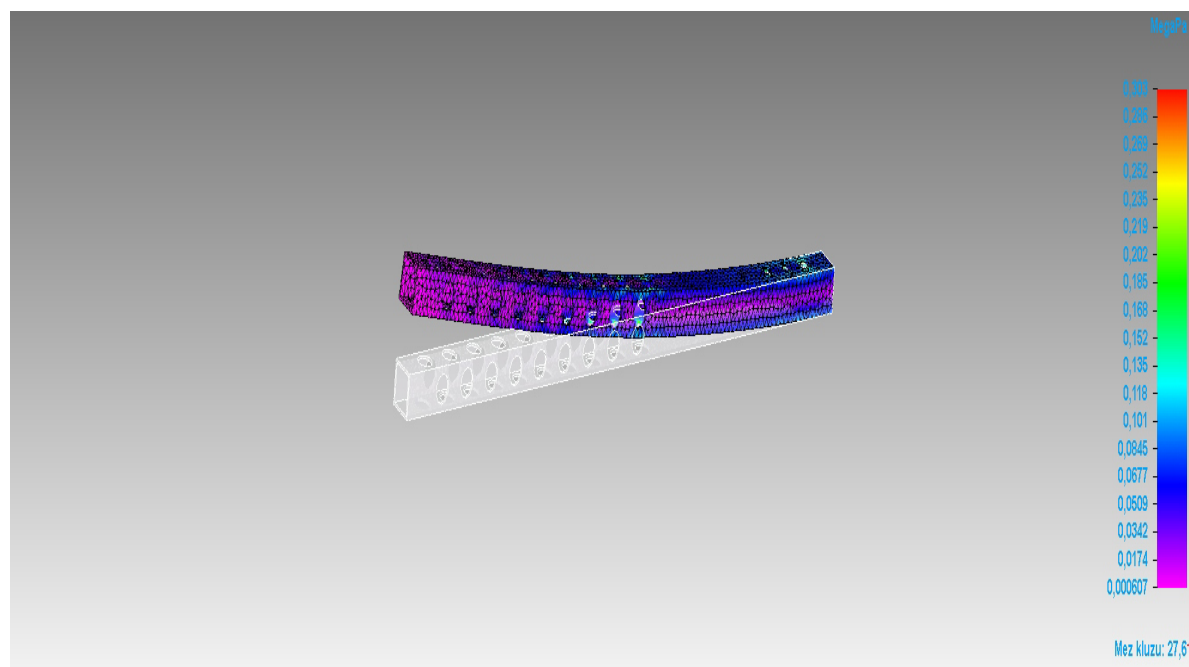
Vypočtené hodnoty se příliš neliší od reálně naměřených. Proto se lze zaměřit na další části létajícího robota.

Pevnostní analýza ramen

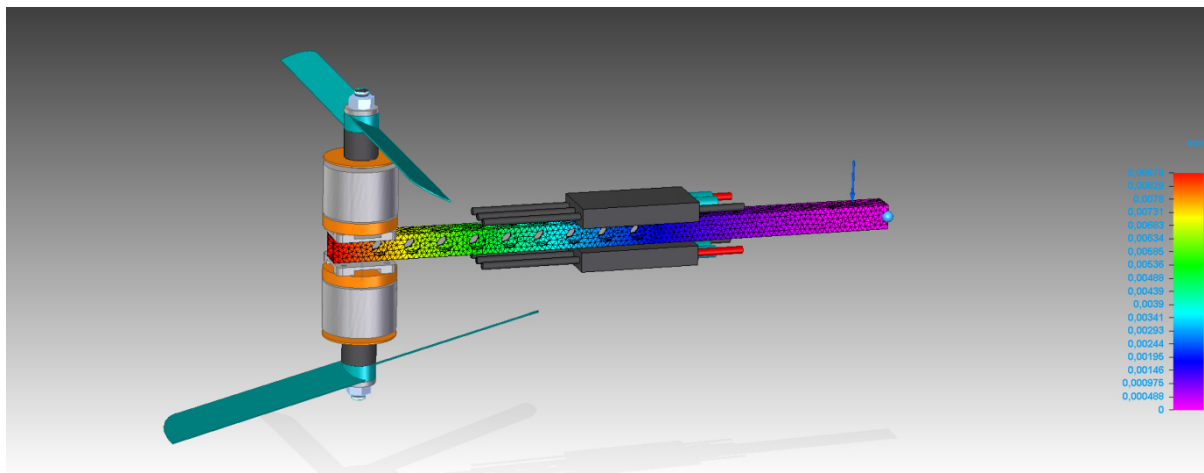
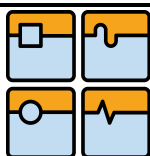
Když teď známe maximální tah rotoru, tak je zapotřebí zjistit, jestli se při maximálním tahu nebude deformovat rám.

Výpočet byl proveden pomocí programu Solid Edge ST.

Ramena tvoří hliníkový profil, který je běžně dostupný a není příliš těžký pro konstrukci. Maximální tah koaxiálního motoru je přibližně 6-7 kg. Proto pro výpočet byla zvolena předimenzovaná síla 100N (10kg). Na obr. 3.12 lze vidět působení napětí, které je maximálně 0,303 MPa. Toto napětí má za následek posunutí v místě působení o 0,0126 mm (viz obr. 3.13). Z této simulace lze usoudit, že hliníkové profily bezpečně splní funkci a nedojde k žádné deformaci.



Obr. 3.12 Působení napětí



Obr. 3.13 Velikost posunutí

Nyní je potřeba regulovat otáčky motoru, aby mohla oktokoptéra létat. K těmto účelům poslouží regulátor Emax Simon serie 60A UBEC. Je to univerzální regulátor pro střídavé elektromotory. Je plně programovatelný, aby byl kompatibilní s různými přijímači. Parametry lze nastavit pomocí programovací karty nebo pomocí vysílače. Obsahuje přepětovou ochranu, tepelnou ochranu, ochranu ztráty signálu a bezpečné napájení. Není kompatibilní s vysílači Hitec Aurora 9, Hitec Lite 4 a některými vysílači Turning. [14]

Technické údaje:

Typ	ESC-60 A
Trvalý proud max:	60 A
Nárazový proud (15 sec)	80 A
Rozměry	73 x 36 x 12 mm
Hmotnost	63 g
BEC	5 A



Obr. 3.14 Emax Simon serie 60A UBEC

Dalším důležitým aspektem při navrhování konstrukce je výběr vhodné baterie. Baterie musí poskytnout dostatečné napájení po určitou dobu. Je potřeba začít z toho, jaký může mít motor maximální odběr. Vybraný motor může snést proud 60A po dobu 15s. Při navrhované konfiguraci bude jedna baterie napájet dva motory, proto je potřeba najít baterii, která poskytne minimální napájecí proud o hodnotě 120A .

