



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy**

**Sledovací bezpilotní prostředek ČVUT FD
Konstrukce draku**

**Tracking Unmanned Aerial Vehicle CTU FTS
Construction of airframe**

Diplomová práce

Studijní program: N 3710 – Technika a technologie v dopravě a spojích
Studijní obor: PL – Provoz a řízení letecké dopravy
Vedoucí práce: Ing. Martin Novák, Ph.D.

Slavomír Brázda

Praha 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 30. 5. 2015

.....

Podpis

Název práce: Sledovací bezpilotní prostředek ČVUT FD
Konstrukce draku

Autor: Slavomír Brázda

Obor: Provoz a řízení letecké dopravy

Druh práce: Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Martin Novák, Ph.D.

Abstrakt:

Předmětem této diplomové práce je konstrukce bezpilotního prostředku určenému na sledování pozemních cílů pro mírové účely. Obsahuje informace o dracích vrtulníků, avioniky a nastavení. Dále obsahuje popis modifikace draků oproti sériovému stavu a zalétávání včetně řešení vzniklých problémů.

Klíčová slova:

bezpilotní prostředek, vrtulník, popis draku, autopilot, modifikace, zalétávání, nastavení vysílačky, programování autopilota, elektrická schémata, elektrický pohon, spalovací pohon

Title: Tracking Unmanned Aerial Vehicle CTU FTS –
Construction of airframe

Author: Slavomír Brázda

Branch: Air Traffic Control and Management

Document type: Diploma thesis

Thesis advisor: Ing. Martin Novák, Ph.D.

Abstract:

The subject of this thesis is the construction of UAV intended for tracking ground targets for peaceful purposes . It contains information about fuselages of helicopters, avionics and settings. It also contains a description of the fuselage modifications and flying test including solving problems.

Keywords:

drone, helicopter airframe description, autopilot, modification, flying test, radio settings, programming of the autopilot, electrical schematics, electric propulsion, combustion engine

Obsah

ÚVOD	- 5 -
1 VYUŽITÍ BEZPILOTNÍHO PROSTŘEDKU	- 6 -
2 KONSTRUKCE BEZPILOTNÍHO PROSTŘEDKU.....	- 8 -
2.1. T-REX 500	- 8 -
2.1.1. Draková konstrukce	- 8 -
2.1.2. Elektrická pohonná soustava	- 12 -
2.1.3. Systém autopilota.....	- 12 -
2.1.4. Blokové schéma elektrického zapojení.....	- 12 -
2.1.5. Nastavení rc vysílače	- 13 -
2.2. LAHELI 700	- 15 -
2.2.1. Draková konstrukce	- 15 -
2.2.2. Elektrická pohonná soustava	- 18 -
2.2.3. Systém autopilota.....	- 18 -
2.2.4. Schéma elektrického zapojení autopilota.....	- 20 -
2.2.5. Nastavení rc vysílače	- 22 -
2.3. CENTURYHELI RADIKAL G30 V2	- 23 -
2.3.1. Draková konstrukce	- 24 -
2.3.2. Spalovací pohonná soustava.....	- 26 -
2.3.3. Systém autopilota.....	- 27 -
2.3.4. Schéma elektrického zapojení autopilota.....	- 28 -
2.3.5. Nastavení rc vysílače	- 29 -
3 MODIFIKACE KONSTRUKCÍ BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ	- 32 -
3.1. MODIFIKACE ALIGN T-REX 500	- 32 -
3.2. MODIFIKACE LAHELI 700.....	- 35 -
3.3. MODIFIKACE CENTURYHELI RADIKAL G30 V2.....	- 38 -
3.3.1. Upevnění přídatných nádrží.....	- 38 -
3.3.2. Nová palivová soustava	- 41 -
3.3.3. Trup vrtulníku	- 43 -
3.3.4. Prodloužení ocasní části.....	- 48 -
4 LETOVÉ ZKOUŠKY	- 49 -
4.1. ZÁLET ALIGN T-REX 500	- 49 -
4.1.1. Úprava konektorů	- 50 -
4.1.2. Letové parametry	- 50 -
4.2. ZÁLET LAHELI 700.....	- 53 -
4.2.1. Nastavení stabilizace HC3-sX.....	- 53 -
4.2.2. Letové parametry	- 55 -

4.2.3. Nastavení autopilota WooKong-H	- 58 -
4.3. ZÁLET CENTURYHELI RADIKAL G30 V2	- 62 -
4.3.1. Záběh spalovacího motoru a údržba	- 62 -
4.3.2. Letové parametry	- 64 -
5 ZÁVĚR	- 66 -
POUŽITÁ LITERATURA A SEZNAM PŘÍLOH	- 68 -
POUŽITÁ LITERATURA:	- 68 -
SEZNAM PŘÍLOH:	- 70 -

Úvod

Cílem této diplomové práce je realizace projektu Sledovací bezpilotní prostředek. Tato práce navazuje na bakalářskou práci, jejímž účelem bylo seznámení s dálkově řízenými modely a analýza možných řešení. Tento projekt je financován z grantu ČVUT a v rámci zpracování diplomové práce je rozdělen do dvou částí.

V současné době máme k dispozici tři vrtulníky. Vrtulník AlignT-Rex 500 a LaHeli 700 s elektrickým pohonem a Century Radikal se spalovacím pohonem. Diplomová práce se bude zabývat drakovou konstrukcí a avionikou těchto vrtulníků včetně systému autopilota a obousměrného přenosu informací o letu mezi bezpilotním prostředkem a pozemním stanovištěm.

Dále je nutné zajistit přenos obrazu a vyřešit připevnění kamery. Pro zobrazování obrazu byly zvoleny video brýle se systémem zaznamenávání polohy a možností natáčení kamery v závislosti na pohybu hlavy pilota, popřípadě je možnost využití monitoru a statické upevnění kamery na vrtulníku

Vzhledem k různému využití vrtulníků máme k dispozici elektrický a spalovací pohon, kde každý má své výhody i nevýhody. Dále bude navrženo využití jednotlivých vrtulníků, tak aby co nejlépe splňovaly podmínky pro dané lety.

Spalovací vrtulník je značně modifikován od původního stavu z důvodu zvýšení letového času. Jedná se o zcela novou palivovou soustavu a prodloužení ocasní části z důvodů použití delších listů hlavního rotoru. Zcela nová je kabina vrtulníku vyrobená z kompozitních materiálů a její vývoj a výroba představovala největší časovou zátěž.

Autopilotní systém byl značně přepracován a byla pořízena modernější verze stabilizace vrtulníku, která zajišťuje bezproblémové řízení vrtulníku včetně funkce držení pozice pomocí kompasu a GPS navigace.

Nejnáročnější částí je zálet a seřízení vrtulníku, který si vyžádal několik letových dní, vzhledem ke složitosti autopilotního systému a různému nastavení pro jednotlivé vrtulníky.

Dále je důležité zmínit, že zde uvedené draky vrtulníků včetně pohonů jsou velmi nebezpečná zařízení, která mohou snadno způsobit smrtelná zranění. Nejedná se v žádném případě o hračky a je k tomu tak potřeba přistupovat. Z tohoto důvodu je potřebné se nejdříve dokonale seznámit s jednotlivými systémy avioniky a pilotáží.

1 Využití bezpilotního prostředku

Hlavní využití bezpilotního sledovacího prostředku je pořizování videozáznamu. Bepilotní prostředek tedy vrtulník, bude možno vybavit infračervenou kamerou pro snímání teploty sledovaných objektů nebo kamerou pro noční vidění. Tyto videozáznamy bude možné archivovat pro další využití

Díky GPS navigaci a systému autopilota bude vrtulník schopen informovat pozemní personál o své okamžité poloze a bude schopen samostatného letu podle pokynů a nastavení autopilota. Na vrtulníku budou umístěny přídatné nosiče pro budoucí připevnění dalších vyměnitelných modulů (např. zařízení na měření emisí, dozimetr).

Jedno z hlavních využití bezpilotního prostředku je vizuální kontrola dopravních nebo i jiných staveb (mostní konstrukce, výškové budovy, atd.) v těžko přístupných místech. Vrtulníkem bude možné i kontrolovat ropovody nebo plynovody nebo sloupy a dráty vysokého napětí. Dále se dá využít ke zjišťování úniků nebezpečných látek ze skladovacích věží. Přínosem pro fakultu dopravní je nejen možnost kontroly dopravních staveb, ale i využití při mobilním sledování dopravy. Díky infračervené kameře bude možné sledovat teplotní zatížení okolí dopravních cest. Vrtulník bude možno ovládat z pohledu první osoby pomocí video-brýlí nebo vizuálně z pozemního stanoviště. Vzhledem k tomu, že každé využití má své aspekty, je třeba důkladně zvážit nasazení jednotlivých vrtulníků.

Náš první a zároveň nejmenší vrtulník Align T-rex 500 je určen pro krátké lety v omezeném prostoru a jeho hlavním účelem bylo testování autopilota. Primárně není určen pro přenos nákladu a je vybaven kamerou s nízkým rozlišením, což jej předurčuje pro další testování a úpravu autopilotních systémů. Vzhledem k elektrickému pohonu a malým rozměrům se jedná o spolehlivý vrtulník, který při případné nehodě nezpůsobuje mnoho škod na okolí.

LaHeli 700 je druhý pořízený stroj určený na přenos nákladu a pořizování videozáznamu. Je vhodný na krátké lety vzhledem k elektrickému pohonu a tím omezené kapacitě baterií a poskytuje možnost připevnění přídatných modulů a tím plnohodnotné využití pro již zmíněné sledovací účely. Jeho hlavní výhodou je relativně tichý let a ekologický provoz, čímž nezatěžuje okolí hlukem a výfukovými plyny. Poskytuje vysoké užitečné zatížení až 5 kg s letovým časem 6 minut a s běžnou

užitečnou zátěží 2 kg 15 minut. Podrobné informace včetně grafů budou uvedeny v sekci zalétávání.

Nejnovějším přírůstkem v naší flotile je Century Radikal vybavený spalovacím motorem Zenoah o objemu 29 cm³. Výhodou spalovacího motoru je možnost snadného zvýšení doletu přidáním palivových nádrží. Toto řešení je možné aplikovat i na elektrický pohon přidáním baterií, ale u spalovacího motoru dochází ke snižování hmotnosti vrtulníku vlivem spotřeby paliva a tím zvýšení doletu. Energie uložená v palivu je mnohem větší než energie v bateriích při stejné hmotnosti. Letový čas dosahuje výrazně vyšších hodnot než je tomu u LaHeli 700 a pohybuje se okolo 2 hodin bez užitečné zátěže. Tento vrtulník je možné nasadit pro delší lety a umožňuje užitečné zatížení až 5 kg. Nevýhodou tohoto vrtulníku jsou vyšší provozní náklady dány použitím spalovacího motoru, hlukové a emisní znečištění prostředí a tím negativní vliv zejména na lidský organismus. Tento vrtulník najde využití na misích vzdálenějších od obyvatelstva.

2 Konstrukce bezpilotního prostředku

Tato část bude pojednávat o konstrukci drakových části jednotlivých vrtulníků včetně avioniky.

2.1. T-Rex 500

Základní technické specifikace	
Průměr nosného rotoru	978 mm
Průměr vyrovnávacího rotoru	203 mm
Délka listů rotoru	425 mm
Délka	868 mm
Výška	275 mm
Základní prázdná hmotnost	1 210 g
Provozní hmotnost	2 551 g
Maximální vzletová hmotnost	4 000 g

Tabulka 1 Technické specifikace Align T-Rex 500

2.1.1. Draková konstrukce

Vrtulník představuje typ konstrukce Sikorsky, respektive hlavní nosný rotor a zadní vyrovnávací rotor.

Hlavní rotor představuje plnohodnotnou konstrukci Bell. V oblasti rc modelářství se jedná o bezpadlovou hlavu. Táhla z desky cyklinky jsou přímo spojena s unašeči hlavních rotorových listů, což zajišťuje přímou a rychlou odezvu na řízení. Ovšem nevýhoda spočívá v nemožnosti tlumení rázů při větru a vlastní korekcí polohy. Tím je tento typ konstrukce velmi citlivý na řízení. Tato konstrukce je stále častější a oblíbenější, neboť značně zjednodušuje celou konstrukci rotorové hlavy a s postupným

vývojem tří osé stabilizace již není problém se stabilizací a nadměrnou přecitlivělostí řízení. U tohoto vrtulníku zajišťuje stabilizaci systém autopiloty.

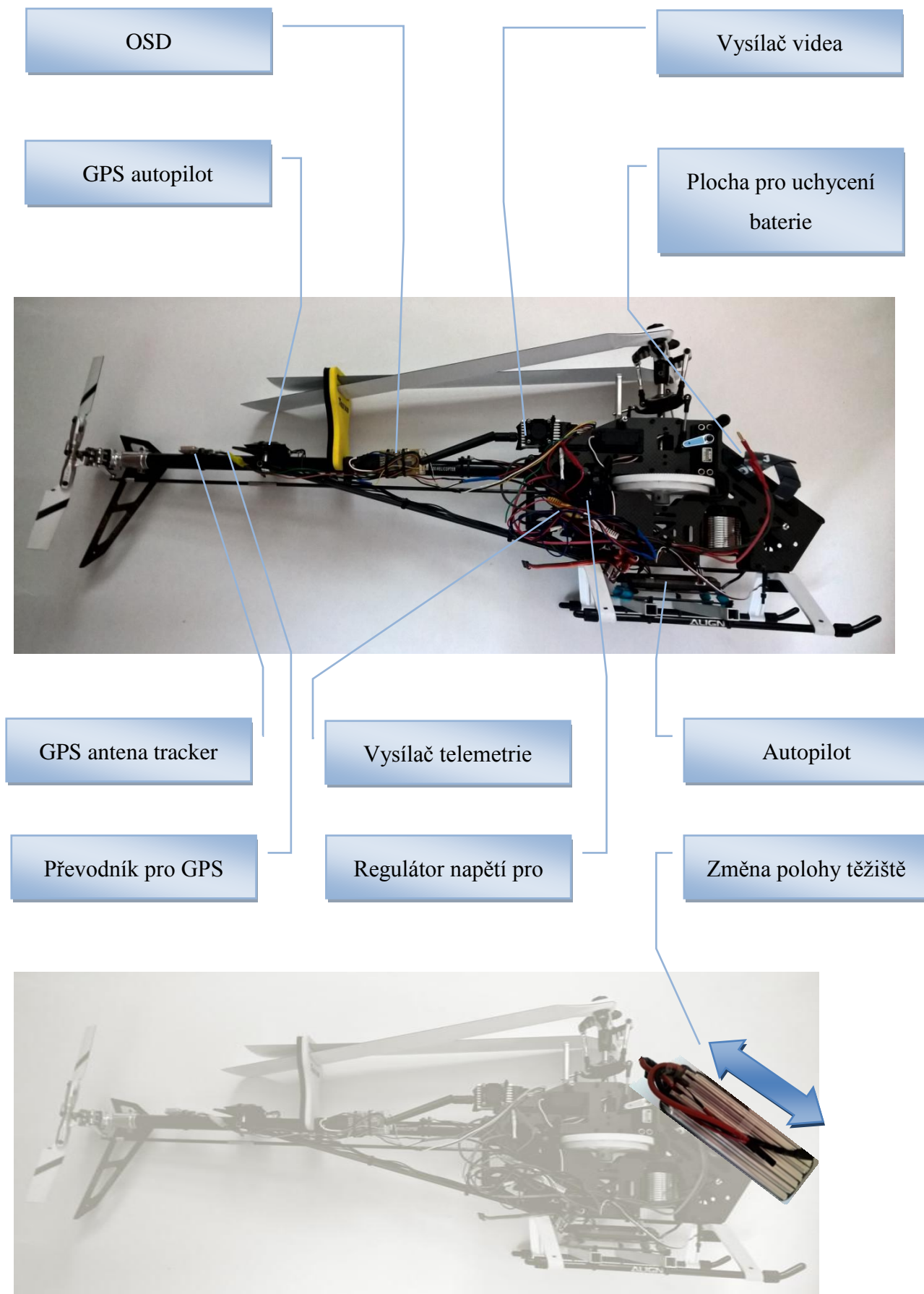
Mechanika cyklického řízení je typu CyclicCollectivePitchMixing, kde se deska cyklicky posouvá po rotorovém hřídeli, to znamená, že je možné ovládat kolektivní řízení. Při posouvání desky cyklicky po rotorovém hřídeli se mění úhly nastavení listů rotoru stejně. To znamená, že je zachováno cyklické natáčení listů pro daný směr letu a navíc se k nim přičte požadovaný úhel. Tím je zajištěno stoupání a klesání vrtulníku a otáčky motoru zůstávají konstantní. Výhodou je výborná odezva na změnu polohy kniplu na vysílači a možnost dosáhnout záporných úhlů, důležitých pro autorotaci a let na zádech.

Pohon zadního vyrovnávacího rotoru je řešen napojením na hlavní pohonný motor pomocí převodů. Vedení pohonné síly v ocasní trubce je zajištěno pomocí hřídele, který vyvolává mnohem menší vibrace než řemenový převod.

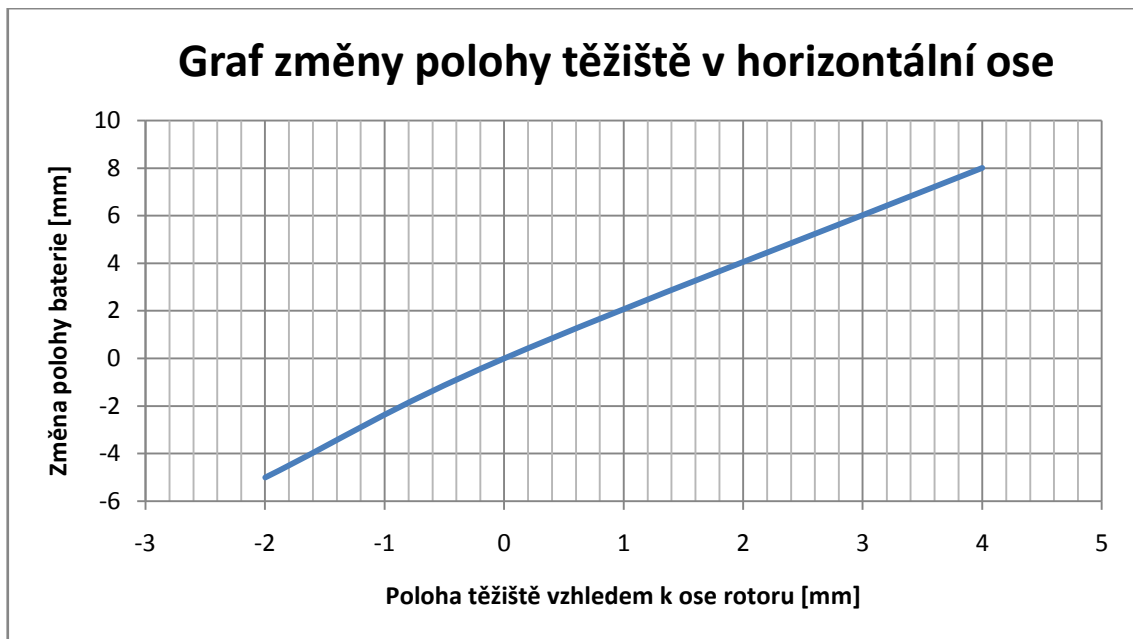
Umístění pohonné baterie (782 g) má zásadní vliv na vyvážení vrtulníku, jelikož se jedná o nejhmotnější samostatný díl. Pro tento účel je uzpůsobena přední část draku, kde se nachází přepážka oddělující pohonný motor a baterii. Tato přepážka je do konstrukce umístěná pod úhlem 45°. Baterie jsou položeny na tuto přepážku a pomocí její polohy baterie lze měnit těžiště.

Vyvážení vrtulníku je velice důležité pro letové vlastnosti a stabilitu letu a visu. Pokud budeme vyžadovat akrobatický let, je potřebné umístit těžiště přesně pod osu rotoru a co nejbližší k rotorové hlavě. Z tohoto důvodu se baterie posouvá po přepážce blíže k ose rotoru. Pro běžný neakrobatický let je vhodné umístit těžiště co nejdále od rotorové hlavy ve svislém směru a mírně jej předsunout před osu rotoru ve směru přímého letu. V tom případě baterie posouváme níže po přepážce.

Baterie je k přepážce přichycena pomocí suchého zipu a dodatečně zajištěna proti pohybu pomocí zipové stahovací pásky, aby nemohlo dojít k jejímu oddělení od přepážky. Při uchycení baterie je potřeba zajistit kabely proti pohybu, aby nedošlo k jejich vniknutí do pohyblivých částí konstrukce s následkem poškození až havárie vrtulníku. Kabely jsou vybaveny hlavními napájecími konektory do regulátoru a přídatnými na napájení systému přenosu videa. Proto je potřeba dbát zvýšené pozornosti při zajišťování kabelů proti pohybu.



Obrázek 2 Popis vrtulníku a změna polohy těžiště



Graf 1 Změna polohy těžiště v horizontální ose Align T-Rex 500

Graf znázorňuje změnu polohy těžiště vrtulníku, při pohybu baterie po přední přepážce. Nulová poloha baterie je vyznačena ryskou na baterii a přepážce. Ideální pohyb těžiště je 0-4mm vzhledem k ose rotoru. Graf je platný pro Align T-Rex 500 osazený kabinou.

Je nutné si uvědomit, že každá změna upevnění systémů avioniky způsobí změnu vyváženosti a bude nutné vytvořit nový graf těžiště. Údaje byly zjištěny experimentálně pomocí posunu baterie a zjištění pohybu těžiště v horizontálním směru. Zvláště nebezpečné je těžiště za osou rotoru, což zvyšuje statickou nestabilitu vrtulníku podle úhlu náběhu a tím i možnost vzniku aerodynamického vzepětí při prudších pohybech kniplotem na vysílači. Při aerodynamickém vzepětí dochází k intenzivnímu samovolnému růstu úhlu podélného sklonu. Pokud pilot přitahuje kniplot na vysílači, zvětšuje se úhel náběhu nosného rotoru a vrtulník zakřivuje svojí dráhu letu nahoru. Při prudkém přitažení se rychle zvětšuje přetížení. Úhel náběhu nosného rotoru se mění od určité výchozí záporné hodnoty do určité kladné, přitom se mění režim obtékání rotoru z vrtulníkového na vírníkový a tím se zmenšuje potřebný výkon. Nerovnoměrnost aerodynamických sil na listech hlavního rotoru se projeví značnými vibracemi a vzniká přídavný klopivý moment těžký na ocas, který pomáhá samovolnému zakřívování dráhy nahoru. Odtržení proudu a tím i přídavný klopivý moment je největší, jestliže pilot má kniplot na vysílači na předním dorazu. To lze popsat jako celkovou ztrátu efektivnosti podélného řízení. Při nízkých výškách tak může dojít ke kontaktu s terénem.

2.1.2. Elektrická pohonná soustava

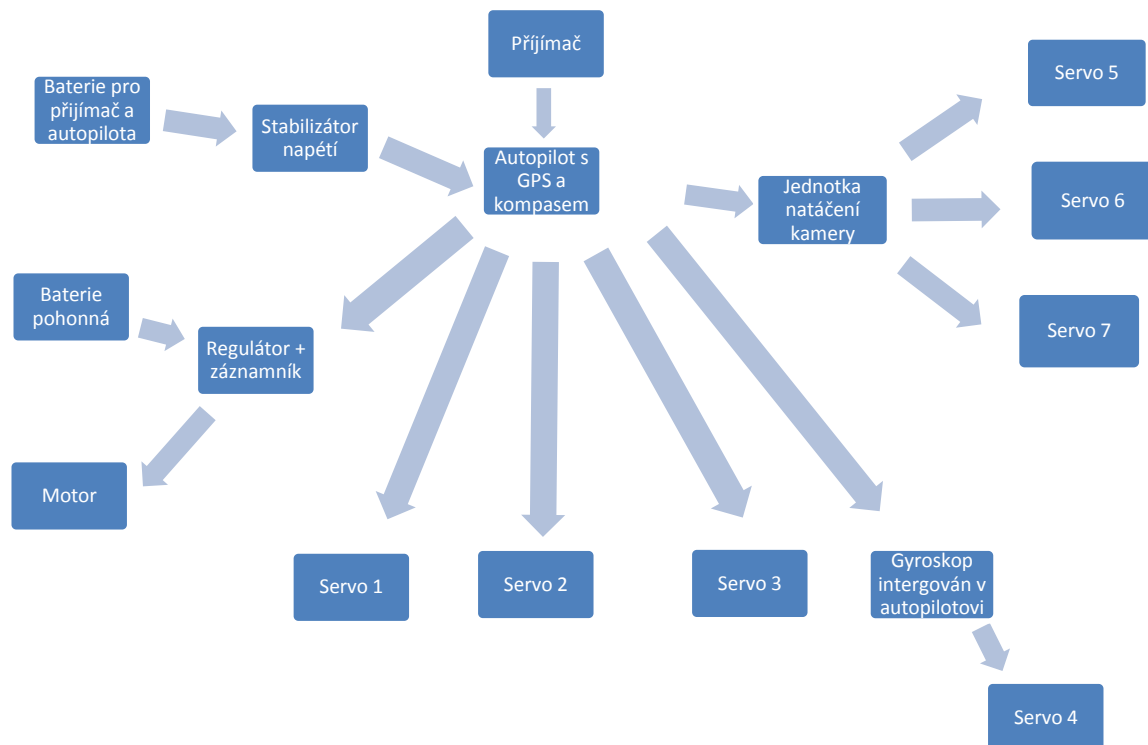
Vrtulník je osazen elektrickým pohonem s možností regulace otáček a funkcí governoru. Baterie je šestičlánková lithium polymerová se jmenovitým napětím 22,2 V. Regulátor otáček je používán dvojího typu, buď výrobcem vrtulníku dodávaný RCE-BL70G Brushless ESC, nebo Kontronik Jive 120+ HV. První jmenovaný je vyhrazen pro používání pro režim bez funkce governoru vzhledem k jeho nekvalitní stabilizaci otáček projevující se nízkofrekvenčním kmitáním kolem svislé osy, druhý pro režim s governorem. Motor je bezuhlíkový Align500MX s dlouhodobým výkonem 1600 W.

2.1.3. Systém autopilota

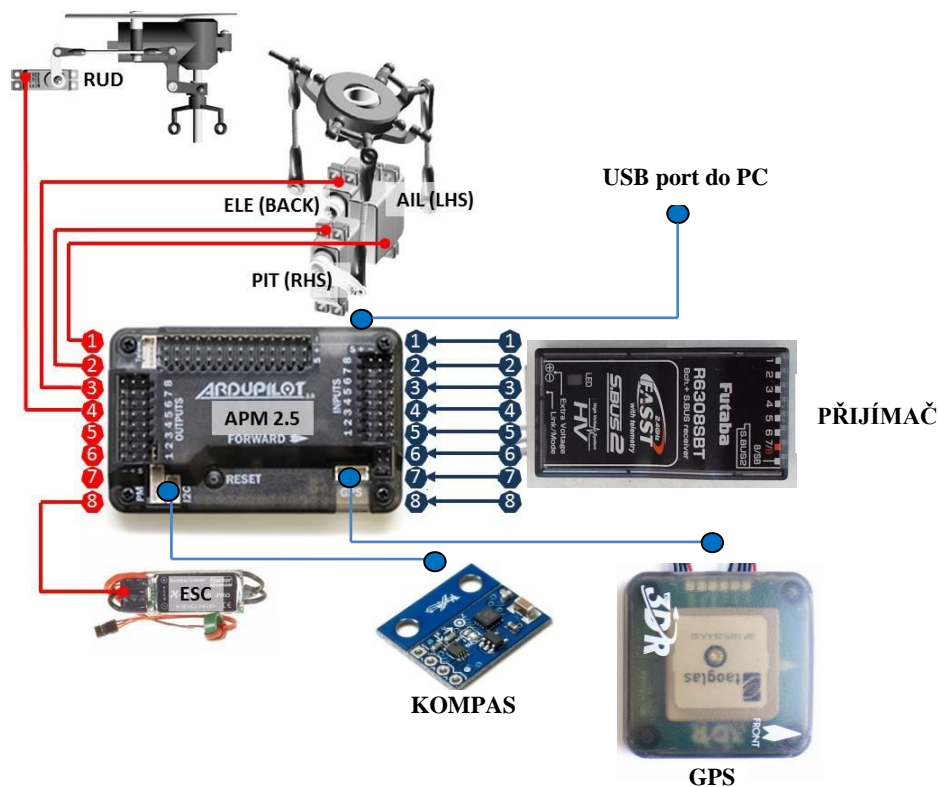
Tento vrtulník slouží pro testování systému autopilota a v současné době je vybaven nejrozsáhlejší funkcí autopilota z vrtulníků naší flotily. Systém využívá autopilotního systému 3DR APM AUTOPILOT dodatečně vybavení GPS přijímačem a kompasem. Tento systém poskytuje možnost automatického letu po souřadnicích vložených do programu v počítači a během letu je možné tyto souřadnice libovolně měnit.

2.1.4. Blokové schéma elektrického zapojení

Zobrazuje schematické propojení jednotlivých elektronických komponent, tak jak jsou instalovány na vrtulníku.



Obrázek 3 Blokové schéma elektrického zapojení



Obrázek 2 Reálné schéma zapojení systému autopilota

Tento systém autopilota nepodporuje sběrnici FutabaS.BUS a proto je nutné propojení každého portu mezi řídicí jednotkou autopilota a přijímače.

2.1.5. Nastavení rc vysílače



Obrázek 5 Popis funkcí na vysílači

Vysílač byl dodán v rozložení kniplů v módu 2, levý knipl souží pro kolektiv a zatačení a pravý pro klopení a klonění. Jelikož se jednalo o nestandardní rozložení pro pilotování vrtulníku, změnil jsem hardwarově i softwarově vysílač na mód 3. Tento mód je nejpoužívanější pro vrtulníky. Na levém kniplu při pohybu dopředu a dozadu se řídí klopení a při pohybu doprava a doleva se řídí klonění. Pravý knipl při pohybu dopředu a dozadu řídí kolektiv a případně i otáčky. Pohybem doprava a doleva se řídí zatačení.

Přepínač otáček motoru slouží k nastavení otáček v různých režimech letu. První poloha- přepínač dopředu je motor vypnul a plyn je 0%. Druhá poloha- přepínač uprostřed je plyn na 50%. Tyto otáčky slouží pro režim visu a letu bez užitečné zátěže a měli by být běžně využívány. Třetí poloha- přepínač dozadu je plyn na 80%. Slouží pro let s vysokou užitečnou zátěží nebo pro akrobatický let.

Potenciometr na ladění otáček je nastaven, tak aby umožňoval jemné ladění otáček během letu. Přepínačem otáček motoru se nastaví základní otáčky motoru pro daný režim a tímto potenciometrem je možné otáčky upravit až o $\pm 20\%$. Toto nastavení se odvíjí od potřeb letových vlastností.

Programovací otočné tlačítko slouží pro kompletní nastavení vysílače a běžně bude využito pouze pro volbu konkrétního vrtulníku z naší flotily.

Přepínač letových režimů slouží pro nastavení základních funkcí autopilota. První poloha- přepínač dopředu je aktivovaný pouze režim stabilizace vrtulníku. Nedochozí k automatickému udržování výšky a polohy pomocí GPS. Druhá poloha- přepínač uprostřed je zajištěna stabilizace a automatické udržování výšky ± 2 m v závislosti na kvalitě příjmu GPS signálu. Třetí poloha- přepínač dozadu je aktivované automatické držení výšky ± 2 m a horizontální polohy ± 4 m v závislosti na kvalitě příjmu GPS signálu.

Spínač autorotace slouží pro změnu nastavení průběhu úhlu nastavení listů hlavního rotoru v závislosti na poloze kniplu. V tomto režimu je dosaženo tahového záporného úhlu nastavení, aby nápor vzduchu při klesání co nejefektivněji roztácel rotor. Aktivace se provádí spínačem- poloha dozadu. Motor je v době aktivace odpojen.

Toto nastavení je pouze pro Align T-rex 500, další vrtulníky budou mít jiné rozvržení ovládání vzhledem k různým použitým stabilizačním a autopilotním systémům.

2.2. LaHeli 700

Základní technické specifikace	
Průměr nosného rotoru	1 580 mm
Průměr vyrovnávacího rotoru	250 mm
Délka listů rotoru	710 mm
Délka	1 320 mm
Výška	420 mm
Základní prázdná hmotnost	1 800 g
Provozní hmotnost	5 572 g
Maximální vzletová hmotnost	14 000 g

Tabulka 2 Technické specifikace LaHeli 700

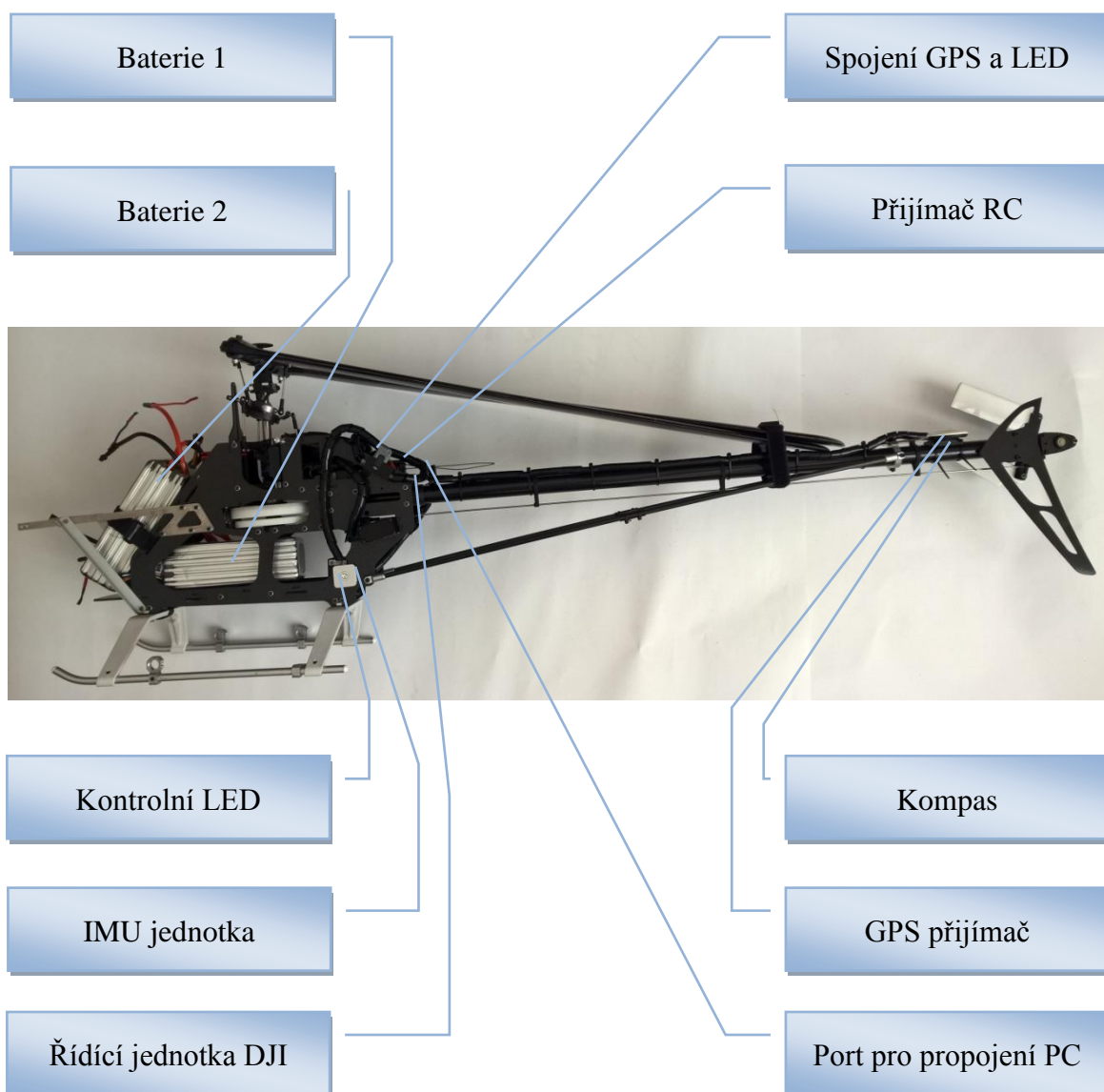
2.2.1. Draková konstrukce

Typ rotorové hlavy a desky cyklického řízení je stejný jako u Align T-Rex 500. Jedná se také o mechaniku typu Bell, která využívá desku cyklického řízení CCPM pro tři serva. Deska cyklického řízení je rozvržena na 120°. Čtvrté servo pro zadní vyrovnávací rotor je umístěno v bočnici. Přenos sil od serv je zajištěn výhradně táhly. Hlavní hřídel má průměr 10 mm a je dostačující pro akrobacii. Drak vrtulníku se vyznačuje nebývale vysokou tuhostí konstrukce v porovnání s ostatními konkurenčními vrtulníky. Tato přednost je dána použitím 2,5mm silného uhlíkového kompozitu na bočnice draku, které jsou spojeny frézovanými duralovými rozpěrami. Zvláštní pozornost byla věnována vývoji uložení motoru, jehož hřídel má podpěru proti prohnutí při přenosech velkých krouticích momentů. Na což navazuje šikmé ozubení zajišťující plynulejší přenos sil. Bočné síly se přes toto kolo přesouvají do předdimenzovaného ložiskového uložení, které kompenzuje vzniklé axiální síly. Pro případ autorotace je hlavní ozubené kolo vybaveno jednosměrným válečkovým ložiskem, které v případě výpadku motoru umožní volné otáčení obou rotorů. Pod hlavním ozubeným kolem se

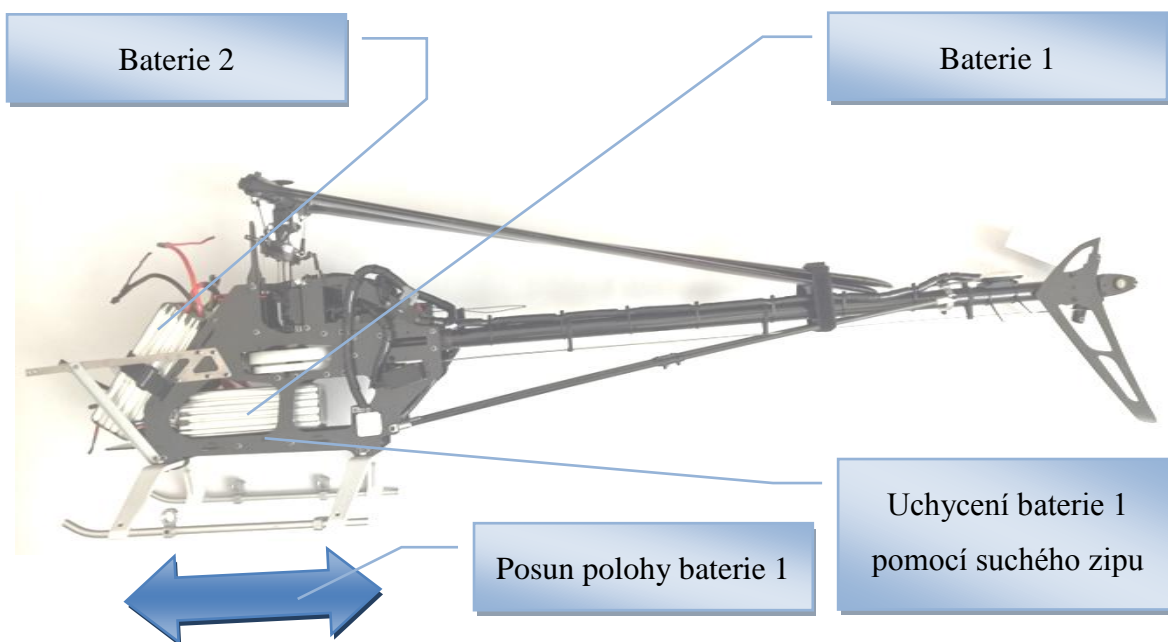
nachází ozubené kolo pro vyrovnávací rotor, které je napevno spojeno s hlavní hřídelí a přes pomocné ozubené kolo pohání zadní vyrovnávací rotor.

Náhon zadního vyrovnávacího rotoru je také řešen pomocí hřídele. Při této velikosti vrtulníku je již patrný posun těžiště směrem dozadu oproti použití řemene a je potřebné dbát správného vyvážení.

Vyvažování vrtulníku bude zajištěno dvěma bateriemi, každá o hmotnosti 782 g. první baterie bude umístěna na šikmé přepážce u motoru a druhá uvnitř drakové části. Hlavní vyvažování bude zajištěno baterií uvnitř drakové části. Posunem vpřed a vzad se bude regulovat těžiště, které se bude nacházet mírně před osou rotoru a přesné umístění bude voleno dle požadovaných letových vlastností.

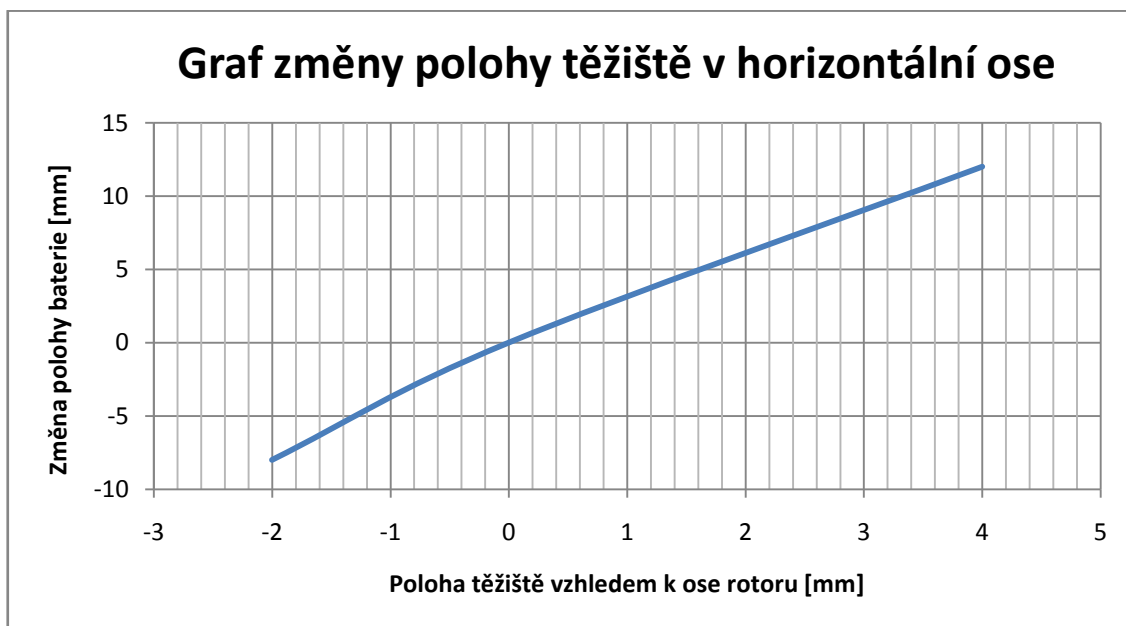


Obrázek 6 Popis vrtulníku LaHeli 700



Obrázek 7 Změna polohy těžiště

Těžiště vrtulníku může být měněno pouze posunem baterie 1. Tato baterie je položena na suchém zipu, po kterém se může posouvat dopředu a dozadu. Poloha je dodatečně pojištěna zipovou stahovací páskou proti pohybu.



Graf 2 Změna polohy těžiště v horizontální ose LaHeli 700

Graf znázorňuje změnu polohy těžiště vrtulníku, při pohybu baterie po spodní přepážce. Nulová poloha baterie je vyznačena ryskou na baterii a přepážce. Ideální pohyb těžiště je 0-4mm vzhledem k ose rotoru. Graf je platný pro LaHeli 700 bez osazení kabinou. Jakákoliv změna v umístění jednotlivých prvků avioniky způsobí změnu těžiště a dále nutnost vytvořit nový graf a centráž.

2.2.2. Elektrická pohonná soustava

Vrtulník je osazen elektrickým pohonem s možností regulace otáček a funkcí governoru. Baterie je šestičlánková lithium polymerová se jmenovitým napětím 22,2 V. K letu jsou zapotřebí dvě baterie současně a sériově zapojené. Regulátor otáček je použit Kontronik Jive 120+ HV s maximální vstupním napětím 50V a maximálním proudem 120A. Tento regulátor otáček je v současnosti tím nejlepším na trhu pro naše účely a vyniká hlavně precizní stabilizací otáček i při vysoce proměnlivé zátěži motoru. Pohonný motor byl zvolen značně předimenzovaný KontronikPyro 700. Opět patří k tomu nejlepšímu na trhu a jeho maximální krátkodobý výkon 5000 W/1s poskytuje dostatečný výkon i při krizových situacích. Jedná se o koncepci rotujícího pláště pro vysoké krouticí momenty s 12 póly s optimalizovaným chlazením, ve spojení s výkonným radiálním ventilátorem umožňuje speciální vinutí odolnost až do 300 °C a trvalý výkon až 3000 W.

2.2.3. Systém autopilota

Tento vrtulník je vybaven nejpokročilejším systémem stabilizace, která je v současnosti dostupná. Jedná se o výrobek DJI WooKong-H, který zajišťuje velmi přesnou stabilizaci jak horizontálně tak vertikálně. Celý systém se sestává z řídicí jednotky, jednotky akcelerometrů, a GPS přijímače.

Tento systém je určen pro vrtulníky s pohonem elektromotorem, spalovacím nebo turbínovým motorem, s dvou-nebo třílistým nosným rotorem, s rotorovou hlavou se stabilizátorem Bell-Hiller nebo Bell a se všemi typy desky cyklyky, pro akrobatické 3D i maketové létání. Vzhledem k malým rozměrům a nízké hmotnosti je možné jej použít dokonce i pro malé vrtulníky. V případě potřeby může být tento systém instalován do všech tří vrtulníků v naší flotile. Hlavní předností je pokročilý software řídicí jednotky a samostatná inerciální jednotka s tříosými akcelerometry a barometrickým výškoměrem.

Dle zvoleného letového režimu může vrtulník létat v plně ručním řízení, kdy se chová jako klasický vrtulník nebo ve dvou režimech s automatickou stabilizací. S automatickou gyroskopickou stabilizací polohy nebo s automatickou gyroskopickou a GPS stabilizací polohy. Režimy s automatickou stabilizací jsou výborné pro jednodušší pilotování vrtulníků a pilot se může více soustředit na misi.

Hlavní částí systému WooKong-H je řídicí jednotka MC přímo napojená na přijímač RC soupravy a IMU jednotka, která poskytuje data o poloze vrtulníku, výšce a směru letu. Obsahuje tříosý gyroskop a akcelerometr a integrovaný barometrický výškoměr, na modelu upevňuje se na místo normálního gyroskopu. Jednotka externího GPS modulu se upevňuje na ocasní nosník a poskytuje zeměpisné souřadnice, které zajistí udržení polohy vrtulníku i při větru. Na základě těchto dat potom řídicí jednotka vydává povely pro serva cyklického řízení, vyrovnávacího rotoru, regulátoru otáček nebo serva plynu spalovacího motoru. Řídicí jednotka může být připojena na magnetický snímač otáček spalovacího motoru, může tak využívat režim governoru, který udržuje konstantní otáčky motoru.