Byla vybraná baterie Tattu Gens Ace s kapacitou 12000mAh, napětím 22,5V a vybíjecím proudem 15C. Váha této baterie je 1577 gramů. Výhodou této baterie, že umí samostatně vyvažovat články. Rozměry této baterie jsou 181 x 70 x 62 mm.



Obr. 3.15 Baterie Tattu Gens Ace

Dobu letu při poloze na plný plyn získáme z toho vztahu:

$$T [\text{min}] = \text{Kapacita baterie [Ah]} / \text{proud [A]} * 60$$

$$T = 12 / 120 * 60 = 6 \text{ min}$$

Toto platí při maximálním vytížení a při úplném vybití baterie. Pro ochranu baterie je určený určitý prostor, takže lze využít přibližně 80% kapacity baterie. Poté dostaneme letovou dobu 4,8 minut. Samozřejmě se nelétá celou dobu letu na plný plyn, tudíž bude celková doba letu delší. Když uplatníme optimální podmínky pro motor, které jsou přibližně 35 A, tak se s dobou letu dostaneme přes 10 minut. Přitom se samotným strojem bez zavěšeného zařízení může být doba letu až dvojnásobná.

3.4 Přídavné zařízení

Na spodní části multikoptéry je prostor pro umístění přídavného zařízení. Tímto zařízením je v tomto případě sonar Deeper Pro + od výrobce Deeper. Sonar je zavěšen na oku navijáku. Naviják je připevněn k desce a slouží ke spuštění sonaru do vody a po provedení snímání pro vytažení z vody do zajištěné polohy. V případě potřeby je možné na naviják zavěsit i libovolnou zátěž do 5 kg. Například přeprava ryb na břeh v síti zavěšené pod multikoptérou.

3.4.1 Sonar Deeper Pro +

Tento sonar slouží k mapování reliéfu dna vodních hladin a je schopen určit přesný výskyt ryb. Proto je využíván velkým počtem amatérských i profesionálních rybářů po celém světě. Deeper vysílá zvukové signály, jejich odrazy od předmětů okamžitě zpracovává a okamžitě je zobrazuje na displeji připojeného zařízení. Sonar je vybaven wifi s GPS. To mu umožňuje zmapovat danou vodní hladinu tak, že jsou informace o reliéfu dna zaznamenávány přímo do GoogleMaps. Deeper nabízí spolehlivý dosah 100 metrů a sonar je schopen snímat maximálně do hloubky 80 metrů. [8]

Sonar umožňuje skvěle sledovat dění pod vodní hladinou díky dvojí frekvenci v radiusu 90 kHz (55°) a 290 kHz (15°). Široký paprsek umožňuje zkoumat velké plochy a úzký paprsek s vysokou přesností poskytuje zobrazení místa výskytu ryb, kontur nebo detailů dna.

Sonar lze ovládat pomocí počítače nebo i pomocí aplikace v chytrém telefonu.



Obr. 3.16 a) Sonar Deeper pro +
b) Rozsah snímání sonaru

Technické parametry sonaru[8]:

Rozměr [cm]	Koule o průměru 6,5
Hmotnost [g]	100
Materiál	ABS
Připojení	Bezdrátové připojení Bluetooth
Rozsah zařízení Bluetooth	100
Hloubkový rozsah [m]	Max 80 / min 0,5
Provozní teplota	-20 °C - +40 °C
Typ sonaru	Dvojitý paprsek
Frekvence [kHz]	290 (15°) / 90kHz (55°)
Baterie	Lithium Polymer 3,7V dobíjecí, 850mAh
Výdrž baterie [hod]	6

3.4.2 Elektronický naviják

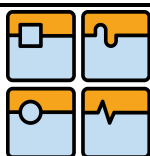
Elektronický naviják R4WD 1/8 WARN ZEON 10 WINCH slouží k zavěšení sonaru pod multikoptérou. R4WD patří mezi špičku na trhu. Tento naviják nabízí díky kvalitnímu CNC zpracování a konstrukčnímu poměru 1:8 splňuje požadavky, které vyžaduje zadání diplomové práce. S nosností 5,4 kg na něj lze zavěsit všeskerá potřebná užitečná hmotnost.

Technické parametry navijáku [9]:

Materiál	Hliník
Lano	Syntetické
Pracovní napětí [V]	6 - 11,1
Maximální mrtvý tah [kg]	5,4
Délka [mm]	86,1
Šířka [mm]	34,2
Výška [mm]	38,4
Hmotnost [g]	96



Obr. 3.17 R4WD 1/8 WARN ZEON 10 WINCH



3.5 Celková váha multikoptéry:

Díl	Počet kusů	Váha / ks
Ramena	4	50 g
Motory s vrtulemi	8	240 g
Baterie	4	1577 g
Desky	1	800 g
Podvozek	1	750
Elektronika	1	100 g
Sonar	1	100 g
Naviják	1	96 g
Celková hmotnost		10274 g

3.6 Podvozek

Podvozek musíme upravit pro potřeby, ke kterým je multikoptéra určena. To znamená, že musí být schopna přistát na vodě. Pro tyto účely byly nohy multikoptéry vyrobeny z 500 mm dlouhých hliníkových závitových tyčí. Na které lze dle potřeby přimontovat plováky z polystyrenu.

Výpočet velikosti plováků

Požadovaný objem plováků zjistíme pomocí Archimédova zákona, který zní: *"Těleso ponořené do tekutiny, které je v klidu, je nadlehčováno silou rovnající se tíze tekutiny stejného objemu, jako je ponořená část tělesa."* [37]

Vzorec pro výpočet:

$$F_G = F_{VZ}$$
$$m \cdot g = V \cdot \rho_t \cdot g = V \cdot \rho_k \cdot g$$

, kde F_G - tíhová síla
 F_{VZ} - vztlaková síla
 m - hmotnost tuhého tělesa
 g - gravitační zrychlení
 V - objem těles
 ρ_t - hustota tuhého tělesa
 ρ_k - hustota kapaliny

Polystyren má hustotu 1,04 g/cm³. Hustota vody je 0,999 g/cm³. Celkovou váhu multikoptéry vezmeme s rezervou a budeme počítat pro 20 kg.

Po dosazení do vzorce dostaneme objem 20.020 cm³. Při použití dvou plováků (10.010 cm³ na jeden plovák) lze jeden plovák vyrobit s rozměry 600 mm x 150 mm x 120 mm

4. Návrh způsobu řízení

Jak už bylo dříve zmíněno, mozek létajícího stroje tvoří řídicí jednotka. Jako řídicí jednotka byla vybrána DJI NAZA-M V2. Je to produkt firmy DJI innovations, která se vývojem multikoptér zabývá již řadu let a patří mezi nejlepší firmy v současnosti.



Obr. 4.1 Řídicí jednotka DJI NAZA-M V2

Jedná se o kvalitní řídicí jednotku, která souží pro sportovně rekreační létání i poloprofesionální využití pro letecké fotografování a natáčení videa. Tato jednotka bez problémů zvládá řízení kvadrakoptér, hexakoptér i oktokoptér. Dále je v ní integrovaná inerciální jednotka s tříosým gyroskopem, akcelerometry a barometrickým výškoměrem. Její součástí je ještě napájecí jednotka, modul GPS a LED indikátor. [3]

Naza-M V2 může pracovat ve třech letových režimech:

- Manuální režim - Slouží pro ruční ovládání pilotem. Tento režim je určen pro zkušené piloty a používá se při akrobatickém létání.
- Atti. režim - Tento režim stabilizuje polohu multikoptéry ve všech osách. Nedochozí však ke stabilizaci zeměpisné polohy. Pokud bude například foukat vítr, tak multikoptéra bude unášena ve směru větru. V případě ztráty signálu z vysílače, multikoptéra přejde do režimu fail-safe a model zůstane viset ve stejné výšce.
- GPS Atti. režim - Pro využití tohoto režimu je nutné připojit modul GPS. Režim pracuje na stejném principu jako Atti. režim, ale má k dispozici i údaje z GPS. Za pomoci těchto dat dokáže udržet i zeměpisnou polohu multikoptéry. Při ztrátě signálu režim využije jeden ze dvou pokročilých fail-safe režimů:

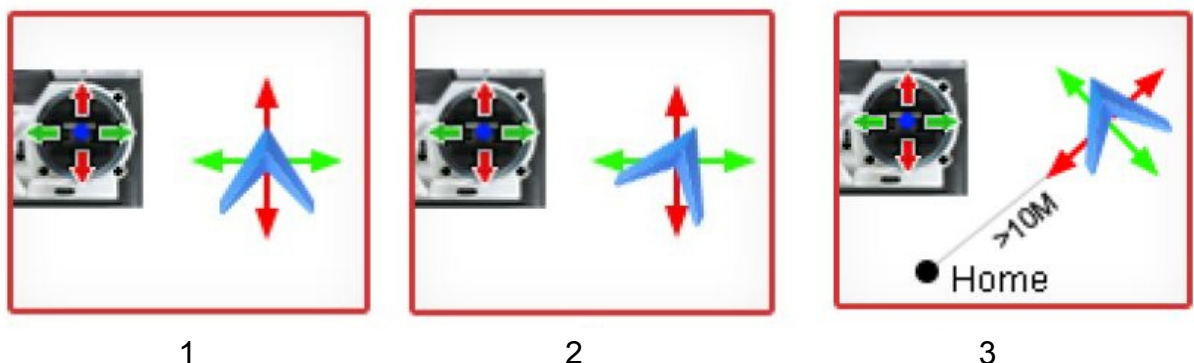
- Landing - automaticky přistane na místě, kde se právě nachází.
- Go Home - po krátké prodlevě se multikoptéra vynese do výšky 20 m nad zem a vrátí se do okruhu 10 m na pozici startu. Po další krátké prodlevě (15 s) ve visení automaticky přistane. [3]



Obr. 4.2 Porovnání režimů Landing a Go home

V režimech Atti a GPS Atti jsou k dispozici dvě inteligentní funkce pro ovládání směru:

- Course lock - udržuje před multikoptéry v nastaveném směru bez ohledu na to, jaký je směr letu
- Home lock - před multikoptéry míří vždy ve směru přímky procházející místem startu



Obr. 4.3 1 - normálně, 2 - režim course lock, 3 - režim home lock

Technické parametry[3]:

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]	D46 x 10
Hmotnost (napájecí jednotka PMU) [g]	28
Hmotnost (řídící jednotka) [g]	27
Hmotnost (LED modul) [g]	13
Hmotnost (GPS modul) [g]	27

4.1 Příslušenství k řídící jednotce

Napájecí jednotka PMU slouží nejen pro napájení řídící jednotky, ale také pro napájení modulu GPS a jeho komunikaci nebo také pro zavěšené zařízení.



Obr. 4.4 Napájecí jednotka DJI PMU V2

Modul GPS, který zajišťuje údaje o zeměpisné poloze a posílá je před PMU do řídící jednotky.



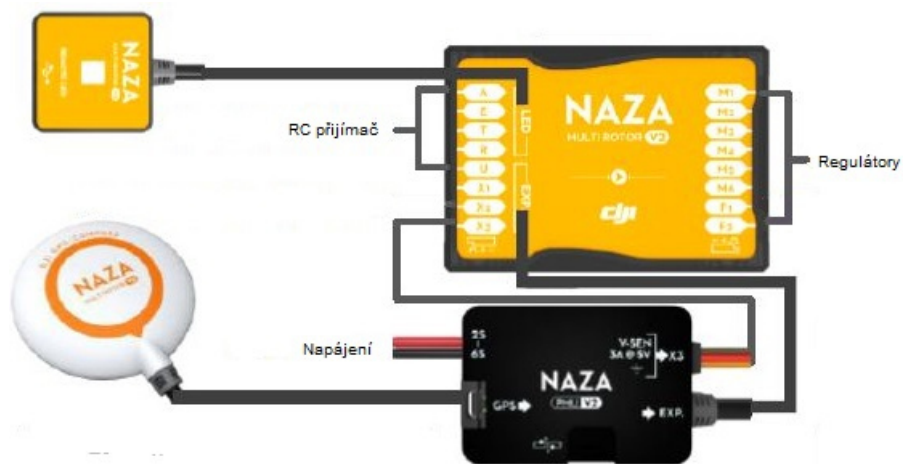
Obr. 4.5 Modul GPS pro DJI NAZA-M V2

LED indikátor slouží k signalizaci provozních stavů. Je vybaven microUSB portem pro nastavení řídicí jednotky přes počítač.



Obr. 4.6 LED indikátor

Schéma zapojení je vidět na obr. 4.7



Obr. 4.7 Schéma zapojení

4.2 RC souprava

RC souprava se skládá z přijímače a vysílače. Přijímač chytá signál z vysílače a je upevněn na rámu a je spojen s řídící jednotkou.