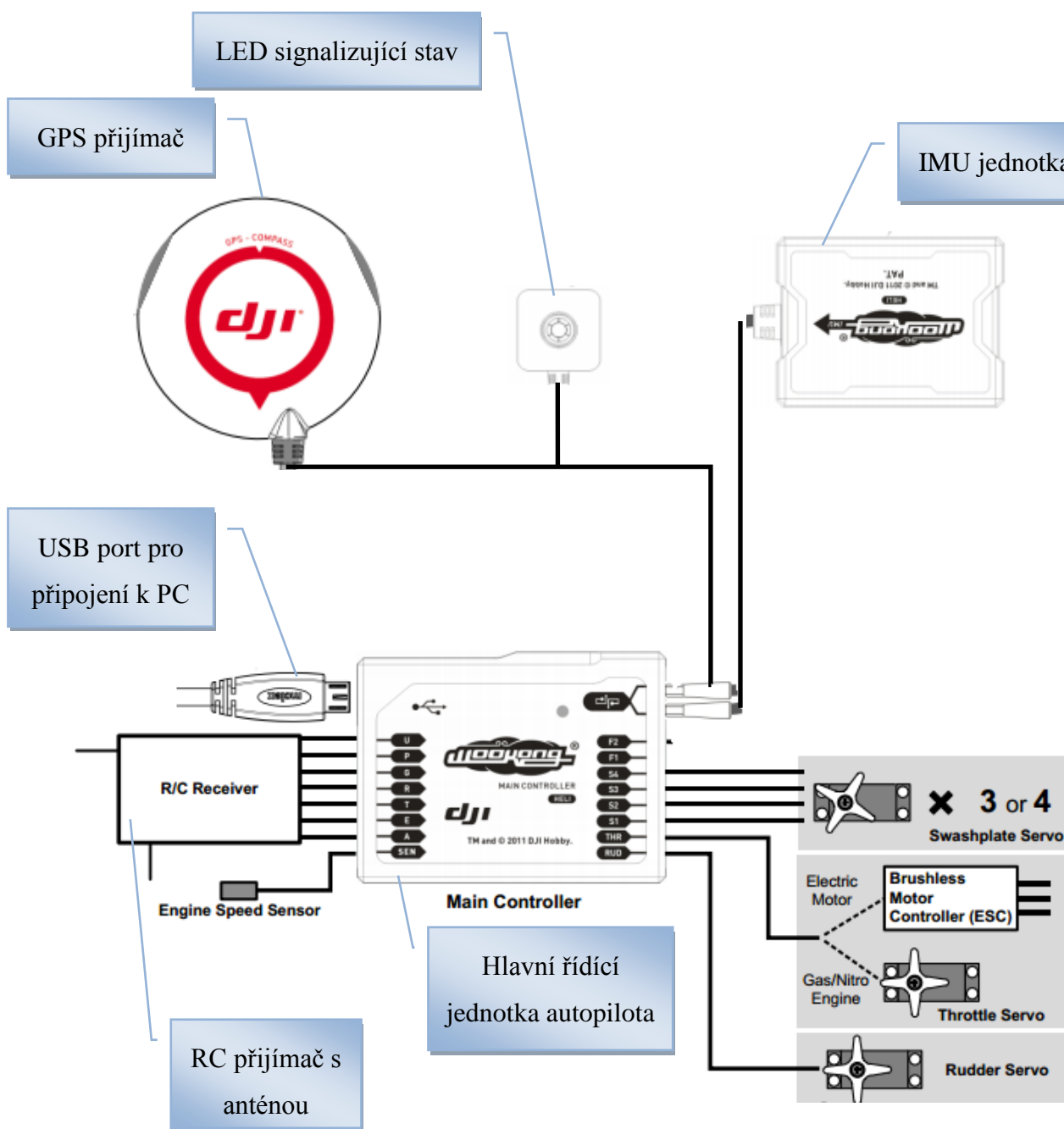
System také může přijímat povely řízení ze všech běžných RC souprav s různým kódováním a frekvencemi 35MHz, 2,4GHz, FM/PCM. RC souprava musí mít nejméně šest kanálů pro ovládání základních funkcí, jako jsou klonění, klopení, zatáčení, plyn, kolektiv a nejméně jeden další kanál s třípolohovým přepínačem pro přepínání letových režimů. Tyto parametry náš vysílač Futaba T-12FG bez problému splňuje. Dále je tento systém stabilizace naprosto nenáročný na softwarové vybavení vysílače, používá se program pro vrtulníky se zvolenou základní mechanikou s mechanickým mixováním a je potřeba pouze funkce nastavení smyslu a velikosti výchylek. Vše ostatní se nastavuje v řídicí jednotce a veškeré nastavování se provádí s pomocí komfortního obslužného programu pro PC. Řídicí jednotka je opatřena Micro-USB portem pro komunikaci s PC pro nastavování řídicí jednotky nebo aktualizaci firmwaru.

Technické specifikace DJI WooKong-H	
Napájení	4,8-8,4 V (2S LiPo., 4-5čl. NiCd/NiMH)
Proudový odběr:	max. 0,9 A při 5 V
Provozní teplota	-5°C až +60°C
Hmotnost celková	140 g
Podporované typy rotorových hlav	Bell-Hiller nebo Bell
Podporované typy desky cyklicky	H1 (Normal), CCPM 120°, 140°, 90°
Vertikální přesnost visení	+/- 0,5 m

Horizontální přesnost visení	+/- 1,0 m
Odolnost vůči větru	méně než 8 m/s
Max. rychlost vpřed/vzad	+/- 72 km/h
Max. rychlost vlevo/vpravo	+/- 56,7 km/h

Tabulka 3 Technické specifikace DJI WooKong-H Zdroj: [4]

2.2.4. Schéma elektrického zapojení autopilota



Obrázek 8 Schéma elektrického zapojení DJI WooKong-H

Poznámky k zapojení:

DJI WooKong-H nepodporuje sběrnici FutabaS.BUS a proto je nutné propojení každého portu mezi řídicí jednotkou autopilota a přijímače. Vrtulník LaHeli 700 má desku cyklického řízení typu 120° CCPM a proto budou pro ovládání cyklického řízení použita tři serva. Pohon vrtulníku je elektrický a regulace otáček motoru bude zajištěna pouze elektronicky pomocí governoru implementovaném do elektronického regulátoru otáček a tím není zapotřebí servo ovládání škrťací klapky spalovacího motoru.

USB port je určen pro nahrávání novějšího firmwaru, kalibraci, nastavení parametrů a testování funkčnosti.

Systém autopilota je možné napájet z elektronického regulátoru otáček, který má implementován převodník napětí. Do obvodu autopilota je dodáváno 6V z pohonných baterií s maximálním napětí 50V. Dále je možné využít externího napájení celé avioniky, přes systém autopilota. Nejvhodnější je volba baterie s napětím 7,4V, na které jsou konstruována serva a poskytují lepší výkonnostní parametry, zejména rychlost a krouticí moment. Vzhledem k nárůstu hmotnosti vrtulníku s přídatnými bateriemi, nebude tato možnost využívána. Regulátor Kontronik Jive 120+ HV má dostatečně dimenzovaný stabilizátor napětí i pro vysokovýkonná digitální serva, která jsou osazena v LaHeli 700. Špičkově mohou být hodnoty proudu až 15A, dlouhodobě 5A.

Propojení jednotlivých částí autopilota je zajištěno sběrnici CAN-Bus se čtyř pinovými konektory. Jednotka GPS a LED mají společný konektor.

Natáčení kamery bude zajištěno napojením serv natáčení přímo do přijímače anebo přes stabilizační jednotku. Natáčení kamery bude zajištěno dvěma nebo třemi servy v závislosti na potřebě natáčení v jednotlivých osách. V současnosti projekt počítá pouze s natáčením kamery ve dvou osách, z pohledu řízení vrtulníku se jedná o osy klopení a zatačení.

V budoucnu se předpokládá vydání nového firmware, kterým by bylo možno zajistit zobrazování letových parametrů získaným autopilotem do obrazu videa, podle něhož pilot pilotuje vrtulník. V současné době DJI neumožňuje napojení systému On-Screen-Display na řídicí jednotku autopilota. Z tohoto důvodu je nutné osazení vrtulníku další akcelerometrickou jednotkou a přijímačem GPS signálu. Což zvyšuje hmotnost a nespolehlivost systému.

2.2.5. Nastavení rc vysílače

Rozmístění ovládaných funkcí na vysílači pro LaHeli 700 bude totožné s nastavením pro Align T-Rex 500. Tato výhoda je dána podobnou funkcí autopilotních systémů. Oba dva systémy poskytují tři režimy autopilota, které jsou funkcemi naprosto identické pouze DJI je přesnější v držení stanovených souřadnic.

Pro úplnost dodávám, že tento systém autopilota umožňuje nastavování citlivosti gyroskopu ve svislé ose respektive v ose zatáčení. Toto nastavení umožňuje dva režimy. První slouží pro nastavení a vyladění výchylky ocasního rotoru a je nevhodný pro let, jelikož nedokáže kompenzovat rychlé změny krouticího momentu motoru a je náchylnější na vliv větru. Pro tento případ se ve vysílači musí nastavovat kompenzace výchylky ocasního rotoru na kniplu kolektivu/plynu. Tento režim je již zastaralý a běžně se nevyužívá. Druhý režim opravuje nevýhody prvního a je nazýván jako Head-Lock. Kromě nastavování těchto režimů je potřeba správně zvolit citlivost jednotlivých režimů do hodnoty, kde ocasní rotor nebude vykazovat vibrace a bude mít ideální odezvu na řízení. Vysílač je nastaven na režim Head-Lock a danou citlivost, tato funkce nebude běžně ovládána a slouží hlavně pro zálet vrtulníku.

Nastavení se provádí při visu vrtulníku v první režimu gyroskopu, kde se nastaví požadovaná neutrální poloha pomocí trimu ve vysílači. Vrtulník musí držet polohu ocasní části, respektive nesmí zatáčet a není možná kompenzace zatáčení pomocí kniplu. Současně s trimem je potřeba kontrolovat citlivost ocasní části, jestliže se projevují vibrace, musíme snížit hodnotu citlivosti, aby bylo dosaženo správného nastavení trimu. Pokud je tato část splněna, vrtulník samovolně nezatáčí a ocasní část nevibruje, přepneme na režim Head-Lock. V tomto režimu již nenastavujeme trim, ale pouze citlivost. Začínáme na nižších hodnotách a postupně zvyšujeme, až do okamžiku kdy ocasní část bude mít požadovanou odezvu na řízení, ovšem nesní docházet k vibracím, které by měly negativní vliv na avioniku a konstrukci. Toto nastavení je potřebné provést vždy po mechanickém zásahu do ocasní části vrtulníku nebo do táhel ovládání úhlu náběhu listů ocasního rotoru. Zejména je nutností provést toto nastavení po pádu nebo větším nárazu, kde může dojít k ovlivnění mechanického propojení serva a ovládání úhlu náběhu listů ocasního rotoru.

2.3. CenturyHeliRadikal G30 V2

Základní technické specifikace	
Průměr nosného rotoru	1 580 mm
Průměr vyrovnávacího rotoru	282 mm
Délka listů rotoru	710 mm
Délka	1 397 mm
Výška	432 mm
Základní prázdná hmotnost	2 500 g
Provozní hmotnost (bez paliva)	5 600 g
Maximální vzletová hmotnost	14 000 g

Tabulka 4 Technické specifikace CenturyHeliRadikal G30 V2

Jedná se o poslední přírůstek do naší flotily vrtulníků. Tento vrtulník se odlišuje hlavně použitým pohonem. Záměrem bylo postavit vrtulník, který bude schopen dlouhých letů z hlediska letového času. Proto je tento stroj vybaven spalovacím pohonem. Pro naše účely však neexistuje na trhu vrtulník, který by splňoval naše požadavky, a proto bude konstrukce tohoto vrtulníku upravena. Základní modifikace spočívá ve zvýšení objemu palivových nádrží. Do vrtulníku budou integrovány dvě přídavné nádrže. Vzhledem k nárůstu objemu draku vzhledem k přídavným nádržím je stávající kabina nevyhovující a bude navržena a postavená nová, která bude pokrývat celý vrtulník. Další modifikací je použití delších rotorových listů pro zvýšení nosnosti, která si vyžádá prodloužení ocasní části draku vrtulníku.

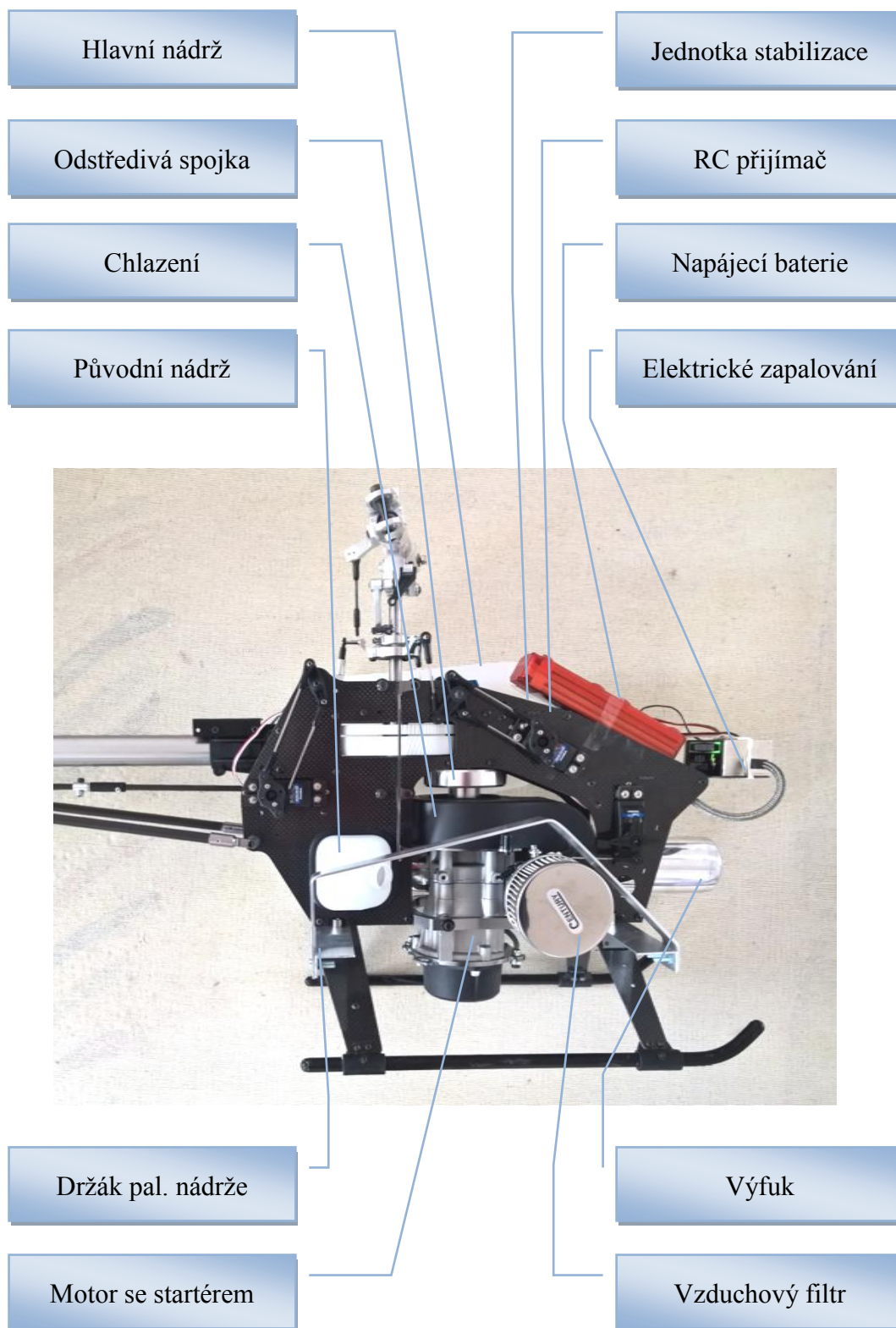
Tento vrtulník se tak stává největší v naší flotile, i když patří do stejné vrtulníkové třídy jako LaHeli 700. Jednotlivé modifikace budou dále podrobně popsány. Zejména to bude návrh nové palivové soustavy včetně upevnění přídavných nádrží a výroba kompozitového trupu vrtulníku, která bude časově velmi náročná.

2.3.1. Draková konstrukce

Typ rotorové hlavy a desky cyklického řízení je stejný jako u Align T-Rex 500 a LaHeli 700. Jedná se také o mechaniku typu Bell, která využívá desku cyklického řízení CCPM pro tři serva. Deska cyklického řízení je rozvržena na 120°. Čtvrté servo pro zadní vyrovnávací rotor je umístěno v bočnici. Přenos sil od serv je zajištěn výhradně táhly a v tomto případě pomocí přepákování. Nepojení serv na desku cyklického řízení není přímý, důvodem je zástavba spalovacího motoru do konstrukce draku. Motor je umístěn z důvodu jeho hmotnosti mírně vpřed pod osou rotoru. Z důvodu velikosti motoru již nebylo možné umístit serva cyklického řízení přímo pod desku cyklického řízení a proto se nacházejí v bočnici, odkud jsou systémem táhel a přepákování připojena na rotorovou hlavu. Hlavní hřídel má stejně jako LaHeli 700 průměr 10 mm a je dostačující pro akrobacii. Na drak vrtulníku byl použit uhlíkový kompozit a dural. Vzhledem k použití spalovacího motoru je nutností zvýšit počet duralových dílů hlavně v oblasti motoru a jeho uchycení do draku. Drak je robustní nicméně větší použití duralových dílů se negativně projevilo na hmotnosti. Přenos výkonu z motoru na hlavní rotorový hřídel je řešen přes odstředivou spojku, na níž navazuje pastorek se šikmým ozubením zajišťující plynulejší přenos sil na hlavní rotorové kolo. Bočné síly se přes toto kolo přesouvají do předdimenzovaného ložiskového uložení, které kompenzuje vzniklé axiální síly. Pro případ autorotace je také hlavní ozubené kolo vybaveno jednosměrným válečkovým ložiskem, které v případě výpadku motoru umožní volné otáčení obou rotorů. Pod hlavním ozubeným kolem se nachází ozubené kolo pro vyrovnávací rotor, které je napevno spojeno s hlavní hřídelí a přes pomocné ozubené kolo pohání zadní vyrovnávací rotor. Náhon zadního vyrovnávacího rotoru je také řešen pomocí hřídele.

Vyvažování bude u tohoto vrtulníku problematické. Největší samostatnou zátěž představují palivové nádže jejichž hmotnost se bude měnit vlivem ubývajícího paliva, pro je potřebné nádže umístnit co nejvíce pod rotorovou hlavu. To vzhledem ke konstrukci nebylo dokonale možné a proto je nutné počítat s mírným rozvážením během letu. Původní palivová nádrž má objem 300ml a je umístěna za osou rotoru vzhledem k malému objemu nepředstavuje vysoké rozvážení. Dvě přídatné palivové nádže mají objem 1500ml každá a při nesprávné zástavbě do draku mohou během letu způsobit větší nevyvážení vrtulníku. Základní nastavení těžiště bude zajištěno velice omezeným pohybem přídatných palivových nádrží a posunem baterií pro napájení avioniky. Pokud

by toto dovážení nebylo dostatečné bude nutné zajistit správné nastavení těžiště přídatnou zátěží, která se ovšem negativně projeví na hmotnosti. Vše bude záviset na použité výstroji vrtulníku, uvedme například typy kamer, počet přídatných baterií, použitým systémem přenosu videa a systémem charakteristické pro danou misi.



Obrázek 9 Popis vrtulníku LaHeli 700

2.3.2. Spalovací pohonná soustava

Základem spalovací pohonné soustavy je spalovací motor a palivové nádrže. Nedílnou součástí spalovacího motoru je sání, výfuk a řídicí jednotka zapalování. V tomto případě by použit dvoutaktní pístový motor s elektronickým ovládním zapalování. Jednotka zapalování pracuje s napětím 6-7,4V a spotřeba je 300-400mAh. Vzhledem k napájení zapalování z baterie je hmotnost motoru nižší a systém je spolehlivější než magnetické zapalování. Motor má vyšší výkon a je také pružnější. Motor je vybaven dvouvstříkovým karburátorem Walbro a startování je možné pomocí tahového startéru nebo z externí startovací jednotky. Dalším předností tohoto motoru je použití nikl-křemík-karbidové povrchové úpravy na válec motoru.

Technické specifikace motoru	
Typ paliva	benzin/olej
Počet válců	1
Objem motoru	28,5cm ³
Typ karburátoru	Walbro 990H
Typ pístu	s pístním kroužkem
Poměr paliva - benzin/olej	32:1
Oktanové číslo benzínu	87 - 95
Rozpětí otáček	1 500 – 15 000RPM
Závit na klikovém hřídeli	M8 x 1,25
Zdvih	28mm
Vrtání	36mm
Hmotnost	1150g

Tabulka 5 Technické specifikace spalovacího motoru

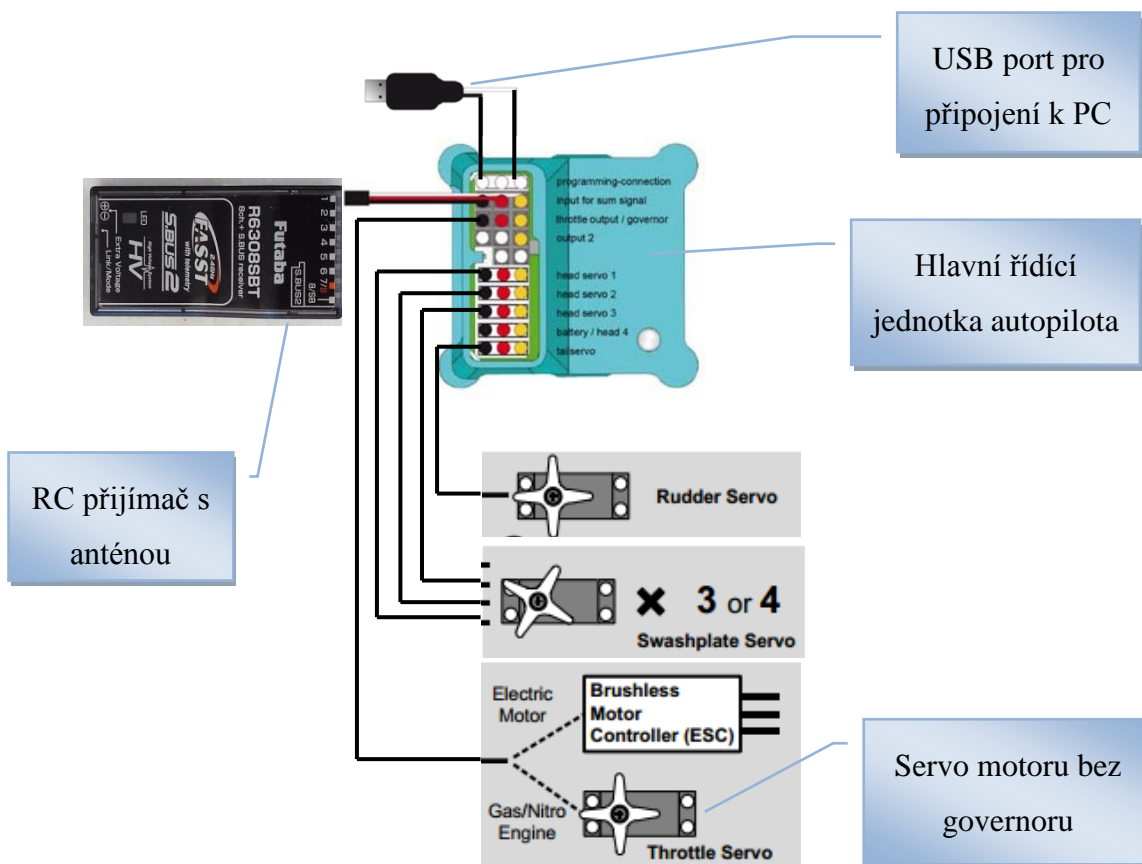
2.3.3. Systém autopilota

Systém autopilota nasazený v CenturyHeliRadikal G30 V2 byl původně používán v LaHeli 700, kde byl nahrazen systémem DJI. Jedná se o Robbe HC3-sX, který se jako stabilizační systém osvědčil, a proto byl instalován do našeho největšího vrtulníku. Systém od DJI je pokrokovější a nabízí stabilizaci pomocí GPS a byl určen na odzkoušení v LaHeli 700. Robbe HC3-sX byl navržen jako základní stabilizace pro vrtulníky s rotorovou hlavou typu Bell a dodatečně umožňuje stabilizování vrtulníku do polohy visu v případě ztráty kontroly nad řízením vrtulníku. Pokud pilot provádí manévry, při kterém udělá chybu, pomocí přepínače na vysílači aktivuje režim stabilizace a vrtulník se stabilizuje v poloze visu. Nebo je možné u tohoto systému autopilota využít režim, který bude stabilizovat vrtulník na daném místě. Pomocí akcelerometrů, které indikují zrychlení, je systém schopen držet polohu vrtulníku i při náporech větru. Ovladatelnost vrtulníku v tomto režimu je nižší, což je z důvodu nižší reakce na knipl řízení. V hodnotě tohoto režimu je zejména u maket a neakrobatického létání. Pilot velice zjednodušené ovládání a může věnovat více pozornosti jiným činnostem. Nevýhoda tohoto systému je absence GPS přijímače, a není možné zajistit udržení polohy na zeměpisných souřadnicích. Tato nevýhoda se projevuje zejména při stálém větru, kde akcelerometry neměří žádné zrychlení a vrtulník je unášen konstantní rychlostí. Je potřebné si uvědomit, že tento systém autopilota je určen pouze jako podpora při pilotování. V našem případě budeme používat režim stabilizace na daném místě, vzhledem k použití vrtulníku jako sledovacího prostředku. Z vysílače je dále možné ovládat citlivost ocasního rotoru a rotorové hlavy a přepínat jejich režimy.

Technické specifikace HC3-sX	
Napájení	4 - 10V
Max. rotace při klonění a klopení	500°.s ⁻¹
Max. rotace při zatáčení	650°.s ⁻¹
Max. odběr proudu serv	10A
Hmotnost	18g

Tabulka 6 Technické specifikace stabilizace HC3-sX Zdroj: [26]

2.3.4. Schéma elektrického zapojení autopilota



Obrázek 10 Schéma elektrického zapojení stabilizace HC3-sX

Poznámky k elektrickému zapojení:

Robbe HC3-sX podporuje sběrnici FutabaS.BUS a proto není nutné propojení každého portu mezi řídicí jednotkou autopilota a přijímače. Na propojení postačí jeden tří-žilový kabel. Vrtulník CenturyHeliRadikal G30 V2 má desku cyklického řízení typu 120° CCPM a proto budou pro ovládání cyklického řízení použita tři serva. Pohon vrtulníku je spalovací a regulace otáček bude zajištěna pomocí serva ovládající škrtecí klapku. Nevýhodou použitého systému autopilota je absence governoru. Tento problém se do budoucna může vyřešit systémem DJI instalovaným momentálně v LaHeli 700, který tuto funkci obsahuje, anebo dokoupením externího governoru, jehož úkolem je snímání otáček motoru a přímá vazba na servo škrtecí klapky. Governor tak při změně se zátěží motoru, udržuje jeho konstantní otáčky. V současné době není využit systém governoru a regulace otáček bude zajištěna nakřivkováním průběhu plynu v závislosti na poloze kniplu přímo ve vysílači.

USB port je určen pro nahrávání novějšího firmwaru, kalibraci, nastavení parametrů a testování funkčnosti.

Vzhledem k použitému pohonu není vrtulník vybaven pohonnými bateriemi a je třeba jiného zdroje napětí pro avioniku. Vrtulník je vybaven přijímačovými bateriemi, které dodávají elektrickou energii celé avionice včetně zapalování motoru. Tyto baterie jsou typu lithium-polymerové s napětím 7,4V. Vrtulník je osazen vysokonapěťovými servy, která pracují s napětím 7,4V, a proto nebude potřeba použití stabilizátoru napětí na standardních 6V. Dalším bonusem jsou lepší výkonové parametry serv při vyšším napětí.

U tohoto vrtulníku není instalované pohyblivé natáčení kamery a ani se do budoucna nepředpokládá. Vzhledem k umístění kamery do kabiny vrtulníku, je přední část trupu průhledná.

2.3.5. Nastavení rc vysílače

Rozmístění ovládaných funkcí na vysílači pro CenturyHeliRadikal G30 V2 bude odlišné s nastavení pro LaHeli 700 a Align T-Rex 500. Jelikož tento systém nemá nastavení držení polohy podle GPS souřadnic, neposkytuje nastavení tří režimů letu-normální, stabilizace výšky a stabilizace horizontální polohy a výšky.

Rozvržení smyslu ovládání vrtulníku kniply zůstalo zachováno. Na levém kniplu při pohybu dopředu a dozadu se řídí klopení a při pohybu doprava a doleva se řídí klonění. Pravý knipl při pohybu dopředu a dozadu řídí kolektiv a případně i otáčky. Pohybem doprava a doleva se řídí zatačení.

Vzhledem k absenci governoru odpadá nastavení otáček motoru podle volby pilota za letu. Nebude možné nastavení režimu tří otáček včetně jemného doladění pomocí potenciometru. Tento fakt se nepříznivě projeví při letech s různou zátěží a při odlehčování vrtulníku se spotřebovávajícím se palivem. Otáčky nebudou odpovídat dané letové konfiguraci, což zapříčiní nízké nebo vysoké otáčky rotoru. A tím snížení ovladatelnosti a nosnosti nebo naopak vysokou spotřebou paliva. Jestliže se létá bez režimu governoru, je potřeba ve vysílači nastavit průběh kniplu kolektivu/plynu na servu škrticí klapky motoru. Při posunu kniplu dopředu se zvýší kolektiv o tím zatížení motoru a je potřeba více otevřít škrticí klapku motoru pro udržení otáček motoru. Tuto funkci zajišťuje křivkování plynu ve vysílači. Při konstantní hmotnosti vrtulníku není

problém tuto funkci odladit a nastavit několik letových režimů s různými křivkami. V našem případě je obtížné toto provést, a proto není možné ideální nastavení pro všechny mise vrtulníku. Nicméně ve vysílači jsou nastaveny tři režimy letu s různými křivkovaním plynu. Těto funkci bude vyhrazen přepínač, který u předešlých dvou vrtulníků ovládá otáčky motoru. Přepínač dopředu- nastavení plynu pro lehkou zátěž a vis. Přepínač uprostřed- nastavení plynu pro vyšší zátěž. Přepínač dozadu- nastavení plynu pro vysokou zátěž. Toto nastavení je individuální a bude odpovídat vždy daným podmínkám letu a pocitovému ovládnutí pilota. Ovšem i při tomto režimu nastavení není možné nahradit funkci governoru a otáčky motoru nebudou konstantní.

Pro úplnost opět dodávám, že tento systém autopilota umožňuje nastavování citlivosti gyroskopu ve svislé ose respektive v ose zatáčení a citlivosti rotorové hlavy ve zbylých dvou osách respektive v ose klonění a klopení.

Citlivost ve svislé ose umožňuje dva režimy, které jsou naprosto shodné s LaHeli 700. Vysílač je nastaven na režim Head-Lock a danou citlivost, tato funkce nebude běžně ovládána a slouží hlavně pro zálet vrtulníku.

Nastavení rotorové hlavy nabízí několik režimů. Dělí se na dva základní, kde první je určen pro akrobacii a nabízí možnost převzetí řízení elektronikou. Pilot se rozhodne stabilizovat vrtulník v horizontální poloze a sepne spínač na vysílači, tím dojde k aktivaci jedné ze dvou možností. Poloha je stabilizovaná jenom v horizontální rovině, anebo i vertikálně pomocí potlačení kolektivu. Druhý režim je určen pro makety a nabízí taktéž dvě možnosti. Vrtulník si zachovává svojí polohu pouze v horizontální rovině, anebo i vertikálně pomocí potlačení kolektivu.

Na tomto vrtulníku je nastaven druhý režim pomocí třípolohového přepínače. Poloha dopředu- vrtulník drží svou polohu pouze horizontální. K této poloze je opět přidělena citlivost, která pracuje odlišně, než u nastavení ocasního rotoru. Pomocí této hodnoty se ovládá, jaké bude mít vrtulník reakce na pohyb kniplů na vysílači. Hodnota 100% znamená vysokou úroveň stabilizace a velice nízké reakce na řízení. Pilot má dostatek času věnovat pozornost jiným úkolům. Naopak hodnota 0% znamená let bez podpory stabilizačního systému. Reakce jsou rychlé, ale pilot se musí plně věnovat řízení. Poloha uprostřed- stabilizace je vypnuta, let je jako s běžným vrtulníkem. Poloha dozadu- vrtulník drží horizontální polohu i výšku a nastavení citlivosti je obdobné jako u polohy přepínače dopředu.

Vrtulník je standardně využíván v poloze přepínače dozadu s nastavením citlivosti 100%. Změna nastavení citlivosti je možná v nastavení vysílače.

Nastavení vysílače a rozvržení jednotlivých funkcí na přepínačích je u CenturyHeliRadikal G30 V2 jiné než u Align T-Rex 500 a LaHeli 700 a je důležité si uvědomit, jak jednotlivé funkce pracují. Nastavení otáček pomocí křivkování na vysílači nikdy nenahradí kvalitní governor a hodnota 100% citlivosti v režimu stabilizace u Robbe HC3-sX nenahradí držení polohy od DJI pomocí GPS dat.

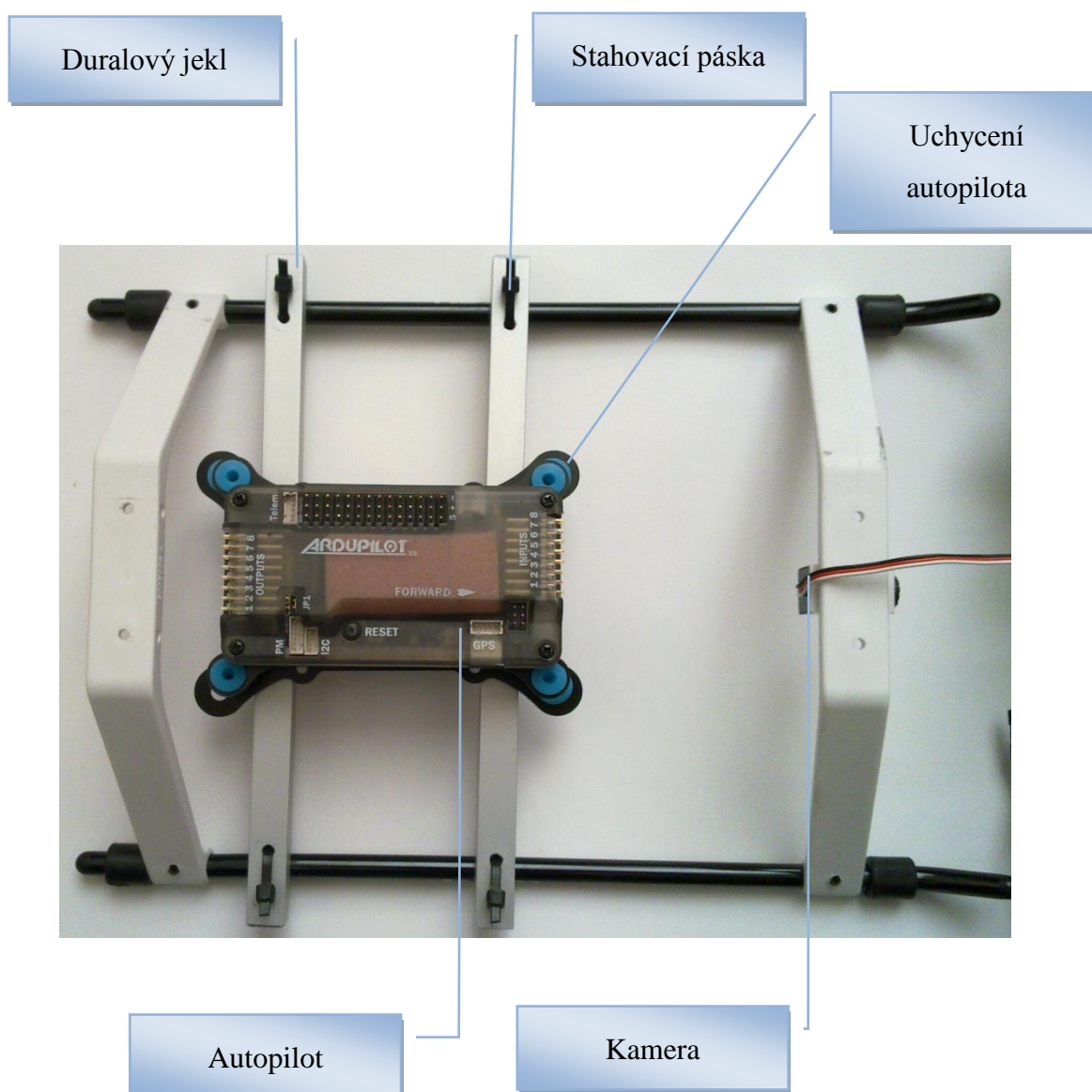
3 Modifikace konstrukcí bezpilotních prostředků

Tato část je věnována úpravám konstrukcí bezpilotních prostředků. Vzhledem k tomu, že původní účel vrtulníků neodpovídal nasazení jako sledovacího prostředku. Původní účel vrtulníků byl pouze pro modelářské létání.

Modifikace na sledovací prostředky si vyžádala instalaci autopilotních systémů, systémů přenosu videa a upevnění záznamového zařízení respektive kamery.

3.1. Modifikace Align T-rex 500

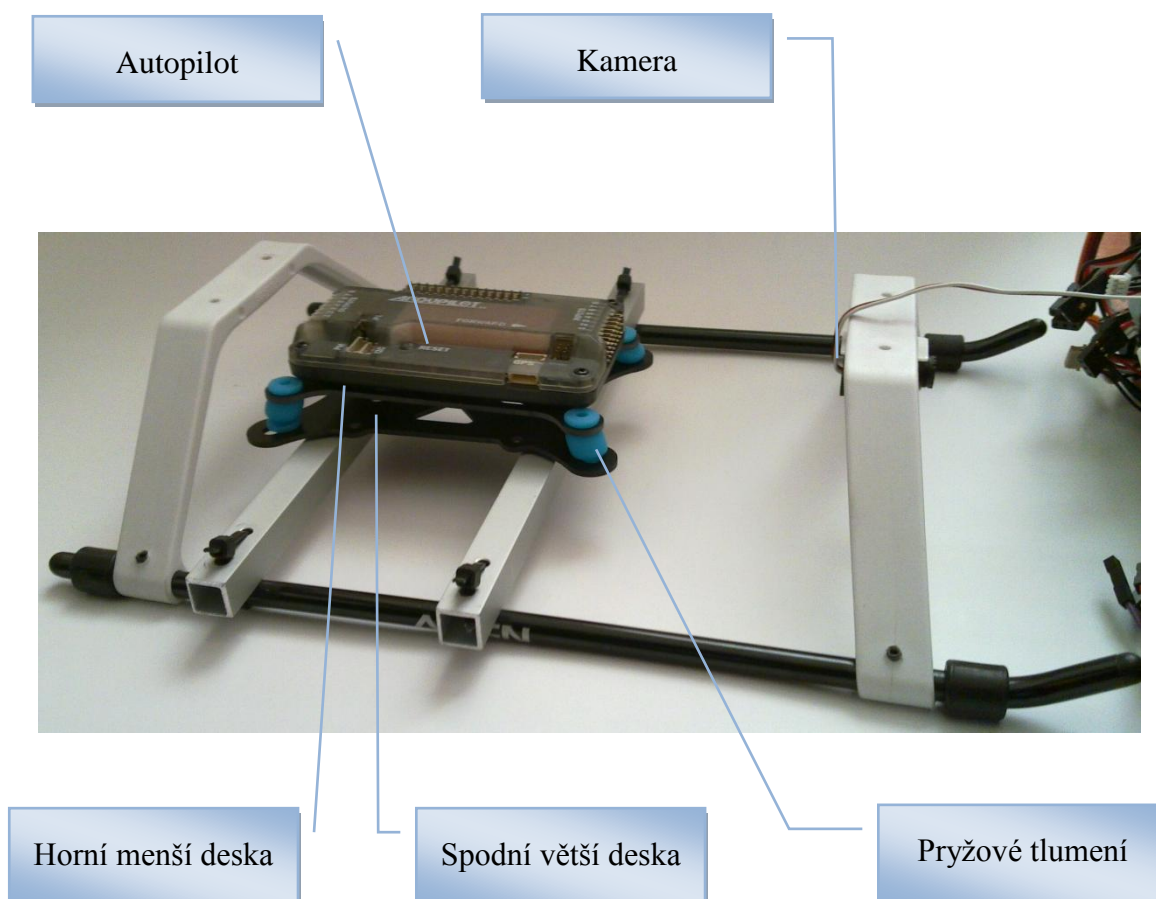
U toho vrtulníku muselo být vyvinuto upevnění autopilotního systému, který je obzvláště citlivý na vibrace. Nejnižší vibrace jsou v těžišti vrtulníku, které bývá pod osou rotoru nebo mírně před ní v okolí hlavního ozubeného kola. V tomto místě jsou minimální vibrace, ovšem je velmi obtížně do tohoto místa upevnit jakékoliv zařízení. Pokud bychom to chtěli uskutečnit, znamenalo by to zásah do celkové konstrukce a prakticky vývoj celého nového vrtulníku. Autopilotní systém byl umístěn ze zespoda na drakovou konstrukci pomocí oboustranných mechových lepících pásek, které měli odstínit vibrace, výsledky testů však dopadli neuspokojivě a bylo potřeba zvolit jiné místo. Vrtulník vykazoval nestabilní let s nepřesným držením polohy. Následovala volba jiného místa s přijatelnými vibracemi, které jsme navíc odstínili pomocí nově vyvinutého držáku. Jako ideální místo bylo zvoleno umístění pod osou rotoru v místě lyžin vrtulníku, které se po několika testech ukázalo jako nejvhodnější. Základní platformou by zvolen držák určený původně pro multikoptéry. Jedná se o dvě karbon-kompozitové desky o tloušťce 1mm tvaru obdélníku, které jsou spojeny čtyřmi pružnými pryžovými válečky v každém rohu. Propojení je zajištěno otvory v obou deskách. V desce, na které je umístěn autopilot, jsou otvory pro válečky blíže u sebe. Představíme-li si pomyslný obdélník jedné desce, kde v každém rohu tohoto obdélníku je otvor pro váleček, tak v druhé desce je tento obdélník větší. Válečky se tak nacházejí po úhlem 45° vůči deskám a jsou trvale pod napětím čím je dosaženo velice kvalitního odstínění vibrací. Tuto základovou platformu jsme připevnili pomocí oboustranných mechových pásek k duralovým profilům, které jsme připevnili stahovacími páskami k lyžinám do předem vyvrtaných otvorů. Vývoj, výroba a testování tohoto držáku si vyžádaly jeden den.



Obrázek 11 Popis nového držáku autopilota

Konstrukce platformy mezi kompozitovým tlumičem vibrací a lyžinami je realizována pomocí duralového jeklu s vnějšími rozměry 10x10mm. V místě lyžin byly vyvrtány otvory do duralového jeklu vedoucí celým profilem. Důvodem bylo následné provlečení stahovací pásky a připevnění k lyžinám. Tímto řešením došlo k omezení pohybu lyžin směrem od sebe a k sobě. Výhodou je zlepšení tuhosti a omezení zlomení podvozku při tvrdším přistání, ovšem celá energie při nárazu nebude ztlumena poškozením podvozku a přenesena do konstrukce vrtulníku, kde může dojít k poškození bočnic nebo přepážek.

U tohoto vrtulníku se jednalo o jediný zásah do konstrukce draku respektive lyžin. Další testování ukázalo, že tato modifikace byl úspěšná. Další úpravy zahrnovali osazení nadstandardní avioniky. Upevnění zdroje pro video systém, vysílače video, vysílače polohy vrtulníku pro natáčení pozemní antény, On-screen display, kamery a další drobné elektroniky bylo realizováno pomocí oboustranných lepicích pásek a stahovacích pásek. Nejcitlivějším prvkem avioniky je kamera, nebereme-li v úvahu autopilota. Kamera je zvláště citlivá na vysokofrekvenční vibrace, což je dáno principem snímkováním obrazu, kde jsou postupně snímkovány jednotlivé řádky a při vysokofrekvenčních vibracích dochází k vlnění obrazu. Kamera byla umístěna dopředu zespoda na drakovou konstrukci v místě upevnění lyžin, při testech obraz videa nevykazoval žádné vlnění.



Obrázek 12 Popis nového držáku autopilota

3.2. *Modifikace LaHeli 700*

Tento vrtulník podstoupil dvě úpravy konstrukce. První se týkala systému uchycení držáku kamery do konstrukce draku vrtulníku a druhá přemístění pohonných baterií a tím zásah do konstrukce draku.

Držák kamery je otočný ve dvou osách, kde otáčení zajišťují dvě serva. Tento držák je uchycen do draku pomocí čtyř duralových profilů, cílem bylo co nejvíce eliminovat přenos vibrací do kamery. Umístění držáku je v přední části vrtulníku před pohonnou baterií. Dalším možným řešením bylo umístit tento systém zespoda na drak pod osu rotoru, kde je menší výskyt vibrací. Od tohoto řešení však bylo upuštěno z důvodu nutnosti vývoje nového podvozku, který by zvětšil prostor pod vrtulníkem na upevnění držáku kamery. Dalším důvodem pak byla možnost snadného poškození kamery a systému natáčení při nárazu vrtulníku na zem.

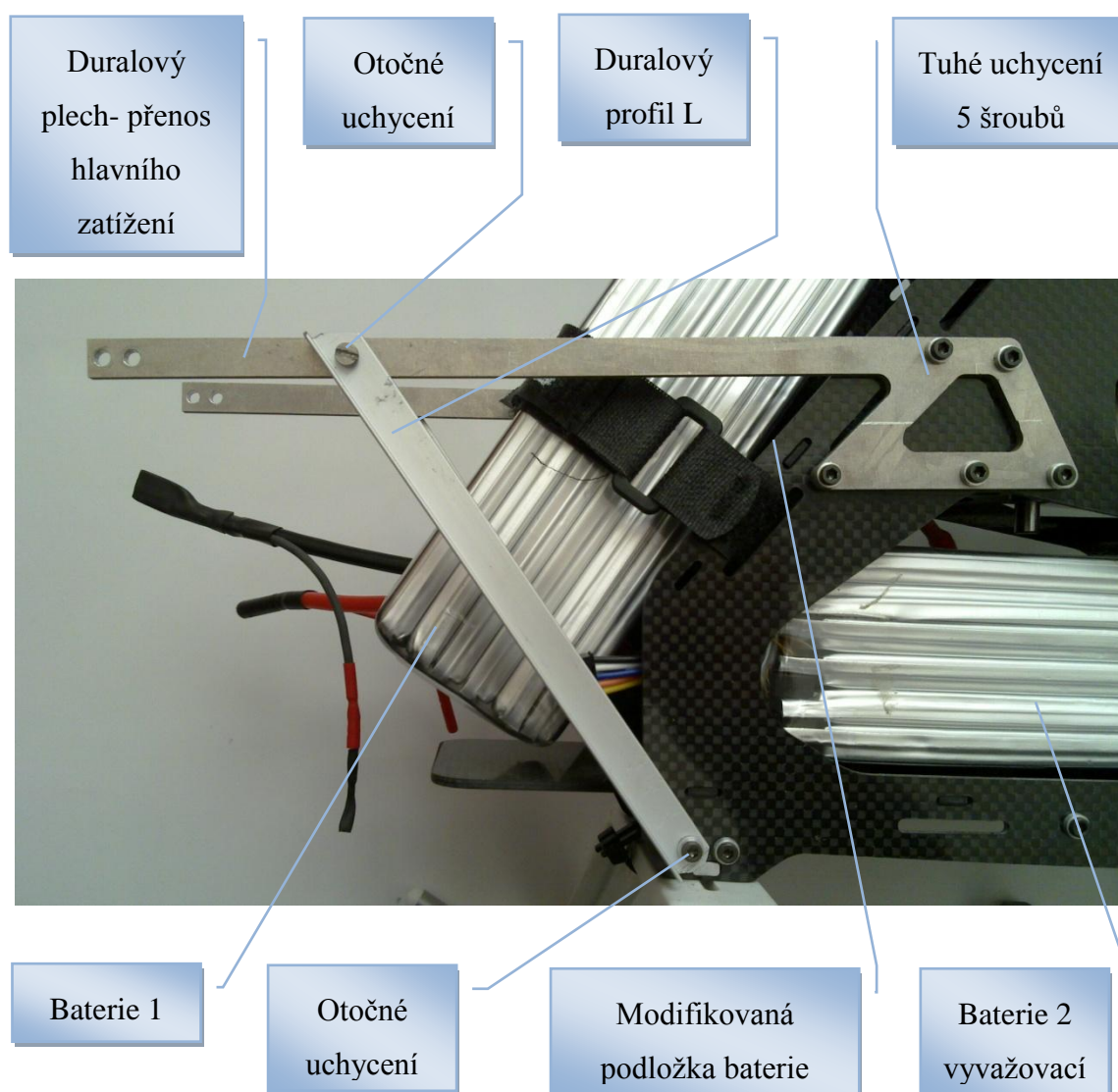
Upevnění kamery v přední části vrtulníku vyžadovalo pouze změnu uložení baterií, která byla technicky mnohem jednodušší. Navíc je zde větší ochrana při tvrdším přistání. Pro přichycení držáku natáčení kamery bylo zvoleno místo napojení bočnice do motorového lože a podpěry hřídele motoru. Tyto místa již byly opatřeny šroubovým spojem, a proto nebylo nutné vrtat další otvory a řezat závity.