Pro řízení byla vytipována RC souprava MZ-24 2,4 GHz Hott. Komunikuje s řídící jednotkou pomocí radiového signálu na frekvenci 2,4 GHz na vzdálenost až 4 kilometry. Je vybavena 3,5" TFT LCD barevným dotykovým displejem pro snadné ovládání. Nabízí možnost spárování několika přijímačů a poskytuje paměť pro 30 modelů. Pro delší životnost jsou v obou křížových ovladačích kvalitní kuličková ložiska. Dále vysílač nabízí několik spínačů, které se dají nastavit na libovolnou funkci. [5]



Obr. 4.8 RC vysílač MZ-24 2,4 GHz Hott

Technické údaje k RC soupravě[5]:

Počet kanálů	12
Napájení [V]	3,6-8,4
Proudový odběr [mA]	70
Délka [mm]	286
Šířka [mm]	194
Výška [mm]	112
Hmotnost [g]	839
Dosah [m]	4000
Pásmo [MHz]	2400-2484,5
Délka antény [mm]	120
Rozměry antény [mm]	46 x 31 x 14
Hmotnost antény [g]	16

4.3 Nastavení řídicí jednotky

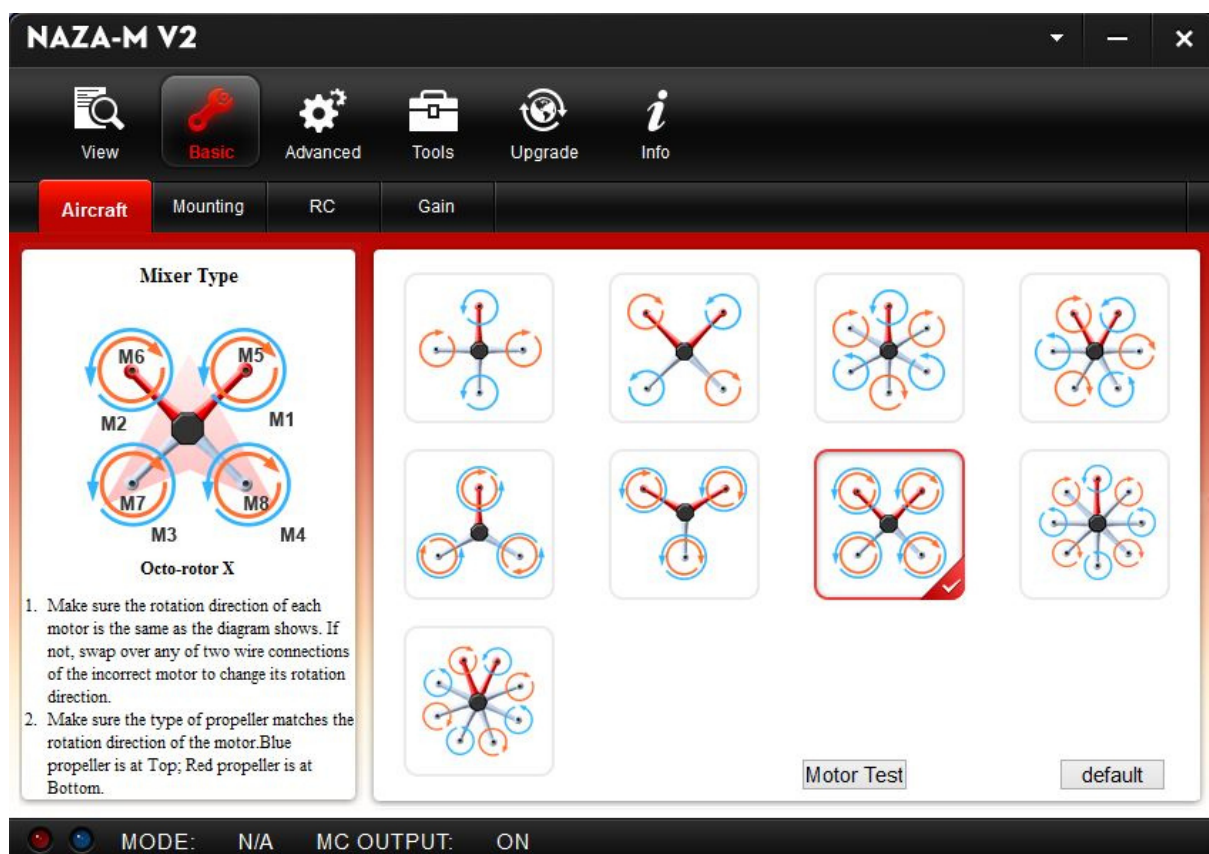
Pro úpravu a nastavení létajícího stroje v počítači slouží program DJI NAZAM Assistant v 2.40, který je ke stažení na stránkách výrobce.

4.3.1 Výběr typu modelu

Zapnutý létající stroj se připojí k počítači a zapne se již zmíněný program. Po spuštění se zobrazí bezpečnostní doporučení pro sundání vrtulí během nastavování a testování.

Program je pouze v anglickém nebo čínském jazyce, proto by bylo potřeba mít alespoň základní znalost jednoho z těchto jazyků.

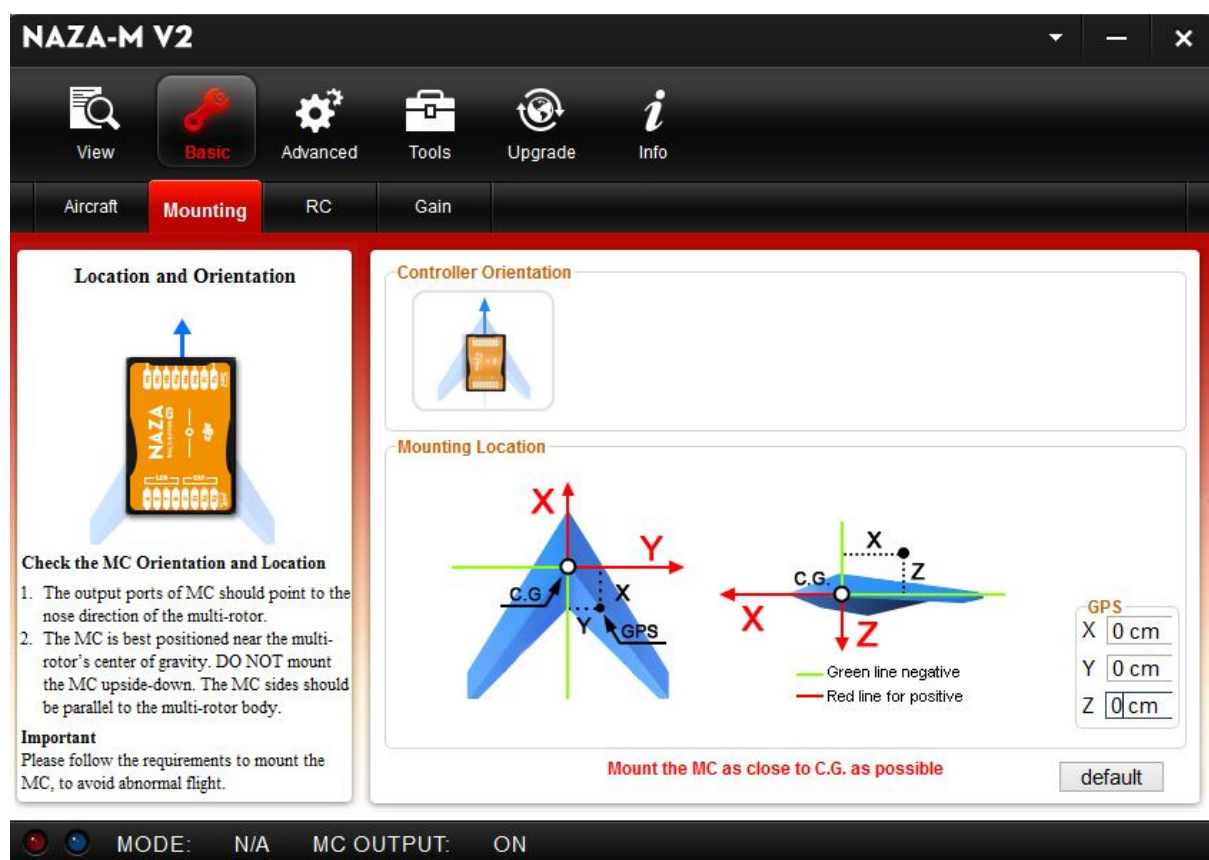
Samotné rozhraní programu je přehledné a co nejjednodušší pro uživatele. Pro výběr typu modelu stačí označit záložku základního nastavení (Basic) a poté vybrat požadovaný typ multikoptéry.