Na propojení systému natáčení a draku vrtulníku byly zvoleny dva duralové pláty, které byly upraveny frézováním do požadovaných tvarů. Poté bylo potřeba přesně sejmout polohu otvorů na šrouby v motorovém lože a podpěry hřídele motoru. Tato operace se uskutečnila pomocí barevné pasty, která byla nanesena na hlavy šroubů, a poté na ně byl přiložen duralový plát. V místě barevných obtisků jsem pak vyvrtal otvory pro šrouby. Po překontrolování přesnosti otvorů, jsem pak vyvrtal díry i do druhého plátu, kde první plát sloužil jako šablona. Vzhledem k projevujícím se vibracím při testech a tím vlnění obrazu, byl držák upraven. Byly přidány další vzpěry a mezi uchycení kamery na systém natáčení byl instalován tlumící systém sestávající se ze dvou kompozitových desek stejného provedení jako v případě Align T-rex 500 na systém autopilota.

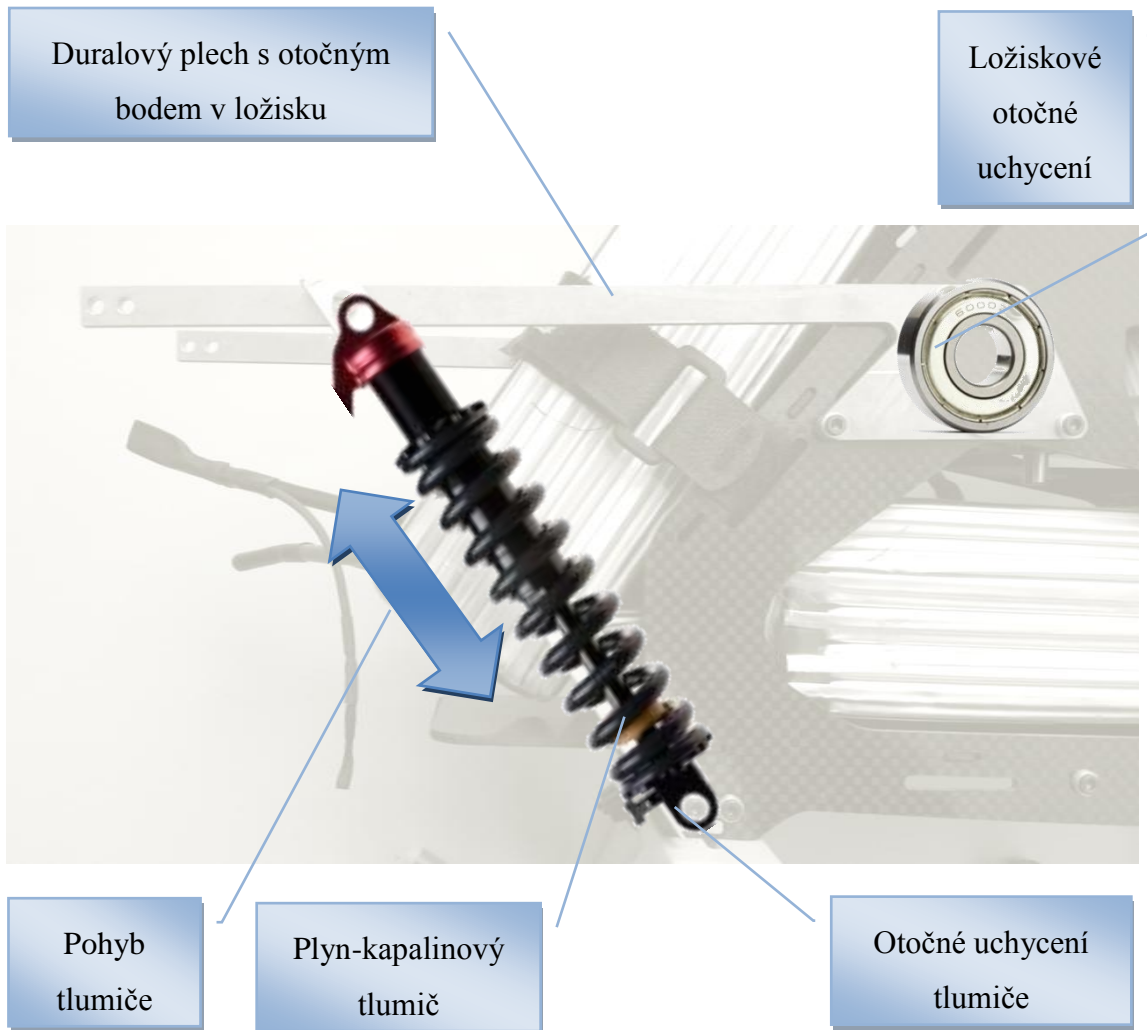
Tímto zásahem došlo k značnému rozvážení vrtulníku a nemožnosti umístit dvoje baterie do přední části vrtulníku, čehož jsem využil a umístil jednu z baterií do nevyužitého místa pod rotorovou hlavou. Druhá baterie si ponechala původní umístění v přední části vrtulníku. Protože bylo nutné baterii vkládat do drakové konstrukce,

musela být upravena přední přepážka z uhlíkového kompozitu, která byla jednoduše zkrácena, tak aby umožňovala pohodlné vložení baterie. Další instalování avionických systému proběhlo již bez nutnosti modifikace draku vrtulníku a proběhlo obdobně jako v případě Align T-rex 500.

Nové uchycení využívá tlumiče, pro eliminaci vibrací. Základem nového uchycení je otočný bod v místě napojení na drakovou konstrukci a volnost otáčení v ose klopení. Tlumiče jsou uchyceny mezi podélné výztuhy držáku kamery a přední uchycení podvozku.



Obrázek 13 Stávající uchycení držáku



Obrázek 14 Návrh nového uchycení držáku

Tento návrh využívá tvou tlumičů, jeden znázorněný na obrázku a druhý na opačné straně v zákrytu prvního tlumiče. Původní duralové vzpěry profilu L nejsou vyhovující z hlediska tlumení vibrací a proto jsou nahrazeny tlumiči. Pro nejlepší možný výsledek jsou použity plyn-kapalinové tlumiče, kde plyn a pružina má význam v absorbování energie a následné uvolně. Kapalina slouží k disipaci energie, při průchodu kataraktem v tlumiči, což jsou otvory v kruhové desce pístu, která je upevněna na pohyblivou výstupní tyč. Vzhledem k otočným bodům je umožněn pohyb ramene ve vertikální směru. Tím dochází k tlumení vysokofrekvenčních vibrací. Tento návrh je v praxi již vyzkoušen na jiných modelech vrtulníku. Kamera má zabudovaný stabilizátor obrazu a nízkofrekvenční vibrace nemají vliv na kvalitu obrazu. Pro maximalizaci tlumení vibrací bude mezi natáčecím držákem a kamerou umístěn stejný držák jako v případě uchycení autopilota na Align T-Rex 500.

3.3. Modifikace CenturyHeliRadikal G30 V2

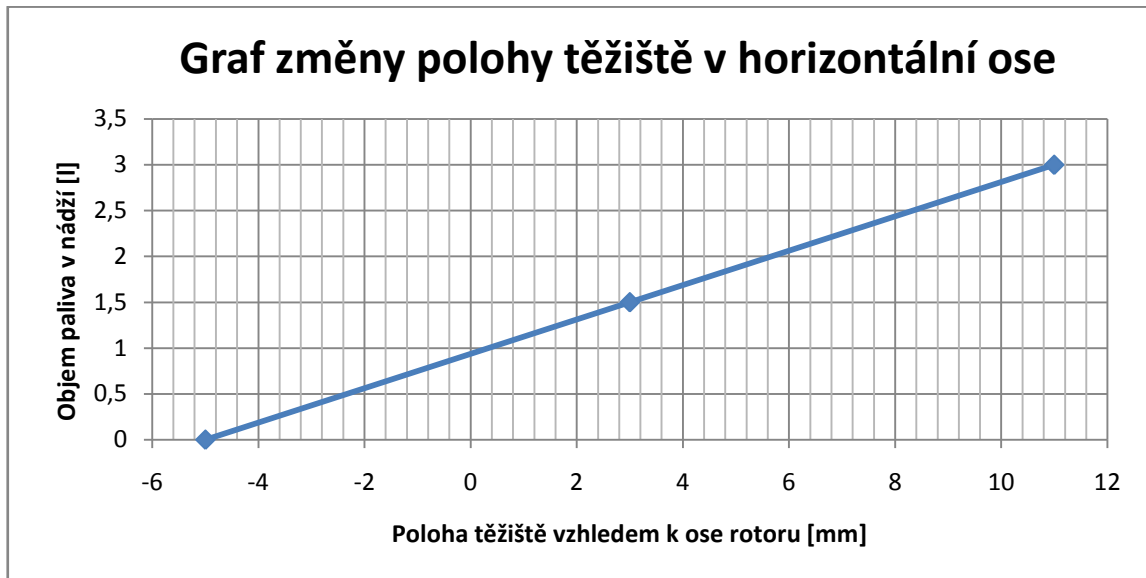
Úpravy konstrukce tohoto vrtulníku byly nejrozsáhlejší a vyžádaly si nejvíce času. Základní úprava spočívala ve zvýšení doletu. Byly instalovány dvě přídavné nádrže, což si vyžádalo přepracování celé palivové soustavy a konstrukci uchycení těchto nádrží. Následoval časově náročný vývoj a konstrukce trupu vrtulníku a jeho uchycení. A poslední etapou je prodloužení ocasní části vrtulníku s cílem osazení delších rotorových listů a tím zvýšení maximální vzletové hmotnosti a doby letu.

3.3.1. Upevnění přídavných nádrží

Do vrtulníku byly instalovány dvě palivové nádrže každá s kapacitou 1500ml což při hustotě benzínu 750kg.m^3 odpovídá 2,25kg zátěže jen samotného paliva. Konstrukce upevnění nádrže musela být navržena, aby odolala takové zátěži i při přetížení v důsledku tvrdého přistání. Další vlastností spalovacích pohonů je ubývání paliva v nádrži a tím odlehčování vrtulníku. Tato vlastnost negativně působí na změnu těžiště, což jsme u elektrických pohonů nemuseli řešit.

Nádrž vrtulníků se běžně umísťuje do zadní části za osu rotoru, vzhledem k malým objemům originálních nádrží není nutné řešit změnu těžiště vrtulníku a na letových vlastnostech se dají je obtížně postřehnout. U tohoto vrtulníku objem originální nádrže činí 300ml a tím hmotnost benzínu 0,225kg. Ve srovnání s originální nádrží mají přídavné nádrže desetkrát vyšší hmotnost. Proto byl kladen důraz na umístění nádrží co nejbližší těžišti ideálně k rotorové hlavě. Tento úkol však nebylo možné dokonale splnit z důvodu rozměrů palivových nádrží a omezenému volnému prostoru v oblasti bočnic draku vrtulníku. Hlavní problém představoval výfuk motoru, který zabírá prakticky celou levou spodní část vrtulníku. Cílem návrhu upevnění bylo zajistit těžiště co nejnižší, minimální rozvážení vrtulníku vlivem ubývajícího paliva a nastavit nádrž, tak aby vlivem pohybu paliva vznikaly co nejmenší setrvačné síly. Ovšem nejdůležitější je nutnost zachovat sací bod z nádrže v úrovni karburátoru. Sací bod nesmí být výše, jinak by palivo samovolně proudilo do karburátoru. Dodržení všech těchto aspektů bylo velice náročné a obsahovaly testy s plněním nádrží a zjištění změny těžiště v závislosti na změně objemu palivových nádrží. Nádrže byly postupně plněny a byla zaznamenána změna polohy vrtulníku respektive naklopení. Úkolem bylo zajistit při polovičním naplnění nádrží, těžiště mírně před osou rotoru. Při plném naplnění

nádrží je těžiště více vpředu, při polovičním téměř v ose rotoru a při prázdných nádržích mírně za osou rotoru.

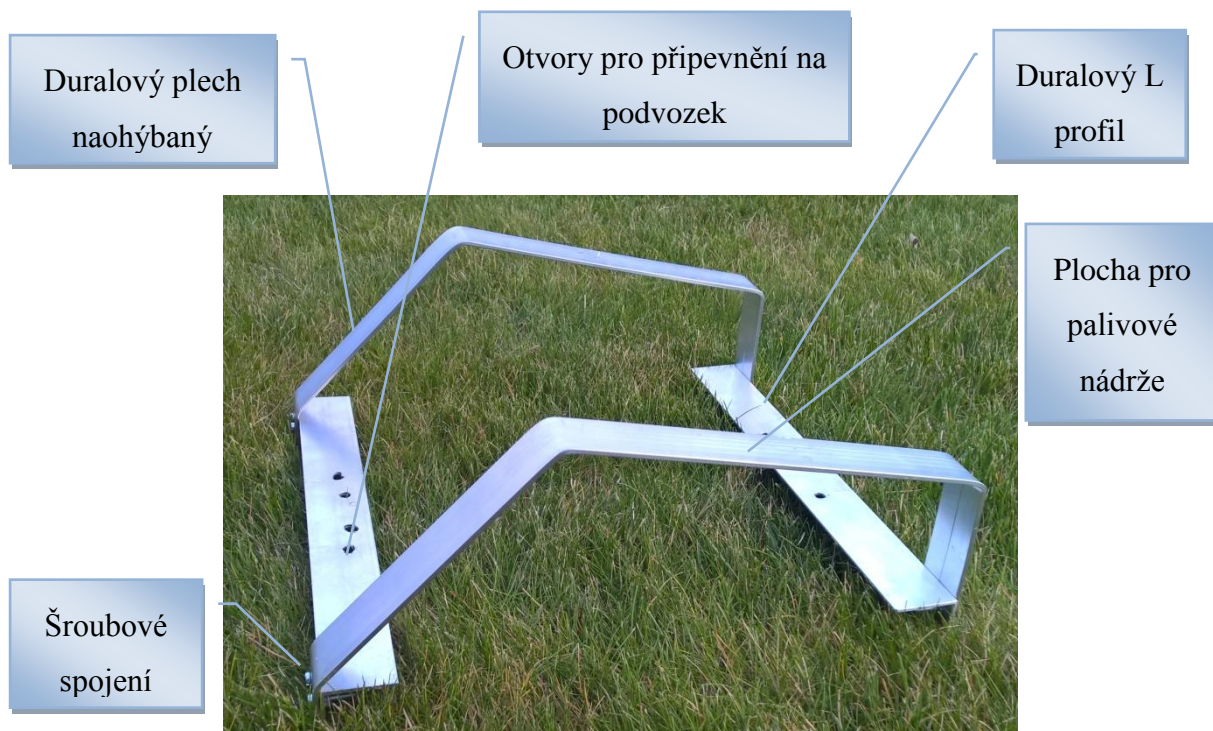


Graf 3 Změna polohy těžiště v horizontální ose CenturyHeliRadikal G30 V2

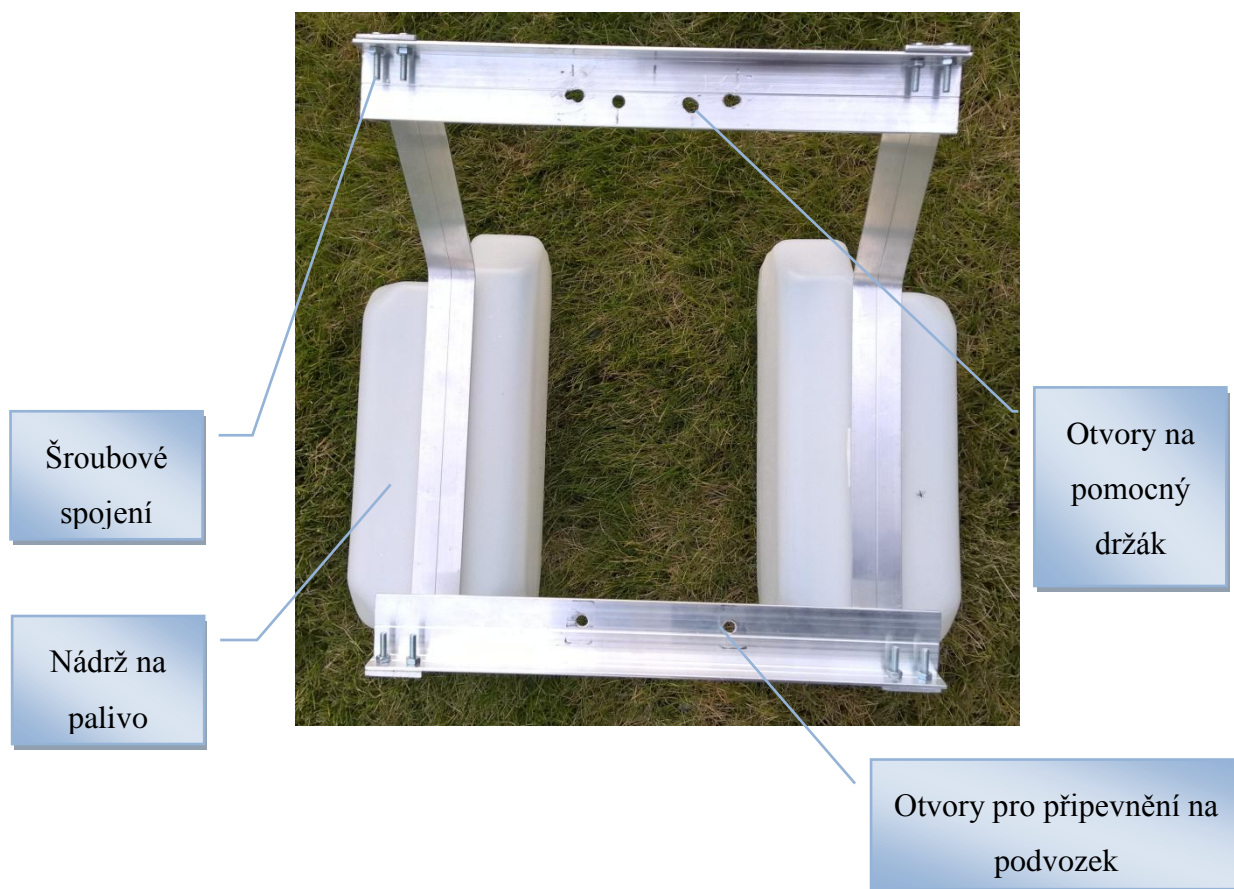
Tento graf ukazuje, jak se bude měnit poloha těžiště při ubývajícímu palivu v palivových nádržích, jedná se o experimentálně získaná data, hodnota nula odpovídá ose rotoru. Nejvhodnější poloha palivových nádrží se tak nachází v náklonu s nejnižším místem v úrovni karburátoru.

Dále bylo nutné vyrobit nosnou konstrukci těchto nádrží. Na jeho výrobu jsem zvolil duralové profily pro jejich nízkou hmotnost a snadnou zpracovatelnost.

Držák palivových nádrží byl vyroben ze dvou duralových profilů, pásu a L-profilu. L-profil jsem upevnil v místě uchycení podvozku do draku. V tomto místě byla ideální tuhost a zatížitelnost konstrukce spojená s jednoduchým konstrukčním řešením. Konstrukční řešení držáku nádrží vyžadovalo dva L-profilu. Jeden upevněný v přední části uchycení podvozku a druhý v zadní části uchycení podvozku. Tímto vznikla základní platforma pro připevnění nádrže. Dále byly použity dva pásy, které byly ohýbány do požadovaných tvarů, aby bylo zajištěno správné umístění palivových nádrží a vyhnout se kontaktu s výfukem a vzduchovým filtrem motoru. Pro spojení dílu jsem zvolil šroubový spoj z důvodů snadné rozebíratelnosti. Ohýbání duralových plátů bylo nejnáročnější a bylo potřeba tyto pásy před samotným ohýbáním ohřát na teplotu okolo 300°C a poté prudce zchladit. Tím byl zajištěn čas na ohýbání bez možnosti prasknutí nebo snížení pevnosti. Po určité době dural získá svoji původní strukturu a již jej není možné ohýbat.



Obrázek 16 Držák palivových nádrží



Obrázek 15 Držák palivových nádrží - pohled zespod

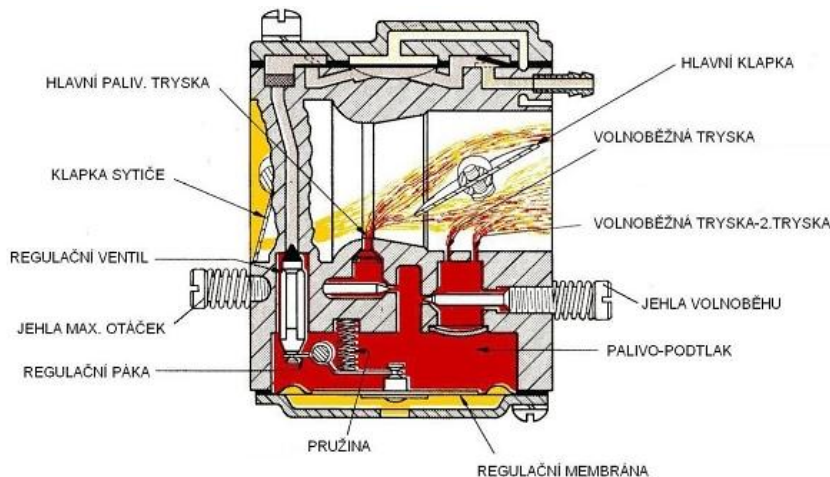


Obrázek 17 Držák s instalovanými palivovými nádržemi

3.3.2. Nová palivová soustava

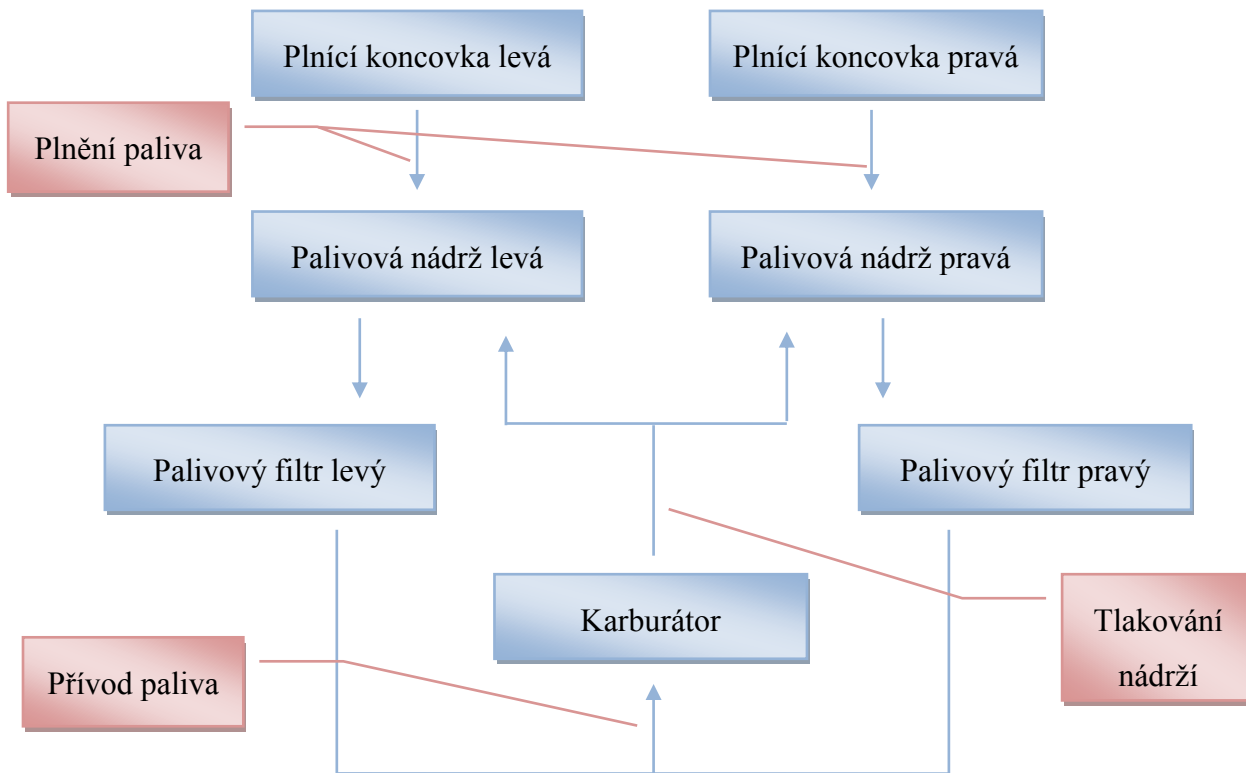
Vzhledem k přidavným palivovým nádržím bylo třeba vyřešit palivovou soustavu. Základním parametrem je instalace sacího koše v palivové nádrži do úrovně karburátoru, který je schopen saní paliva bez čerpadla a bez tlakování z výfuku motoru. Pokud by byl sací koš umístěn nad úrovní karburátoru, palivo by do něj samovolně proudilo a palivovou směs by bylo obtížné regulovat. Tím by docházelo k obtížným až nemožným startům motoru a nevyváženému chodu. Naopak karburátor je schopen přisávat palivo a je možné umístění sacího koše pod úroveň karburátoru.