Obr. 4.9 Výběr typu modelu. Červeně je označen vybraný typ.

4.3.2 Nastavení GPS a polohy řídicí jednotky

Řídicí jednotka by měla být umístěna v blízkosti těžiště létajícího stroje a měly by být umístěna ve směru orientace šipky, které je znázorněna v programu. Jestliže toto pravidlo bude porušeno, bude docházet k driftování nebo přímo k převrácení a let by nebyl možný. Poloha GPS se měří od polohy těžiště na bodu [0,0,0]. Pro navrhovaný model by nastavení bylo $x = 0$ cm, $y = 0$ cm, $z = -8$ cm



Obr. 4.10 Nastavení polohy řídicí jednotky

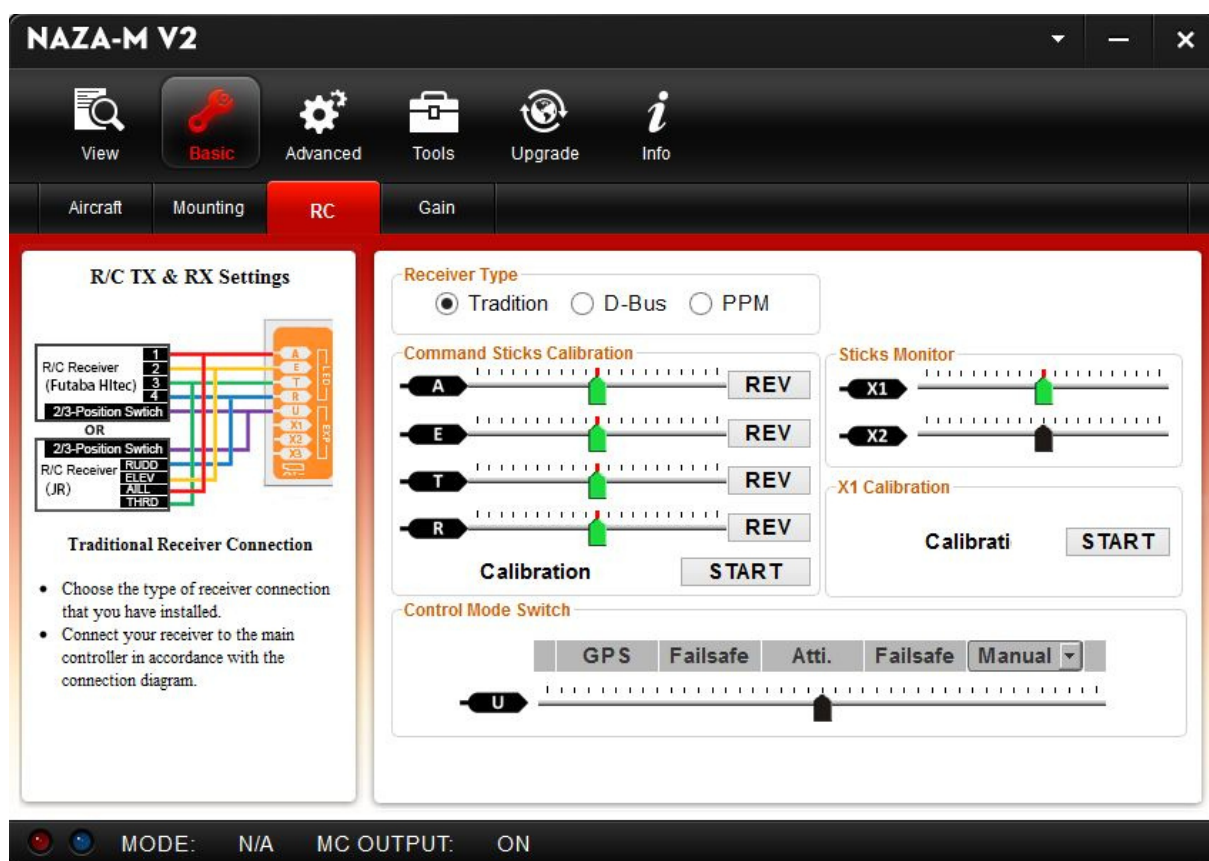
4.3.3 Kalibrace ovladače a nastavení letových režimů

V záložce BASIC/RC lze nastavit několik parametrů:

- volba typu přijímače - Program nabízí tři typy zapojení. Nejvíce používané tradiční zapojení, D-Bus zapojení PPM zapojení.
- nastavení kalibrace ovladače - Na vysílači je potřeba nastavit všechny hodnoty na výchozí hodnotu. Poté tlačítkem Start spustíme program a několikrát vychýlíme ovladače do krajních poloh. Když s tím budeme hotovy, tak stiskneme tlačítko

Finish a uvidíme zaznamenané výchylky všech ovladačů.