Karburátor je nejdůležitější částí palivové soustavy a motoru. V našem případě se jedná o membránový karburátor. Hlavní částí je směšovací trubice, kde dochází k vytváření směsi vzduch-benzin. V zúženém místě je statický tlak proudu vzduchu nižší než atmosférický. Podtlak nasává palivo do sací trubice. Proudění vzduchu v sacím hrdle je dáno pohybem pístu motoru. Změny tlaku v karteru vyvolávají podtlak a přetlak nad čerpací membránou a s pomocí ventilů dochází k vytvoření tlaku paliva. Aby se motor nezastavil z vysokého přísunu paliva, je za sítkem ventil typu tryska-kuželka. Ventil je řízen druhou membránou. Pokud klesne tlak v sací hubici, atmosférický tlak přetlačí pružinu páky ventilu a benzin může proudit do motoru. Základní parametry, které se nastavují, jsou přísun paliva na volnoběhu při nízkých a vysokých otáčkách. Tomu odpovídají tři regulační jehly na karburátoru.



Obrázek 18 Řez karburátoru a jeho popis Zdroj: [2]

Dalšími prvky palivové soustavy jsou dvě přídavné nádrže, původní nádrž nebude využívána a posloužila pouze pro záběh motoru. Obě nádrže jsou vybaveny třemi otvory. První slouží pro propojení s karburátorem za účelem přívodu paliva do motoru. Druhý je také propojen s karburátorem z důvodů tlakování nádrže, zejména při startu je nutné pomocí čerpadla na karburátoru přisát palivo. Třetí slouží pro účely tankování. Přívod paliva do motoru je vybaven palivovými filtry s kónickými vložkami pro lepší filtrační vlastnosti. Každá nádrž má vlastní palivový filtr a plnicí přívod.



Obrázek 19 Blokové schéma palivové soustavy

Vzhledem k použití benzínu jako paliva se musí dbát na odolnost palivové soustavy z hlediska použitých plastů. Nádrže jsou vyrobeny z polyetylenu a palivové hadice z materiálu Tygon. Tyto materiály jsou odolné vůči působení benzínu a nedochází k naleptávání těchto plastů. Ostatní materiály použité v palivové soustavě jsou z mosazi a hliníkových slitin.

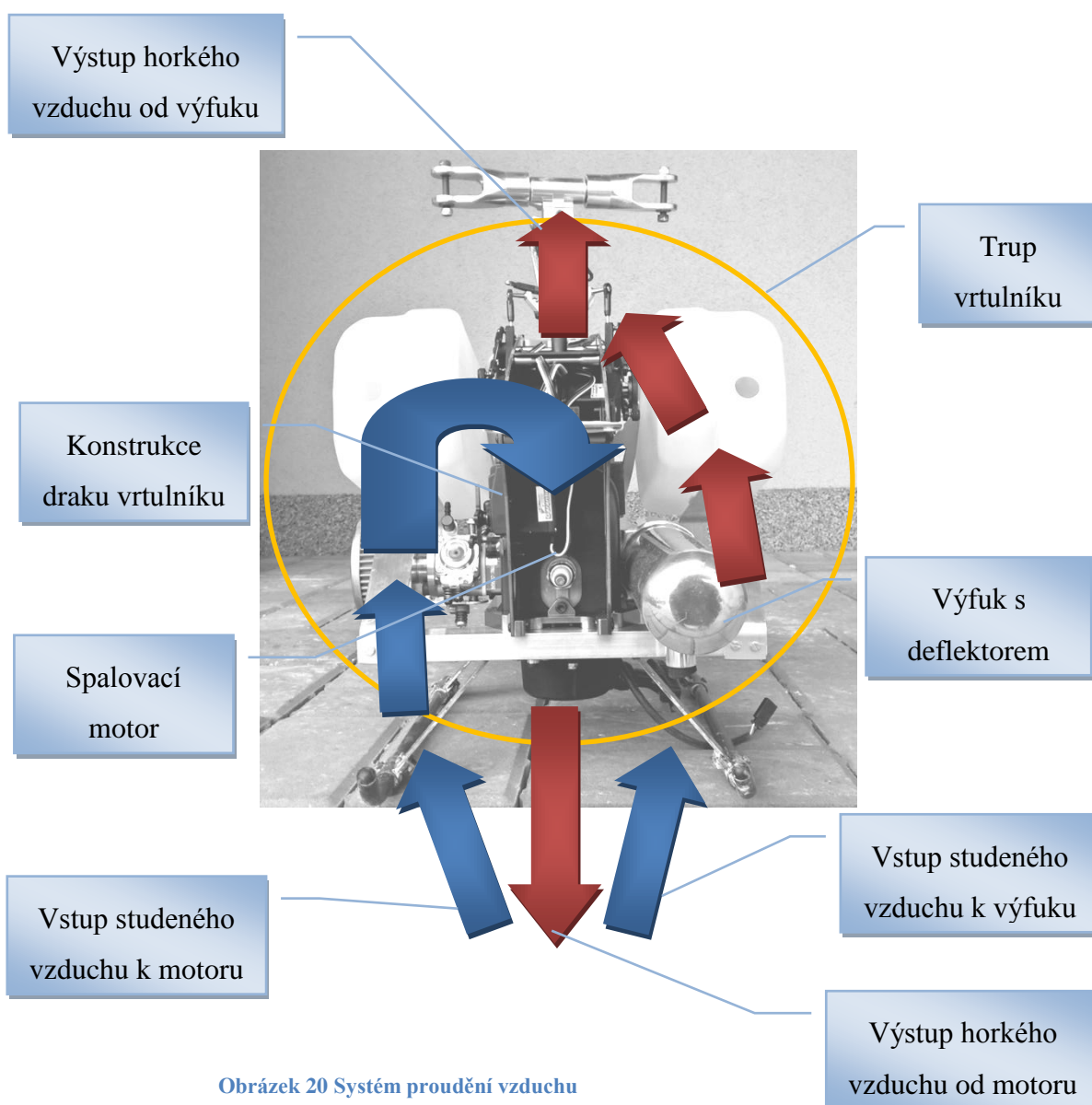
3.3.3. Trup vrtulníku

Vzhledem k instalaci přídavných palivových nádrží, které zabírají značný prostor po bocích vrtulníku, nebylo možné využít sériově dodávaný trup, respektive přední kryt. Bylo nutné vytvořit nový kryt vrtulníku z hlediska ochrany elektroniky a mechanických částí před nepříznivým počasím a také zajistit výbornou viditelnost vrtulníku. Z hlediska ochrany elektrických a mechanických součástí jsem zvolil možnost překrytí celého draku vrtulníku. Původní kryt byl koncepčně určen pouze pro vizuální kontakt, aby pilot přesně věděl, v jaké poloze se vrtulník nachází.

Nejdůležitější částí návrhu nového krytí respektive trupu bylo zajistit vhodné rozměry. Požadavky byly kladeny jak na vnější, tak na vnitřní část. Trup musí být dobře viditelný a musí připomínat tvarově vrtulník. A zároveň samotný trup ani jeho uchycení nesmí omezovat žádné mechanické části draku vrtulníku. Samostatnou částí bylo vyřešit proudění vzduchu uvnitř trupu, aby nedocházelo k přehřívání elektroniky, baterií a spalovacího motoru. U tohoto vrtulníku je použit spalovací motor a z důvodů nízké účinnosti spalovacích motorů je potřeba počítat s velkým odpadním teplem, které je třeba odvádět z trupu do okolního prostředí. Největším zdrojem tepla je motor s výfukem a jeho spaliny. Výfukové plyny mají teplotu až 1000°C v závislosti na palivové směsi, otáčkách motoru a jeho zatížení. Z důvodů takto vysokých teplot je potřebné odvádět tyto plyny okamžitě do okolního prostředí. Výfuk motoru by bylo ideální umístit mimo trup vrtulníku do okolního vzduchu z důvodu chlazení. Vzhledem k požadavku na vzhled trupu jsem tuto variantu nevyužil a výfuk není možné přesouvat, z důvodů přesně navržené vzdálenosti mezi motorem a výfukem. Při změně této vzdálenosti by motor nepracoval správně, což je také dáno charakteristikou dvoutaktního motoru, který potřebuje speciální výfuk, kde zpětné proudění části výfukových plynů do motoru přidrží palivovou směs následného výbuchu. Délka výfukového potrubí je nastavena pro každý typ motoru již výrobcem a neměla by být

měněna. Výfuk zůstal na původním místě a odvod spalin mimo trup byl vyřešen deflektorem. Samotný motor dosahuje teplot až 110°C opět v závislosti na palivové směsi, otáčkách motoru a jeho zatížení. Motor má aktivní chlazení zajištěné radiálním ventilátorem u odstředivé spojky. Vzduch je nasáván horní částí motoru u spojky a vede v potrubí k hlavě motoru a následně je vyfukován ze spodní části vrtulníku do okolního prostředí.

Vzhledem k uvedeným hlavní zdrojům tepla bylo nutné vymyslet proudění vzduchu uvnitř trupu. Byly navrženy dva proudy vzduchu. Jeden zajišťuje chlazení motoru a druhý chlazení výfuku. Ve spodní a v horní části trupu jsou projektovány velké chladicí otvory. Na následujícím obrázku je schéma systému chlazení v příčném řezu z pohledu zepředu.



Obrázek 20 Systém proudění vzduchu

Další částí návrhu bylo zajistit, aby nebyly omezovány žádné pohyblivé části na draku po nasazení trupu. Trup musel kopírovat tvar drakové konstrukce a nesměl do ní zasáhnout. Skloubit rozměrové a chladicí požadavky bylo náročné. Metoda výroby kompozitového trupu byla následující, nejdříve jsem vytvořil pozitivní formu přímo na draku vrtulníku a následně vytvoření negativní formy. Z té je pak možné sériově vyrábět další trupy.

Prvním krokem byla stavba pozitivní formy. Vzhledem k nutnosti dodržení rozměrů trupu, které zajišťovaly bezproblémové nasazení trupu, bylo nutné zvolit metodu, kdy se na draku vrtulníku vytvořila pozitivní forma. Jednalo se o nejlevnější avšak velmi pracné řešení. Přesnější metoda je nasnímání všech rozměrů drakové části včetně veškerého vybavení vrtulníku a přenést do programu CAD a vněm pak dále vytvořit trup vrtulníku, na tento nasnímaný drak. Nevýhodou této metody je cena za nasnímání do CAD souboru a výstup trupu jako CAD výkresu. Dále by muselo následovat vyfrézování pozitivní formy na CNC strojích. Tato metoda je nejpresnější, ale také nejdražší. Vzhledem k nižším požadavkům na zrcadlovou přesnost trupu, která je v případě ruční výroby velice náročná, jsem se rozhodl vytvořit trup levnějším způsobem.

Drak vrtulníku včetně veškeré avioniky, pohonné jednotky a přídatných nádrží jsem na začátku ochránil potravinářskou fólií proti pronikání vody a nečistot v průběhu výroby formy. Následovalo získání alespoň přibližné podoby výsledného trupu. T této činnosti jsem zvolil polystyrenový blok o rozměrech 1000x500x200mm, z kterého jsem postupně odřezával díly a postupně dále opracovával s neustálým přikládáním na vrtulník, zda tvarově odpovídají požadovanému tvaru.



Obrázek 21 Drak obložený polystyrenovými bloky

Po jeho dokončení jsem k němu vytvořil zrcadlový díl. Takto jsem vytvořil celkem 20 polystyrenových dílů, které byly přichyceny na drak vrtulníku pomocí pásky a obaleny potravinářskou folií.

Dalším krokem bylo získání již přesných tvarů pro laminování pozitivní formy. K tomu jsem využil metodu osádrování polystyrenu. Samotná sádra by se na folii nepřichytila a výsledek by byl velice křehký. Proto jsem využil kompozitu, kde výztuží byly lékařské obvazy a pojivo sádra. Drak vrtulníku byl kompletně obvinut lékařským obvazem a následovalo osádrování celého vrtulníku. Při použití obvazu se sádra výborně aplikovala. Po hrubém vytvoření základních tvarů následovalo obroušení na přesnější tvary a další vrstva sádry a opět broušení. Proces broušení a natahování sádry byl časově i pracně náročný a trval jeden týden. Celkem bylo spotřebováno 20kg sádry.



Obrázek 23 Osádrovaný drak



Obrázek 22 Oblepení draku páskou

Sádrový model byl natřen lazurovacím lakem pro zvýšení přilnavosti povrchu, z důvodů následné aplikace lepicí pásky, která měla za úkol vyrovnat povrch sádrového modelu a hlavně sloužit jako separátor pro následné laminování. Z důvodů neschopnosti lepicí pásky přilnout na samotnou sádro musel být jako podklad zvolen nátěr. Spotřeba lepicí pásky byla 50m. Z důvodu na požadavek tvarové přizpůsobitelnosti jsem zvolil plastickou lepicí pásku.

Další částí bylo samotné laminování. Vzhledem k požadavku nízké ceny byla zvolena skelná tkanina. Pro laminování takto oblých tvarů jsem se rozhodl použít tkaninu s gramáží 160g.m^2 , jejíž tvarová přizpůsobitelnost byla odpovídající požadavkům. Jako matrici jsem použil epoxidovou pryskyřici L285 s tužidlem HG 286, jejíž zpracovatelnost se pohybuje kolem 2 hodin. Laminování bylo prováděno nejprve pro trup bez ocasní části a poté pro ocasní část s překrýváním skelné tkaniny o délce 10cm. Tento postup byl zvolen z důvodu snížení spotřeby skelné tkaniny. Celkem takto

byly nanесeny 4 vrstvy tkaniny. Po vytvrzení následovalo sejmutí laminovaného dílu. Nejprve byla zvolena podélná dělicí rovina a poté pomocí ruční multibrusky vyřezána drážka v dělicí rovině. Použitím lepicí pásky se nemohla epoxidová pryskyřice navázat na sádku a sejmutí dvou polovin trupu bylo velmi snadné.



Obrázek 25 Oslaminovaný drak



Obrázek 24 Rozdělený trup

Takto vzniklý trup bylo možné využít jako hotový trup na vrtulník, ale z důvodu preciznosti práce posloužil pouze jako pozitivní forma. Pro následné opracování museli být obě poloviny opět spojeny dohromady pomocí laminování. Oba díly byli k sobě zvenčí přichyceny lepicí páskou pro dodonále slícování a poté se vylamovala oblast dělicí roviny dvěma vrtvami skelné tkaniny. Materiál na laminování by použit stejný jako na samotný trup.

Povrch trupu nebyl ideální pro další postup a proto bylo nutné povrch trupu opracovat. K tomuto kroku jsem využil dvousložkový polyesterový tmel, který měl výbornou broušitelnost. Celkem byly nanесeny dvě celoprošné vrstvy tmelu a poté lokální nanášení na příslušná místa. Každá vrstva byla broušena pod vodou smirkovým papírem zrnitosti 80. Toto broušení bylo opět časově velmi náročné a vyžádalo si týden práce.



Obrázek 27 Vytmelený trup



Obrázek 26 Finální trup

3.3.4. Prodloužení ocasní části

Tato modifikace spočívá ve zvýšení nosnosti respektive maximální vzletové hmotnosti. Konstrukce rotorové hlavy je projektována na vyšší zatížení. Nosnost lze zvýšit použitím větších rotorových listů. Vrtulník je navržen na maximální délku listů 710mm. Modifikace počítá s použitím listů délky 1000mm. Šířka kratších listů je 79mm a delších 100mm.

Spalovací motor je určen pro akrobatický let a nabízí přebytek výkonu, který bude využit na produkci vyššího tahu při použití delších rotorových listů.

S rostoucím průměrem rotoru vzniká problém v oblasti možného kontaktu hlavního a zadního vyrovnávacího rotoru a menšího než požadovaného tahu vyvozeného zadním vyrovnávacím rotorem. Hlavní a zadní vyrovnávací rotor mají konstantní poměr otáček a ke kontaktu za běžných podmínek nedochází, ovšem je potřeba počítat s ohybem a zkroucením listů při vysokém zatížení. Dále jsou listy obou rotorů uloženy v otočném čepu, který zmírňuje následky při nárazu listů do pevné překážky. Při roztáčení nebo dobíhání rotorů může dojít k otočení v tomto bodě a kontaktu listů, vzhledem k nízké odstředivé síle vyrovnávající listy.

Prodloužení ocasní části se tak stává nutnou podmínkou při použití delších rotorových listů. Prodloužení ocasní části je náročné vzhledem k vedení pohonu na zadní vyrovnávací rotor pomocí kardanu, táhla nastavení úhlu náběhu listů zadního vyrovnávacího rotoru a vedení kabeláže pro instalaci GPS přijímače.

4 Letové zkoušky

4.1. Zálet Align T-rex 500

Tento vrtulník je osazen autopilotním systémem, se kterým jsem neměl dosud zkušenosti, což se projevilo při problémech při záletu. Samotné programování autopilota je náročný úkol, který je prováděn bezdrátově pomocí PC, kde se využívá obousměrné komunikace pomocí telemetrie.

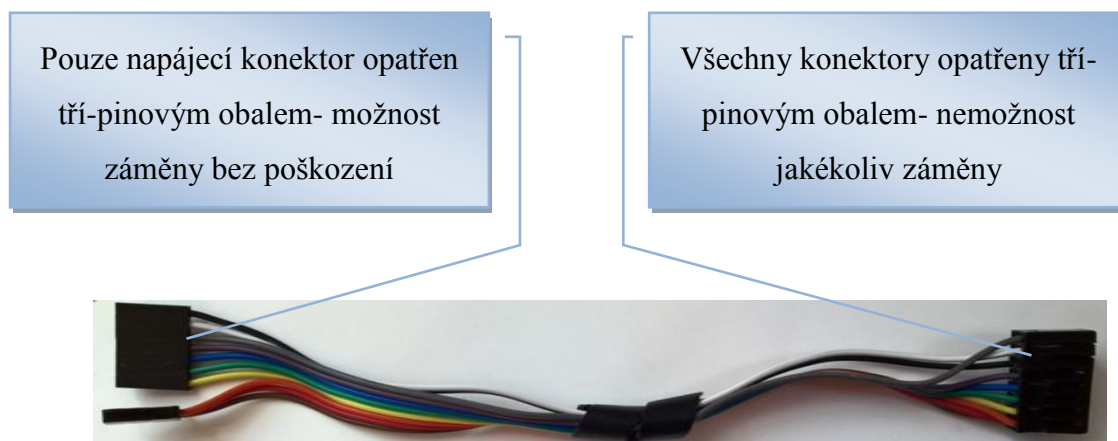
Během letových zkoušek se projevovali vibrace ocasní části vrtulníku v ose zatáčení. Tento problém byl přikládán autopilotnímu systému a jeho chybného nastavení, vyzkoušeli jsme zadávání různých hodnot funkcí autopilota, ale problém se nepodařilo vyřešit. Poté jsme se zaměřili na jinou část systému avioniky a tím byl elektronický regulátor otáček RCE-BL70G Brushless ESC. Tento regulátor jsme provozovali v režimu konstantních otáček. Tento regulátor patří mezi méně kvalitní zvláště v oblasti udržování konstantních otáček. Což se projevilo vysokofrekvenčními pulzy do motoru, které střídavě měnily otáčky motoru v oblasti nastavené hodnoty. Projevem bylo kmitání ocasní části v ose zatáčení. Vzhledem k nekvalitní avionice sériově dodávané ve stavebnici vrtulníku, bylo servo ovládání úhlu nastavení zadního vyrovnávacího rotoru neodpovídající požadavkům v rychlosti. Dále k našemu problému přispívaly nekvalitní akcelerometry integrované do systému autopilota. Výsledkem byla neschopnost serva a autopilota reagovat na pulzní změnu otáček a kmitání ocasní části vrtulníku. Tento nedostatek jsme vyřešili výměnou regulátoru za kvalitní, původně určený do LaHeli 700. Tento regulátor je pro dané použití předimenzovaný, ale poskytl nám data o spotřebě elektrické energie, vzhledem k tomu, že je vybaven touto funkcí. Celý problém jsme tímto vyřešili.

Při letových testech docházelo k problémům s udržením vrtulníku na dané pozici pomocí funkce autopilota. Při visu vrtulníku a přepnutí do režimu stabilizace, vrtulník nedokázal držet polohu a pohyboval se v horizontální rovině. Tento problém je způsoben nekvalitními tříosými akcelerometry. Tento problém jsme zmírnili změnou umístěním systému autopilota a dodatečným odstíněním vibracím. Uvedené změny jsou v oddíle modifikace.

Autopilot používaný v Align T-Rex 500 je značně obtížný na nastavení a z důvodu značného rozsahu zde nebude jeho popis nastavení popsán. Základní postup je podobný jako v případě dále zmíněného DJI WooKong-H.

4.1.1. Úprava konektorů

Propojení systému autopilota s přijímačem jsme vytvořili pomocí jedno-pinových konektorů namísto standardních tří-pinových konektorů. Pro toto řešení jsme se rozhodli z důvodu zjednodušení propojení, protože jenom jeden ze tří pinů zajišťuje komunikaci respektive přenos signálu. Ostatní dva zajišťují napájení kladný a záporný pól. U tohoto propojení stačí pouze napájení pro jeden port, všechny porty napájení jsou vnitřně propojeny. Jedno-pinový způsob se ukázal jako problémový z hlediska snadného prohození kladného a záporného pólu, což se také stalo. Výsledkem byl zničený přijímač. Následně došlo k osazení jednoho portu tří-pinovým konektorem a slepení všech signálových jedno-pinových konektorů k sobě, aby nemohlo dojít k záměně.