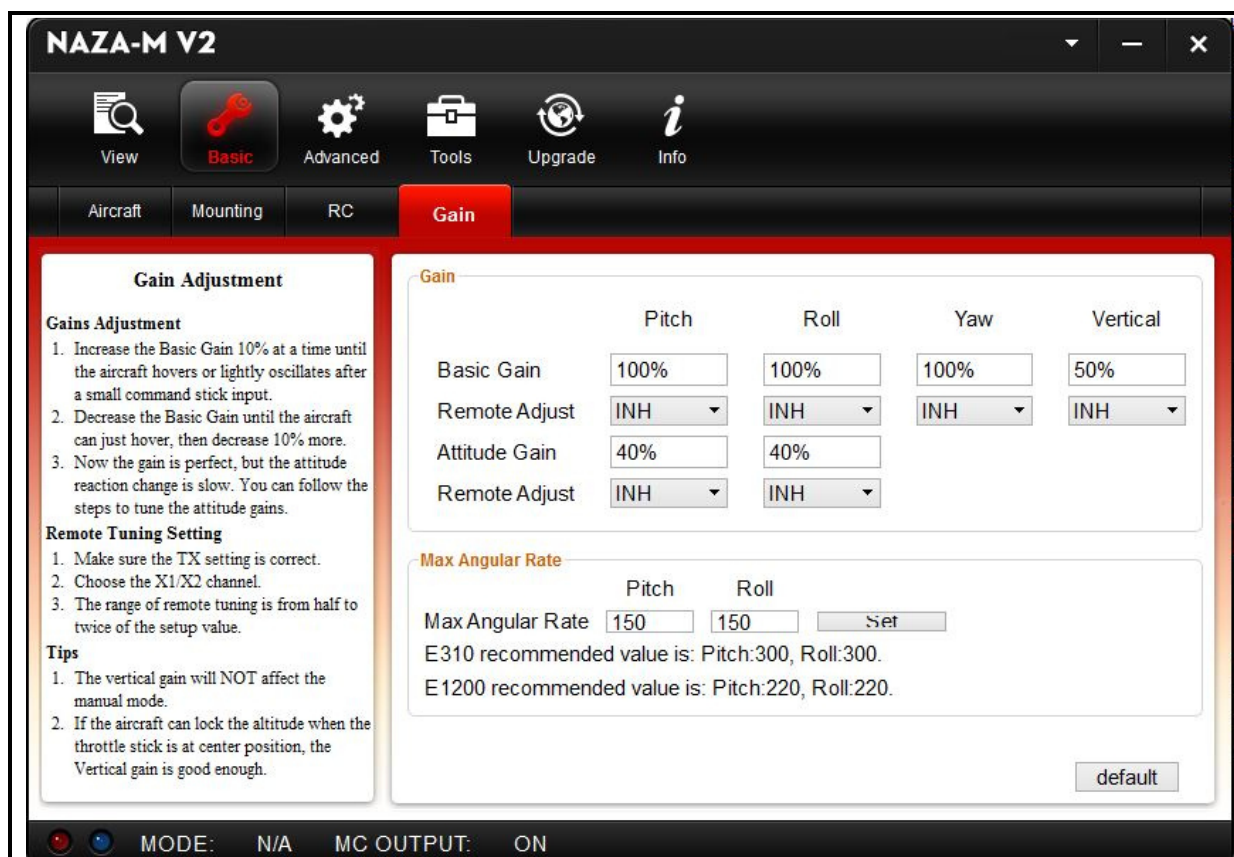
- nastavení přepínání letových režimů - toto nastavení je závislé na způsobu zapojení přijímače. Jestliže je dodrženo požadovaných instrukcí, měly by být k dispozici režimy GPS, Failsafe, Atti a Manual. Případnou výchylku upravujeme přímo na vysílači.



Obr. 4.11 Nastavení pro kalibraci ovladače, nastavení letových režimů a vpravo je ještě možnost nastavení zavěšeného zařízení.

4.3.4 Zisk (Gain)

Pod záložkou Basic/Gain nalezneme nastavení citlivosti ovládání. Při nízkých hodnotách se bude létající stroj hůře ovládat a naopak při vyšších hodnotách bude docházet k oscilaci v dané ose. Pitch slouží k nastavení klopení, Roll pro llonění, Yaw pro bočení a Vertical k nastavení svislého zisku. Attitude Gain slouží k nastavení reakce létajícího stroje na pohyb ovladače. Čím vyšší hodnota, tím rychlejší reakce.

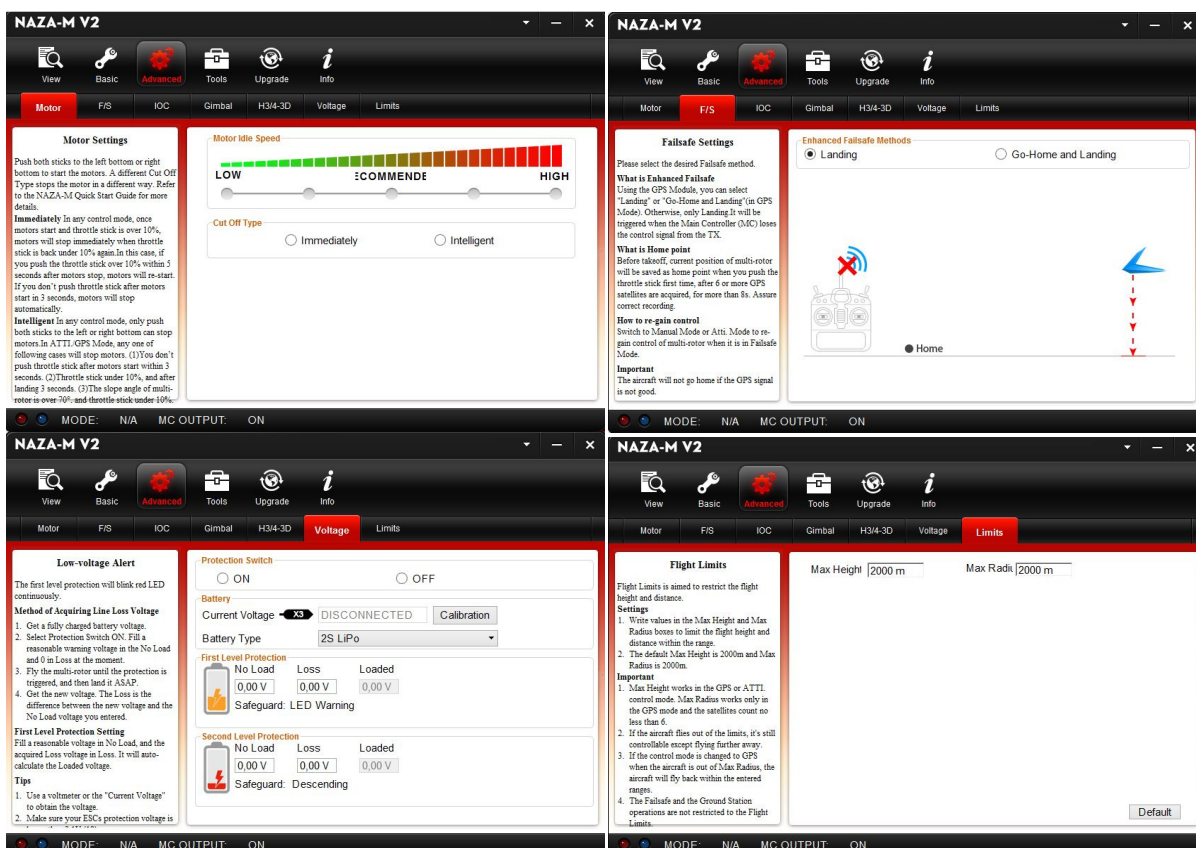
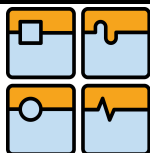


Obr. 4.12 Nastavení citlivosti ovládání

4.3.5 Další nastavení

Další záložkou v programu jsou pokročilá nastavení. Lze zde nastavit tyto vlastnosti:

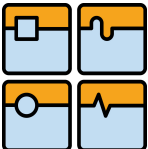
- nastavení volnoběžných otáček motoru při startu.
Upřednostňované nastavení je na tu nejnižší hodnotu.
- výběr failsafe modu
- IOC - inteligentní ovládání směru - režimy home lock, course lock a off
- nastavení zavěšeného zařízení
- H3/4 - 3D - slouží k vymezení limitů na gimbalu
- sledování napájecího napětí
- nastavení limitů výšky a vzdálenosti



Obr. 4.13 Přehled dalších možných nastavení

4.4 Celková pořizovací cena:

Vrtule, motory, regulátory a stojan	12.000 Kč
Baterie (4 ks)	4 x 5.624 Kč
Výroba dílů (odhad)	8000 Kč
Řídící jednotka	6.690 Kč
Sonar	6.999 Kč
Naviják	1.600 Kč
RC souprava	10.860 Kč
Celková cena	68.645 Kč

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 64
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

5. Závěr

První část diplomové práce byla věnována stručnému přehledu létajících strojů. V ní jsem zmínil několik zástupců z několika směrů působení UAV. V závěru první části jsem ještě uvedl právní podmínky v ČR, ze kterých lze usoudit, že česká legislativa prozatím příliš neusnadňuje větší využívání létajících strojů.

Druhá část byla věnována přehledu možností, které má uživatel při konstrukci vlastního létajícího stroje a na co konkrétně by se měl zaměřit. V dnešní době, kdy se tento obor ještě stále vyvíjí, není problém neustále objevovat nové věci. Díky dostupnosti veškerého sortimentu lze sestavit libovolně velikou multikoptéru s širokým využitím. Pro civilní účely se nejčastěji využívá koncepce s kamerou zavěšenou na systému gimbal.

Hlavním cílem práce bylo navrhnout funkční koncepci létajícího robota pro geofyzikální účely s možností rozšíření o užitečnou hmotnost 5 kg. Mým původním cílem byla realizace tohoto návrhu. Návrh byl směřován na využití dílů, které jsem měl k dispozici od vedoucího diplomové práce. Jednalo se o pohonný systém, hliníkový rám, regulátory a stojan. Díky přístupu k těmto dílům bylo možné změřit reálný tah navrhované koncepce. Při návrhu byla snaha většinu parametrů předimenzovat, aby byla výsledná koncepce odolnější a připravena na další úpravy.

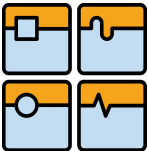
Vlivem požadavku na užitečnou hmotnost do 5 kg byl návrh upraven na výsledné použití čtyř baterií. Ty měly nepříznivý dopad celkovou váhu samotné oktokoptéry, ale výrazně zvýšily dobu doletu. Přesné hodnoty doby letu a celkových vlastností je potřeba vyzkoušet na reálném modelu, který se bude lišit díky vlivu vnějších podmínek, které nelze použít při výpočtech.

Řízení probíhá pomocí kupované řídicí jednotky. Byla vybrána cenově přijatelná řídicí jednotka, kterou stačí v počítači pouze zkalibrovat. Variantu vytvoření vlastního řídicího systému jsem vyřadil z důvodu nedostatečných znalostí v oblasti programování.

Díky zavěšenému sonaru a přídatným plovákům může být tato multikoptéra dobrým pomocníkem při rybaření nebo průzkumu vodního dna. Navrhovaný létající stroj disponuje užitečnou hmotností 5 kg, proto lze sonar z navijáku odpojit a lze na karabinu navijáku zavěsit potřebný náklad, který je potřeba přepravit pomocí multikoptéry. Je však nutné, aby daná zátěž nezpůsobovala moc velké vychýlení od těžiště. Náklad, který je nesymetrický je vhodné vložit například do sítě a tu poté pověsit za karabinu. Dojde poté k redukci pouze na jednu sílu, která bude působit v těžišti.

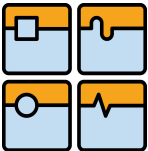
Samotná realizace létajícího stroje bohužel nebyla provedena, protože rozpočet výrazně převýšil dostupné finanční prostředky.

Na přiloženém CD je možné si prohlédnout model a výkresy vyráběných dílů.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 65
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

6. Seznam literatury

- [1] MOCEK, J. *Létající robot pro geofyzikální účely*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 40 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Simeon Simeonov, CSc..
- [2] Robotshop. *Robot shop* [online]. 2015 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.robotshop.com/>
- [3] *Pecka-modelar* [online]. 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: http://www.peckamodel.cz/produkt/rc-modely-a-prislusenstvi/rc-multikoptery-a-prislusenstvi/prislusenstvi-pro-multikoptery/dji0121-naza-m-v2-gps-combo-ridici-jednotky-pro-multikoptery?gclid=Cj0KEQjw4J-6BRD3h_KloqijwvkBEiQAfcPiBWZqIS-3hDQIQhhnp2e-jb7uCtSrMrtVOeEJledi2UUaAjID8P8HAQ
- [4] *DJI* [online]. 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.dji.com/product/naza-m-v2/download>
- [5] *RC market* [online]. 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.rcmarket.cz/zbozi/vysilace/pakove/mz-24-24ghz-hott-rc-souprava.html>
- [6] <http://www.jamcopters.cz/dji-innovations/dji-f450-quadcopters/dji-f450-arf-kit-kvadrokoptera>
- [7] *HELICAM* [online]. 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.helicam.cz/shop/cz/multikoptery/dji/dji-f550-arf-kit-hexakoptera>
- [8] *Chyt a pust* [online]. 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: https://www.chytopust.cz/Nahazovaci-echoloty/Deeper-Pro-Fishfinder-nahazovaci-sonar-verze-WiFi-s-GPS?gclid=CjwKEAju9Zu5BRCS_OuVibujhQ0SJAD7t4KrJN-xr3-E_Z5Q00R2_LJiek9RItaKTsk5KqK5dsDZtxoCc8Dw_wcB
- [9] *RC4WD* [online]. 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: http://store.rc4wd.com/RC4WD-18-Warn-Zeon-10-Winch_p_4592.html
- [10] *Moje Rc* [online]. 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.mojerc.cz>
- [11] *Technet* [online]. 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/izraelsky-zasobovaci-dron-airmule-dt2-/vojenstvi.aspx?c=A160114_192345_vojenstvi_erp
- [12] *Aerosonde* [online]. 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: http://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=1042
- [13] *Aeroscout* [online]. 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.aeroscout.ch/index.php/en/laser-scanning#prettyPhoto>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 66
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [14] *Pecka - Model* [online]. 2016 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.peckamodel.cz/produkt/rc-modely-a-prislusenstvi/rc-multikoptery-a-prislusenstvi/prislusenstvi-pro-multikoptery/regulatory-pro-multikoptery/2210060-regulator-emax-simon-serie-60a>
- [15] *Rozhlas* [online]. 2015 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: http://www.rozhlas.cz/zpravy/technika/_zprava/komercni-vyuzivani-dronu-za-ziva-boom-zaroven-ale-roste-pocet-prestupku--1485575
- [16] *RC hobby web* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.rcmania.cz/viewforum.php?f=129>
- [17] *E calc* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.ecalc.ch/xcoptercalc.php>
- [18] *VTM* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://vtm.e15.cz/aktuality/bezpilotni-letouny-vrazdici-stroje-bez-soucitu>
- [19] *Aerodynamics for students* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: http://www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/aerothorthermal_dvd_only/aero/propeller/prop1.html
- [20] *Lipolbaterie* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.lipolbaterie.cz/navody/jak-vybrat-lipol-baterie/>
- [21] *Elektromodellflug* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.elektromodellflug.de/index.html>
- [22] *MVVS* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.mvvs.cz/elektromotory.html>
- [23] JURČÁK, P. *Zařízení pro monitorování obtížně dostupných prostor*. Zlín: Univerzita Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky, 2015. 63 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
- [24] HAMAN, T. *Přehled bezpilotních letounů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 56 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ivan Dofek.
- [25] *RC models* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.rcmodels.cz/jak-vybrat-spravny-elektromotor/>
- [26] *RC portal* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.rcportal.sk/vrtula-a-jej-vykon-c42>
- [27] *MDPI* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2072-4292/7/4/4026/htm>