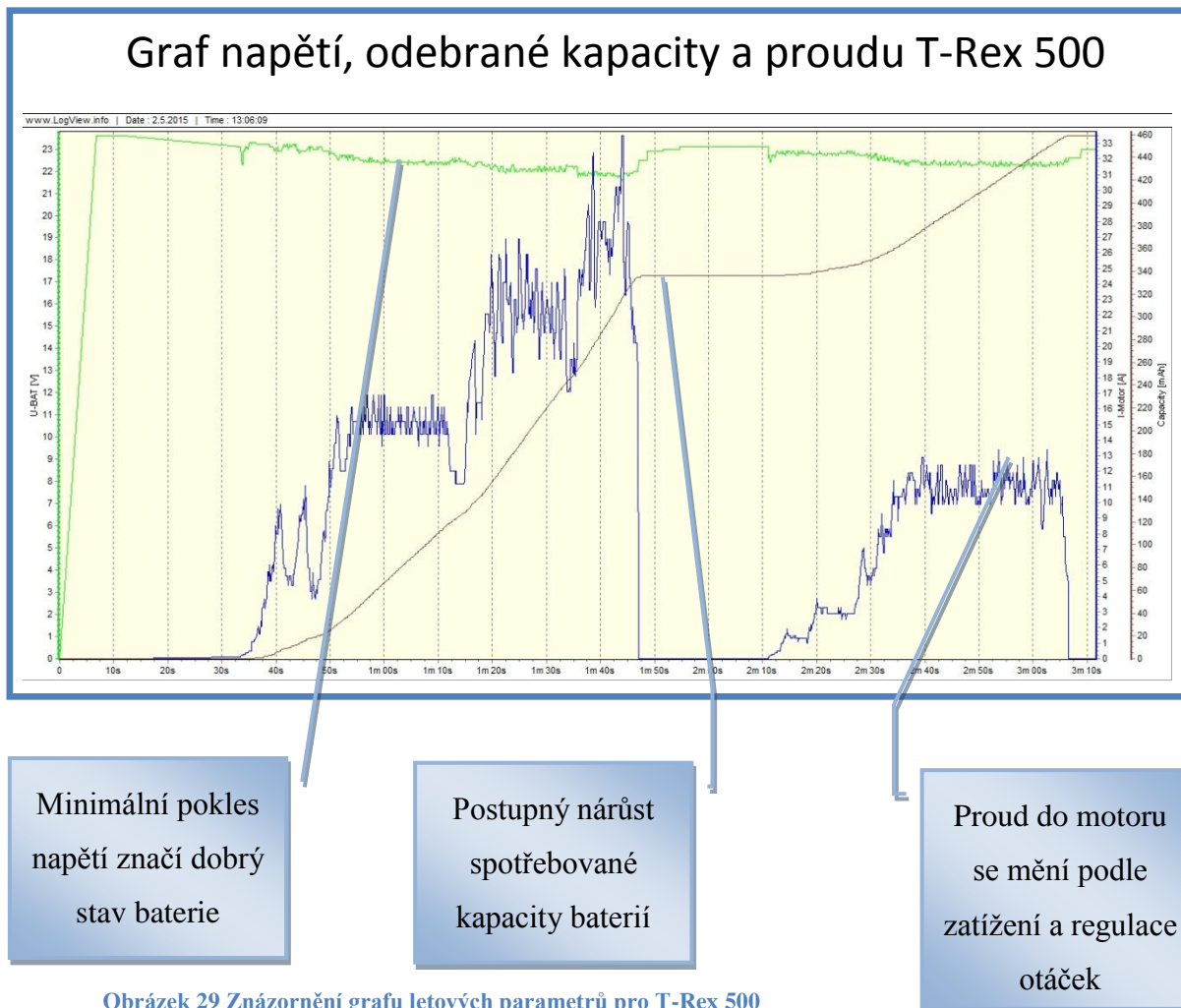
Obrázek 28 Propojovací kabel

Obaly pinů pro přenos signálu byly slepeny pro jednodušší zapojení do autopilota, napájecí kabel je v tří-pinovém obalu, aby nemohlo dojít k prepólování. Na straně zapojení do přijímače jsou všechny piny v tří-pinovém obalu slepeny k sobě. Zde je vyloučena možnost jakékoliv záměny, při častém prohazování přijímače mezi modely.

4.1.2. Letové parametry

Pro zjištění letových parametrů byl na vrtulník osazen elektronický regulátor otáček Kontronik Jive 120+ HV učený pro LaHeli 700, který poskytuje možnost záznamu. Více informací o záznamu je uvedeno u letových parametrů LaHeli 700.

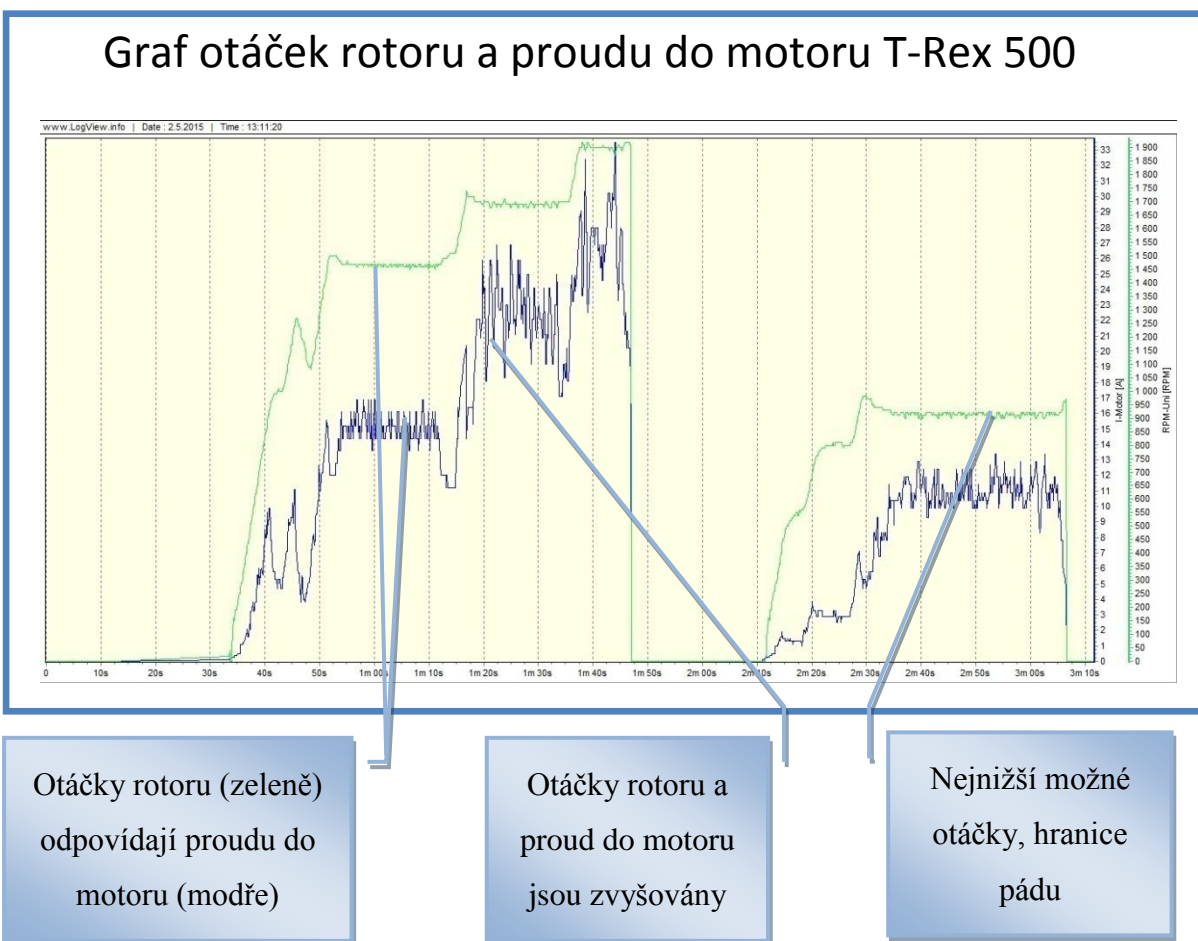
Následující obrázek grafu znázorňuje průběh napětí (zeleně), proudu do motoru (modře) a spotřebované kapacity (hnědě).



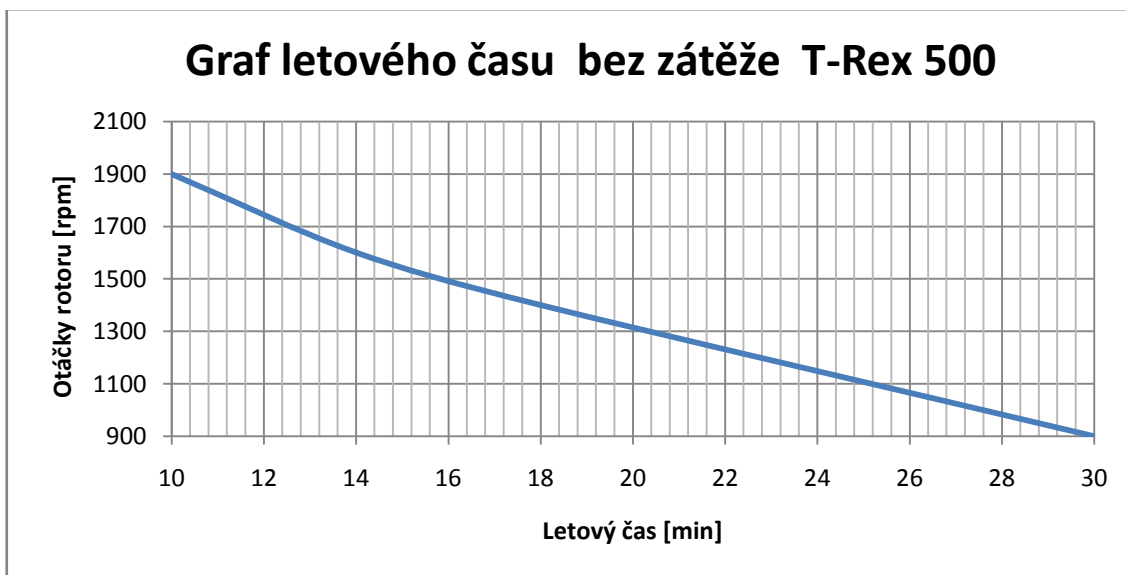
Modrá křivka znázorňuje přidávání otáček a tím i zvyšování toku elektrického proudu do motoru. Z otáček motoru a proudu do motoru bude vypočítán letový čas pro různé otáčky. Nejnižší proud do motoru, kdy se vrtulník pohyboval na hranici pádu je 10A, což při naší používané 5Ah baterii vystačí na 30 minutový let.

Dále je možné si všimnout, že křivka znázorňující odebranou kapacitu má v intervalech nižšího proudu do motoru menší sklon. Z toho vyplývá závěr, že při nižších otáčkách motoru je nižší spotřeba a delší letový čas.

Z následujícího znázornění grafu jsou odečteny hodnoty proudu do motoru pro jednotlivé otáčky. Hodnoty proudu do motoru jsou přepočteny na letový čas a umístěny do grafu letového času.



Obrázek 30 Znáznornění grafu letových parametrů pro T-Rex 500



Graf 4 Letový čas Align T-Rex 500 bez zátěže

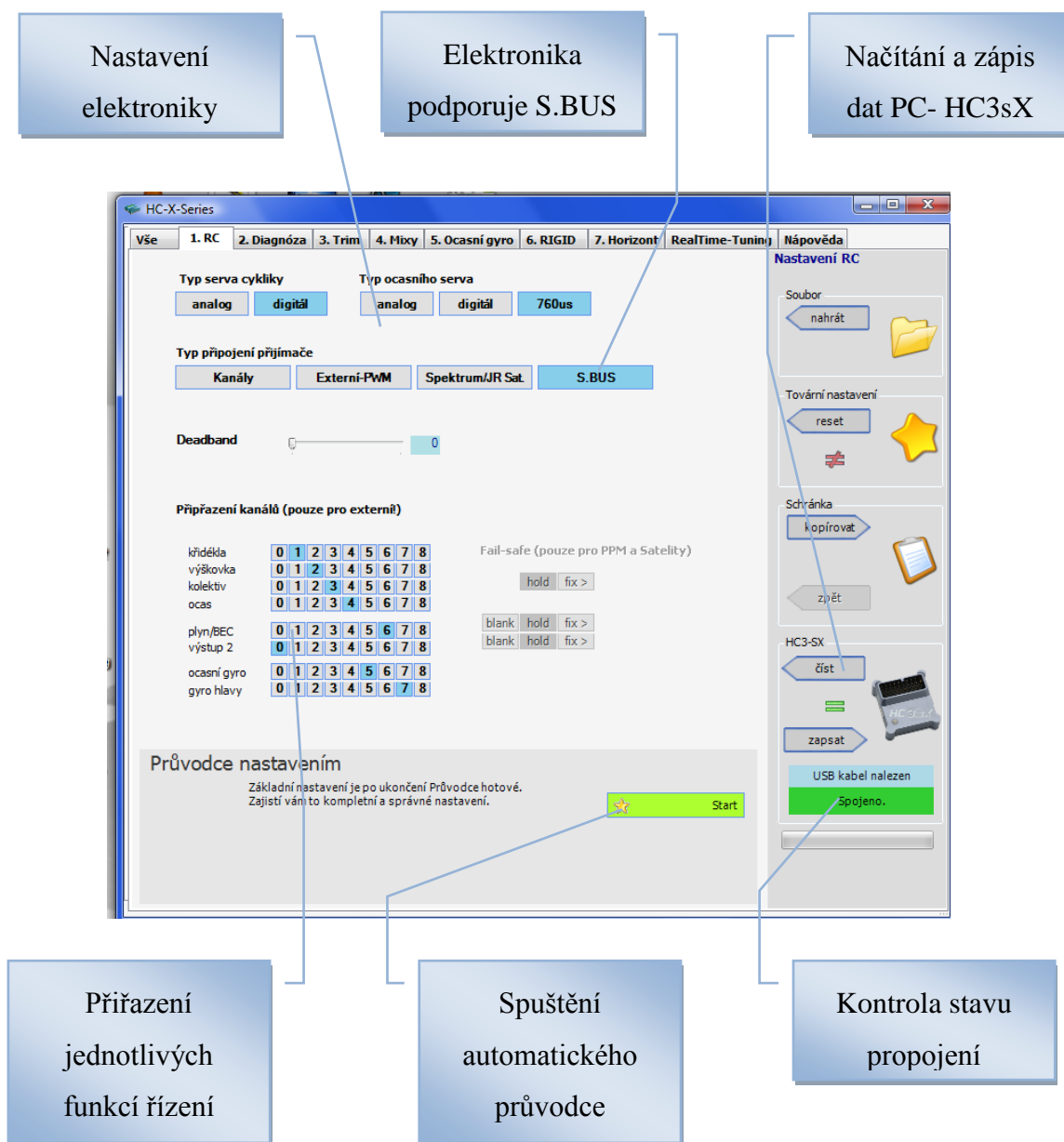
Otáčky rotoru se je vhodné udržovat mezi 900-1900rpm. Na 900rpm se vrtulník pohybuje na hranici pádu s velice minimální ovladatelností. Na 2500rpm je konstrukční mez listů rotoru. Vrtulník je testován pouze pro let bez zátěže a není určen pro další payload.

4.2. Zálet LaHeli 700

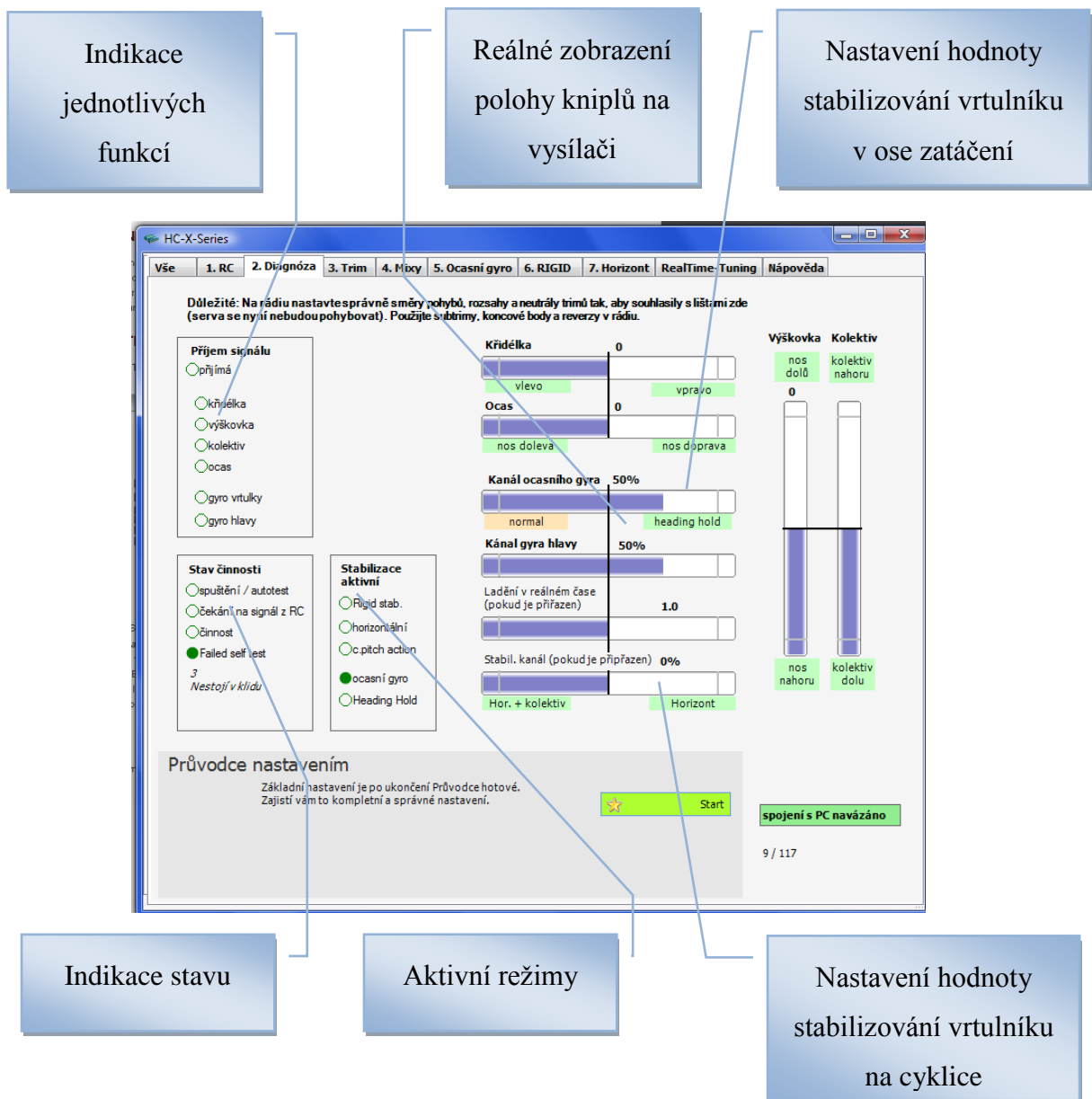
Tento vrtulník byl zalétán jako první a vzhledem k použití osvědčené techniky nebyly žádné problémy. První stabilizační systém tohoto vrtulníku byl HC3-sX, později nahrazený autopilotem DJI. HC3-sX našel využití v CenturyHeli Radikal G30 V2.

4.2.1. Nastavení stabilizace HC3-sX

Stabilizace HeliCommand HC3-sX se nastavuje pomocí PC a příslušného programu a je potřeba kabelového propojení mezi PC a stabilizací. Nastavování probíhá v několika krocích. Program obsahuje průvodce, který volí jednotlivé kroky nastavení. Dále budou uvedeny vybrané kroky nastavení.



Obrázek 31 Nastavení stabilizace



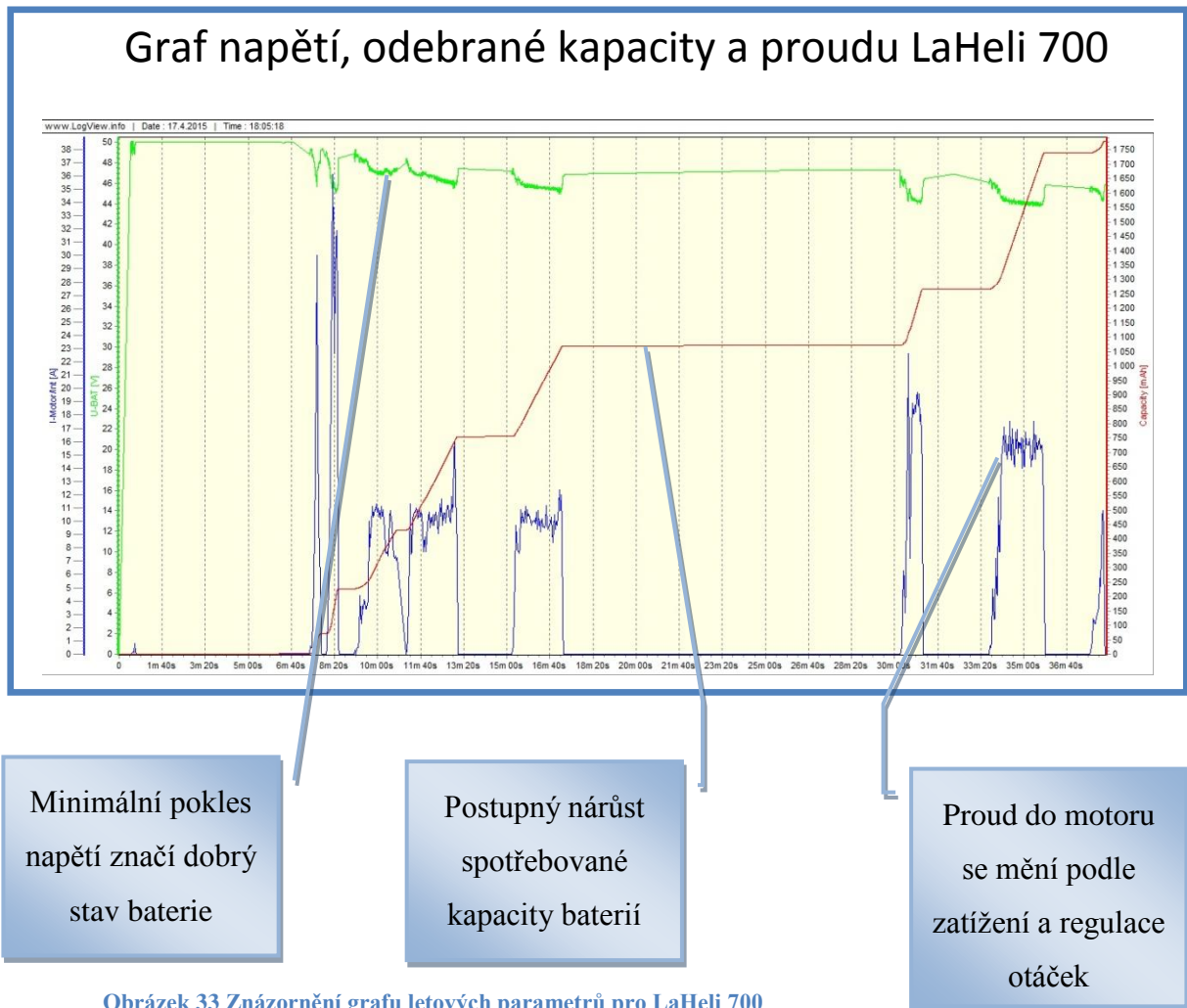
Obrázek 32 Nastavení stabilizace

Tento krok je velice důležitý pro správné nastavení přiřazení funkcí, smyslu výchylek a dorazů serv. Dále slouží pro kontrolu funkcí stabilizace zadního vyrovnávacího rotoru a hlavního rotoru, respektive cykly. Stabilizace je nastavena v režimu maketa pro co nejjednodušší ovládání a pomocí nastavení hodnoty stabilizace hlavního rotoru je možné nastavit reakce a agilitu vrtulníku. Tato funkce je na třípolohovém přepínači a standardně bude využívána na hodnotě 100% s potlačením kolektivu, tím je možné stabilizovat i výšku. V dalších krocích se nastavují neutrální polohy, typ mechaniky, parametry zadního vyrovnávacího rotoru a parametry hlavního rotoru. Jednotlivé funkce jsou dobře popsány a obsahují nápovědu. Výhodou je kompletní zpracování v českém jazyce.