[28] Mitsuaki Ishitobi and Masatoshi Nishi (2010). *Nonlinear Adaptive Model Following Control for a 3-DOF Model Helicopter*, *Mechatronic Systems Simulation Modeling and Control*, Annalisa Milella Donato Di Paola and Grazia Cicirelli (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/9131. Available from: <http://www.intechopen.com/books/mechatronic-systems-simulation-modeling-and-control/nonlinear-adaptive-model-following-control-for-a-3-dof-model-helicopter>

[29] Úřad pro civilní letectví [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/prehled-zakladnich-pozadavku-na-bezpilotni-systemy>

[30] *Daily mail* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-3385988/Watch-radical-AirMule-air-Bizarre-cargo-drone-prototype-fly-injured-soldiers-battlefield-deliver-shopping.html>

[31] 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-letou-num-1404043171.html>

[32] PETRÁSEK, Miroslav. *Základy letu - vrtulník*. Vyd. 1. Brno : CERM, 2008. 98 s. ISBN 978-80-7204-588-4

[33] GURDAN, Daniel, *et al.* *Energy-efficient Autonomous Four-rotor Flying Robot Controlled*. ICRA 2007. 2007, 1, s. 361-366. ISSN 1-4244-0602-1

[34] EdX [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <https://www.edx.org/course/autonomous-navigation-flying-robots-tumx-autonavx-0#.VHYEvGfdOJs>

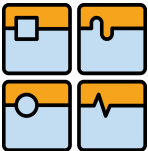
[35] *Autonomous Flying Robots (Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles)*, 2010, XVII, 329 p., Nonami, K., Kendoul, F., Suzuki, S., Wang, W., Nakazawa, D., SBN 978-4-431-53856-1

[36] OPLUŠTIL, Milan. *Určení řízení pohybových stavů quadrocoptery* [online]. Zlín, 2014 [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://digilib.k.utb.cz/handle/10563/29962?show=full>. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati.

[37] *Archimédův zákon* [online]. [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Archim%C3%A9d%C5%AFv_z%C3%A1kon

7. Seznam obrázků

- Obr. 1.1 Zobrazení způsobů eliminace reakčního momentu [1]
- Obr. 1.2 X-Hawk LE [11]
- Obr. 1.3 Aerosonde Mark 4.4 series [12]
- Obr. 1.4 Aeroscout B1-100 a ukázka z průzkumu dolů [13]
- Obr. 1.5 Přehled základních požadavků na bezpilotní letouny [29]
- Obr. 2.1 Model triblivion [1]
- Obr. 2.2 Rám DJI F45 ARF kit [6]
- Obr. 2.3 Rám hexakopteru od výrobce DJI a multikopter Y6 Pro [7]
- Obr. 2.4 OT-1200 oktokoptéra a Plexi drone [6]
- Obr. 2.5 Motory Inrunner, bezkartáčový a pancake [2]
- Obr. 2.6 Vrtule [2]
- Obr. 2.7 Záběr vrtule [2]
- Obr. 2.8 Vyvažování vrtule [2]
- Obr. 2.9 ESC pro bezkartáčové motory [2]
- Obr. 2.10 Baterie [2]
- Obr. 3.1 Návrh létajícího robota
- Obr. 3.2 Návrh rámu
- Obr. 3.3 Jedno z ramen
- Obr. 3.4 Použité desky
- Obr. 3.5 Elektromotor MVVS 8/680 [1]
- Obr. 3.6 Vrtule s motorem
- Obr. 3.7 Stojan na váze při měření [1]
- Obr. 3.8 Koaxiální uspořádání motorů
- Obr. 3.9 Konstrukce pro měření tahu při koaxiálním uspořádání
- Obr. 3.10 Graf závislosti vrtule
- Obr. 3.11 Graf závislosti vrtule
- Obr. 3.12 Působení napětí
- Obr. 3.13 Velikost posunutí
- Obr. 3.14 Emax Simo serie 60A UBEC [14]
- Obr. 3.15 Baterie Tattu Gens Ace [10]
- Obr. 3.16 Sonar Deeper pro + a jeho rozsah snímání [8]
- Obr. 3.17 R4WD 1/8 WARN ZEON 10 WINCH [9]
- Obr. 4.1 Řídící jednotka DJI NAZA-M V2 [3]
- Obr. 4.2 Porovnání režimů Landing a Go Home [4]
- Obr. 4.3 Režimy ovládání směru [4]
- Obr. 4.4 Napájecí jednotka DJI PMU V2 [3]
- Obr. 4.5 Modul GPS [3]
- Obr. 4.6 LED indikátor [3]
- Obr. 4.7 Schéma zapojení [4]
- Obr. 4.8 RC vysílač MZ-24 2,4 GHz Hott [5]
- Obr. 4.9 Výběr typu modelu
- Obr. 4.10 Nastavení polohy řídicí jednotky
- Obr. 4.11 Nastavení pro kalibraci ovladače
- Obr. 4.12 Nastavení citlivosti ovládání
- Obr. 4.13 Přehled dalších možných nastavení

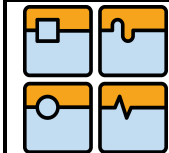
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 69
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

8. Přílohy

Přílohy tvoří jedno CD. Na CD je uložen celkový model ve 3D pdf souboru, ve stepu a také v souborech programu Solid Edge ST7.

Dále jsou na CD všechny použité obrázky použité v diplomové práci.

CD dále obsahuje výkresy dílů, které se v případě realizace létajícího stroje mají vyrobit.



DIPLOMOVÁ PRÁCE