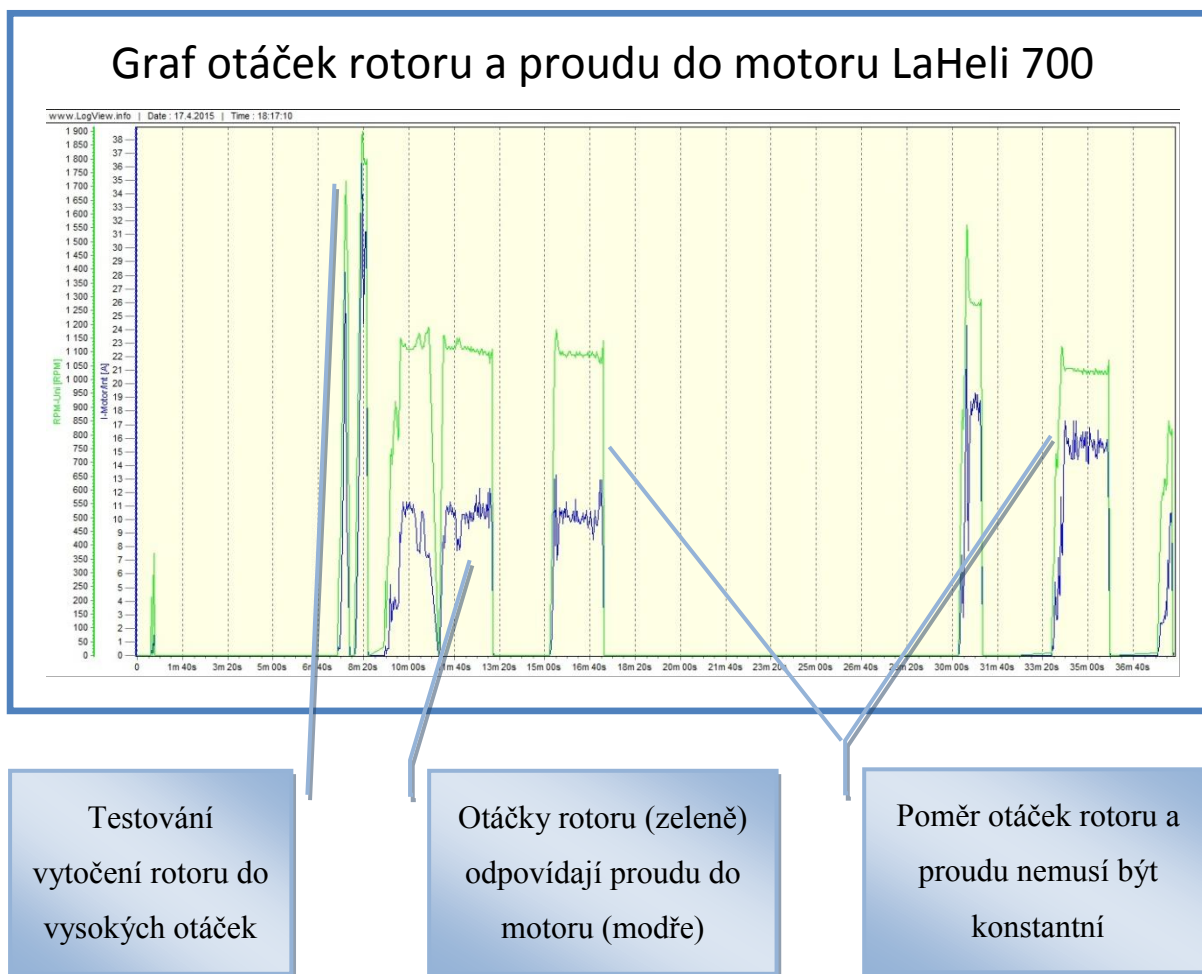
4.2.2. Letové parametry

Elektronický regulátor otáček Kontronik Jive 120+ HV byl dodatečně vybaven záznamovým zařízením pro ukládání letových parametrů. Mezi nejdůležitější patří proudový odběr motoru, napětí baterií, spotřebovaná kapacita baterií a otáčky rotoru.

Tyto data jsou ukládány na miniSD kartu a po letu je možné jejich vyhodnocení v PC. Vyhodnocením dat lze získat informace o stavu baterií, proudovém odběru avioniky a zejména o letovém čase.



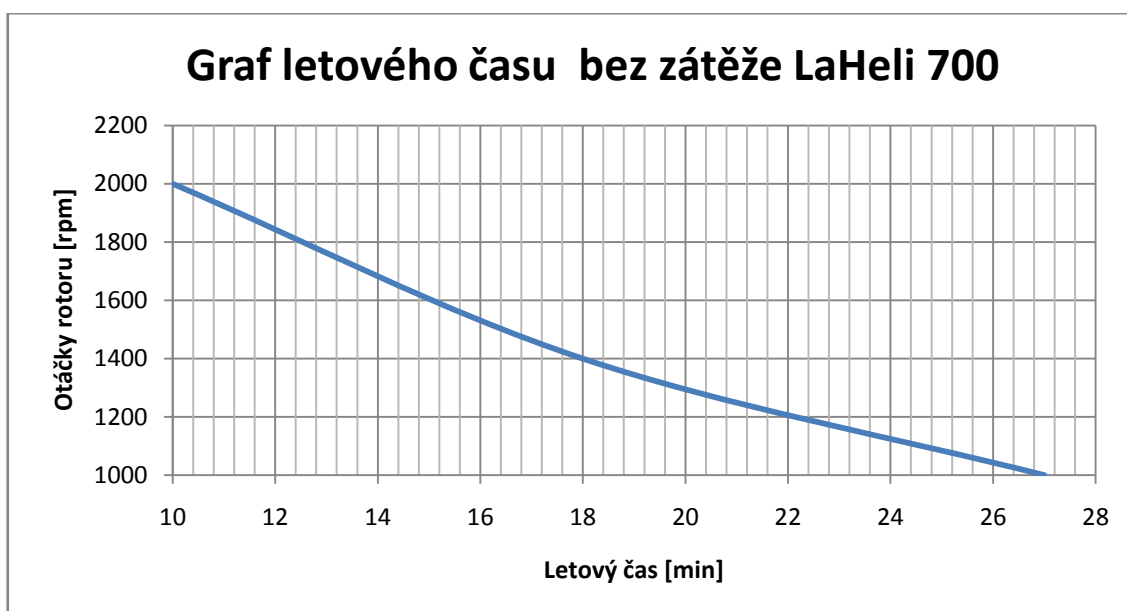
Po zapojení baterií do tohoto elektronického regulátoru otáček se začínají nahrávat dostupná data na paměťovou kartu. Nahrávání je ukončeno v okamžiku odpojení baterií. Tento graf je pořízen z několika krátkých letů a je určen na analýzu letového času společně s následující, kde je zobrazen průběh otáček rotoru a proud do motoru. Po započítání proudového odběru avioniky je možné určit teoretický maximální letový čas.



Obrázek 34 Znáornění grafu letových parametrů pro LaHeli 700

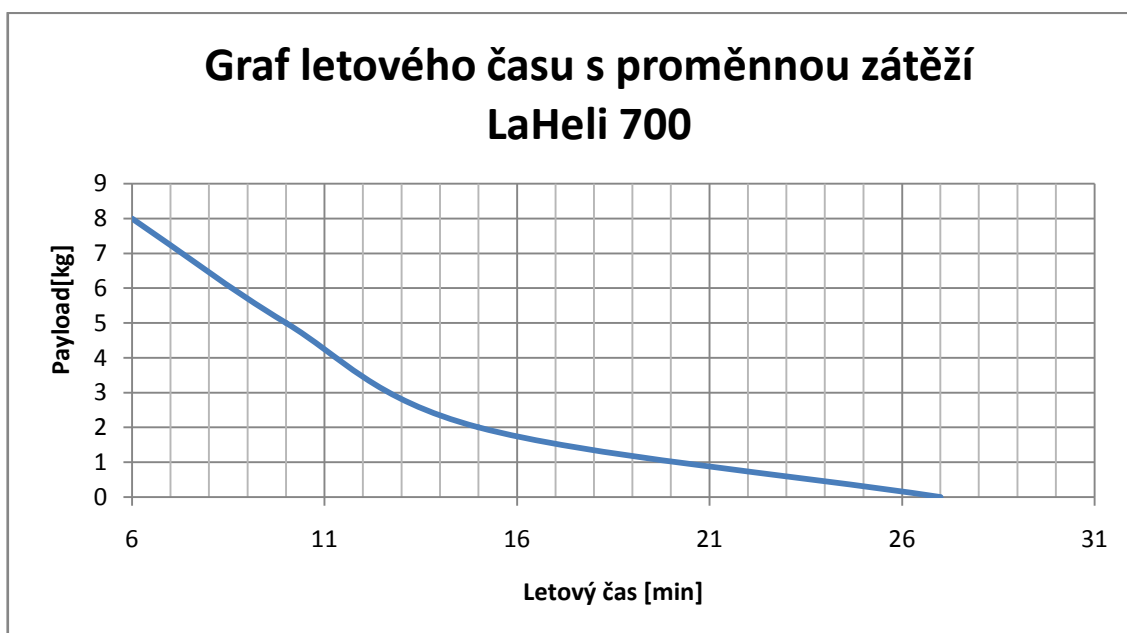
Otáčky rotoru lze snadno nastavovat pomocí governoru a lze z nich určit letový čas. Ovšem poměr proudu do motoru a otáček rotoru nemusí být stejný. Vždy bude záležet na povětrnostních podmínkách. Jestliže se vrtulník dostane do stoupavých proudů, governor omezí proud do motoru z důvodů zachování konstantních otáček. Naopak při turbulenci a poryvům větru bude proud přidávat. Výpočet času je proveden pro ideální povětrnostní podmínky. Dokonalejší způsob výpočtu času by byl proveden přenosem dat o spotřebované kapacitě baterií pomocí telemetrie na zem. Ze spotřebované kapacity je možné dopočítat zbývající čas.

Výpočet času je proveden dvěma způsoby. První spočívá ve visu nezátíženého vrtulníku pro různé otáčky. Čím nižší otáčky, tím delší letový čas, ale nižší reakce a agilita. Při horších povětrnostních podmínkách je potřebné létat s vyššími otáčkami rotoru. Druhý způsob spočívá v postupném zatěžování vrtulníku a visu na konstantních otáčkách. Analýza a vyhodnocení je provedeno z dat na paměťové kartě.



Graf 5 Letový čas LaHeli 700 bez zátěže

Otáčky rotoru se musí pohybovat mezi 1000-2000rpm. Na 1000rpm se vrtulník pohybuje na hranici pádu s velice minimální ovladatelností. Na 2000rpm je konstrukční mez listů rotoru.



Graf 6 Letový čas LaHeli 700 s proměnnou zátěží

Maximální doporučená zátěž vrtulníku je 8 kg nákladu. Nad tuto hranici se již vyskytovaly problémy s ovladatelností. Ideální zátěž je do 4kg, kdy vrtulník poskytuje dobré letové výkony. Tento graf byl získán experimentální metodou postupným zatěžováním vrtulníku a následnou analýzou dat proudu a kapacity, z čehož byly vypočteny časy pro jednotlivé zátěže.



Obrázek 35 Payload 8kg na LaHeli 700

4.2.3. Nastavení autopilota WooKong-H

Nastavení autopilota probíhá podobně jako v případě HC3-sX. Nastavení je rozděleno do několika kroků a obsahuje průvodce.

Nastavení polohy IMU

Zápis nastavených dat do DJI

Čtení nastavených dat z DJI

Lišta s jednotlivými kroky nastavení

Zobrazení os pro nastavení polohy

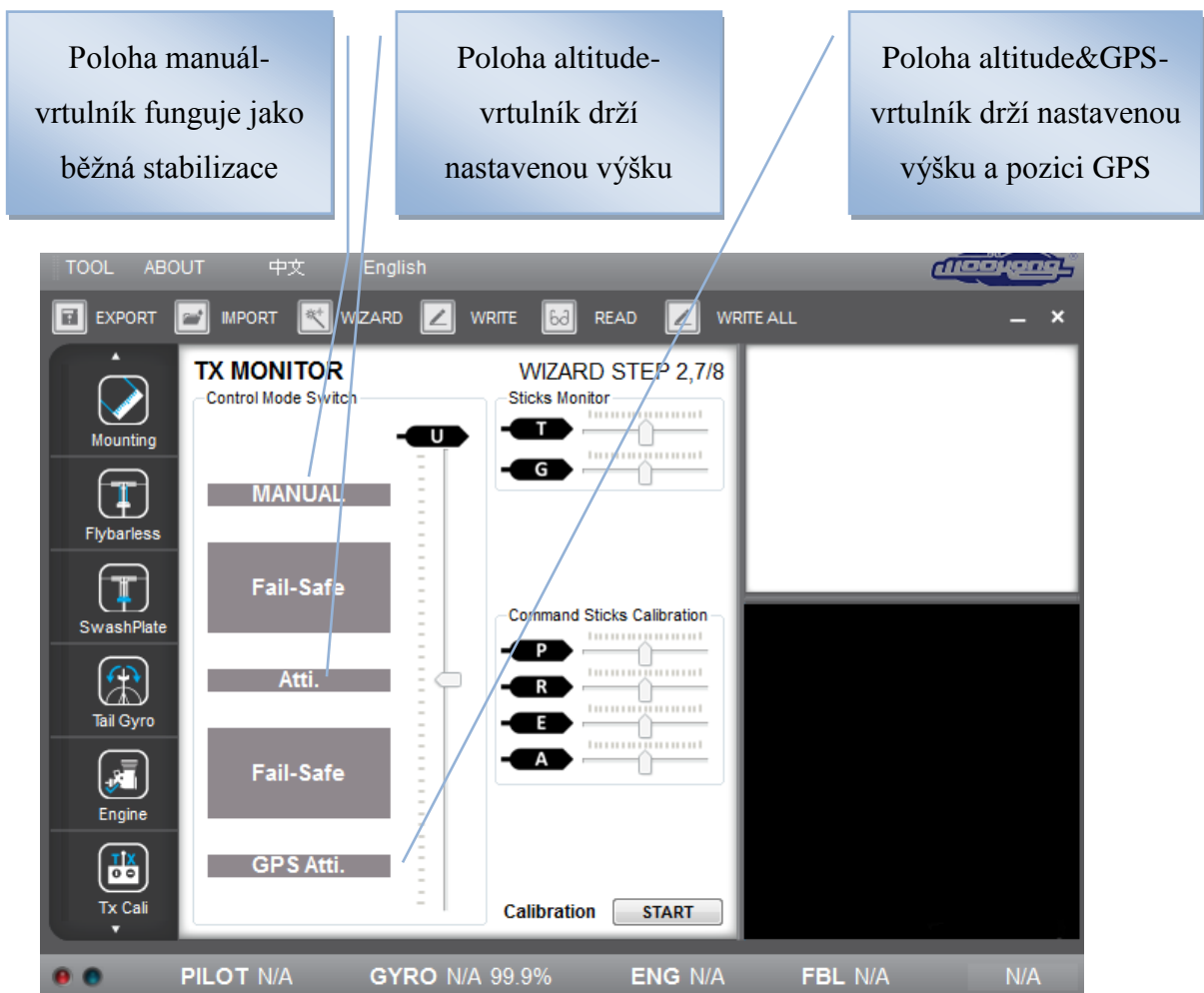
Poloha IMU a GPS vzhledem k těžišti

Obrázek 36 Nastavení autopilota DJI

Průvodce obsahu celkem 8 kroků, kde dochází k nastavení polohy IMU a GPS, typu rotorové hlavy, typu desky cyklického řízení, gyroskopu zadního vyrovnávacího rotoru, governoru v případě spalovacího motoru, letových režimů, kontroly funkcí a autopilota.

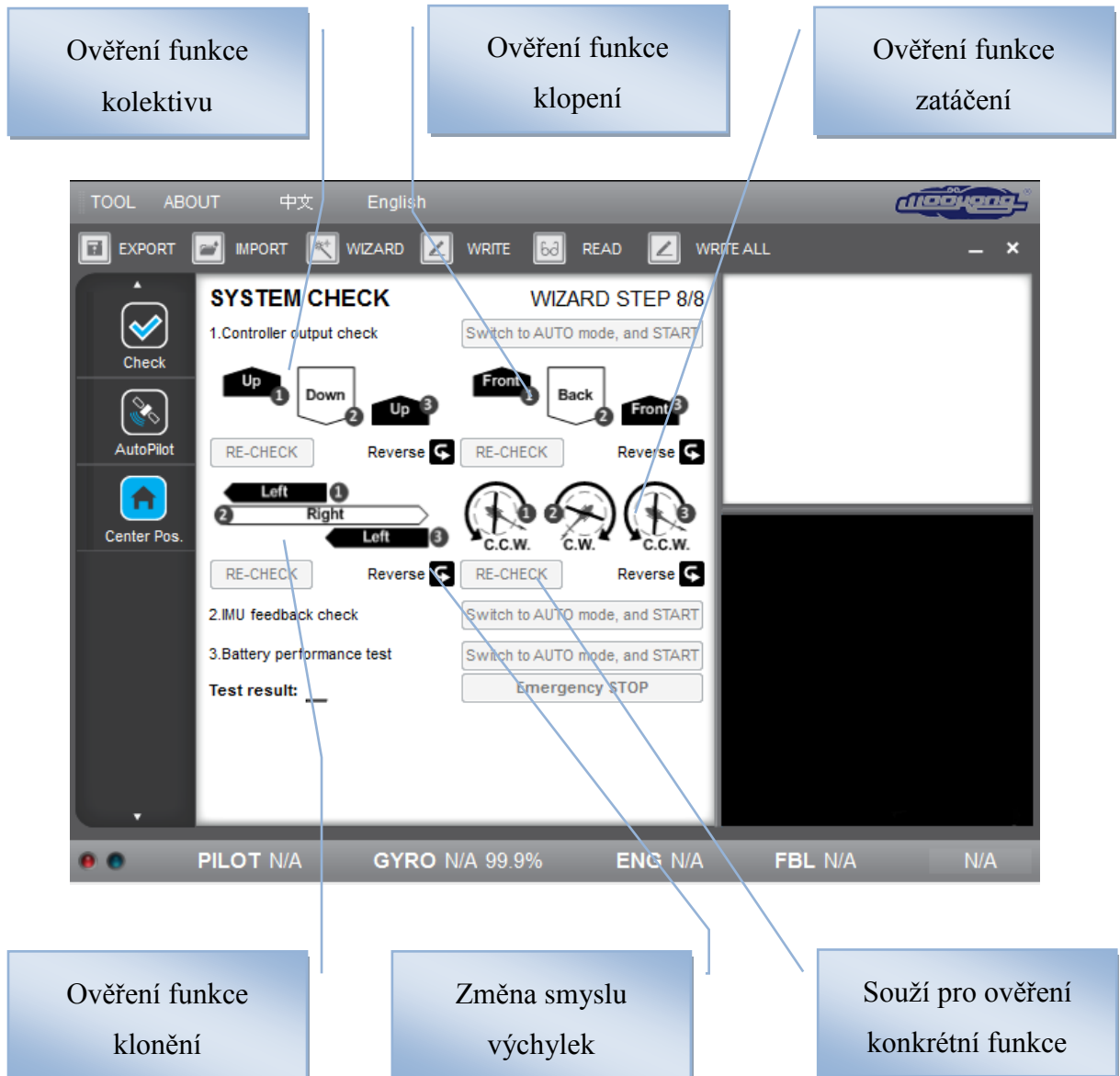
Nastavení správné polohy umístění GPS přijímače a akcelerometrické jednotky IMU je zcela zásadní pro správnou funkci autopilota. Je potřebné co nejpřesněji zjistit polohu těžiště vrtulníku a následně vzdálenosti příslušných jednotek od těžiště.

Rozdílem oproti HC3-sX je nastavení tří režimů na třípohový přepínač.



Obrázek 37 Nastavení autopilota DJI

Dalším důležitým krokem je kontrola nastavení funkcí vysílače a autopilota. Kontrola spočívá v ověření správných výchylek reakcí autopilota na pohyb vrtulníku a to jak desky cyklického řízení, tak zadního vyrovnávacího rotoru. S vrtulníkem je potřeba hýbat v jednotlivých osách a ověřit správnou funkci klonění, klopení, kolektivitu a zatáčení. V případě výskytu problému je nejčastěji chyba v nastavení orientace IMU.



Obrázek 38 Nastavení autopilota DJI

Autopilot indikuje stav pomocí LED. Před použitím je potřebné se seznámit s chybovými hlášeními. Nejčastěji se vyskytují problémy způsobené špatnou kalibrací kompasu autopilota nebo nedostatečným počtem satelitů, z nichž GPS přijímač získává data o poloze.

Kalibrace kompasu	Indikace LED
Horizontální kalibrace	
Vertikální kalibrace	
Kalibrace dokončena	
Chyba kalibrace	

Tabulka 7 Indikace LED kompas

Indikace LED				
Letové režimy	Manuální	Stabilizace výšky	GPS a výšková stabilizace	Ztráta signálu RC vysílače
GPS satelity < 5	● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●
GPS satelity < 6	● ●	● ● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●
GPS satelity < 7	●	● ● ●	● ● ●	● ● ● ●
Výška a GPS v pořádku		● ● ● ●	● ● ● ●	● ● ● ●
Stabilizace výšky- dobrá	○ ○	○ ○ ○ ●	○ ○ ○ ●	○ ○ ○ ●
Stabilizace výšky- špatná	○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ●	○ ○ ○ ○ ●	○ ○ ○ ○ ●
IMU jednotka bez signálu	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●
Napětí baterie < 3,5	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●
Napětí baterie < 4,4	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●

Tabulka 8 Indikace LED

Signalizační LED se sestává z několika barevných LED a jako celek mohou vytvářet různé barvy. Podle této tabulky je možné určit chybová hlášení. Pro dokonalou stabilizaci je potřeba dostatečný počet satelitů. Pokud je potřeba dosáhnout úplné přesnosti stabilizace nesmí blikat červená a bílá barva. Oranžová a fialová signalizují příslušné režimy letu. Důležité je dbát na správné napájení avioniky, pokud je řešeno externí baterií, při signalizaci napětí 4,4V je nutné přistát a baterii dobít. Při současném zapojení je napájení řešeno z elektronického regulátoru otáček. K této situaci nemůže dojít, neboť před poklesem napětí na avionice by se nejprve odpojil elektrický motor.

4.3. Zálet CenturyHeliRadikal G30 V2

4.3.1. Záběh spalovacího motoru a údržba

Tento vrtulník používá spalovací motor jako pohon rotorů a vyžaduje specifický přístup. Elektrický motor nevyžaduje téměř žádnou údržbu a seřizování. U spalovacího motoru musí být bezpodmínečně proveden záběh motoru, který zajistí dlouhou životnost motoru. Během záběhu si jednotlivé díly zvláště píst a válec vymezují vůle.

První část záběhu motoru:

Nádrže se musejí naplnit palivem složeného z benzínu a oleje pro dvoutaktní motoru ve správném poměru. Karburátor se musí natlakovat palivem až do doby než je v membránové pumpě dostatek paliva. Toto platí pro každý start motoru. Dále je nutné zapnout zapalování, které se automaticky spíná při zapnutí avioniky. Motor se startuje tahovým startérem umístěním zespoda drakové konstrukce. Nebo externím elektromotorem například akuvrtáčkou přes šestihran umístěním u desky cyklického řízení. Důležité je zajistit, aby motor neběžel naprázdno bez zátěže. Rotorové listy musí být instalovány na vrtulníku. Během prvních dvou litrů paliva motor nesmí točit více jak 3000rpm a vrtulník by neměl opustit zem. Během záběhu motoru se nesmí plně otevřít škrticí klapka karburátoru. Při volnoběhu by měl z výfuku vycházet lehký dým. Příliš mnoho dýmu znamená bohatou palivovou směs a žádný dým znamená chudou směs. Regulace se provádí nízko-otáčkovou palivovou jehlou. Nastavování se provádí pootočením dané jehly maximálně o 1/8 otáčky. Nastavování otáček volnoběhu se provádí volnoběžnou vzduchovou jehlou.

Druhá část záběhu motoru:

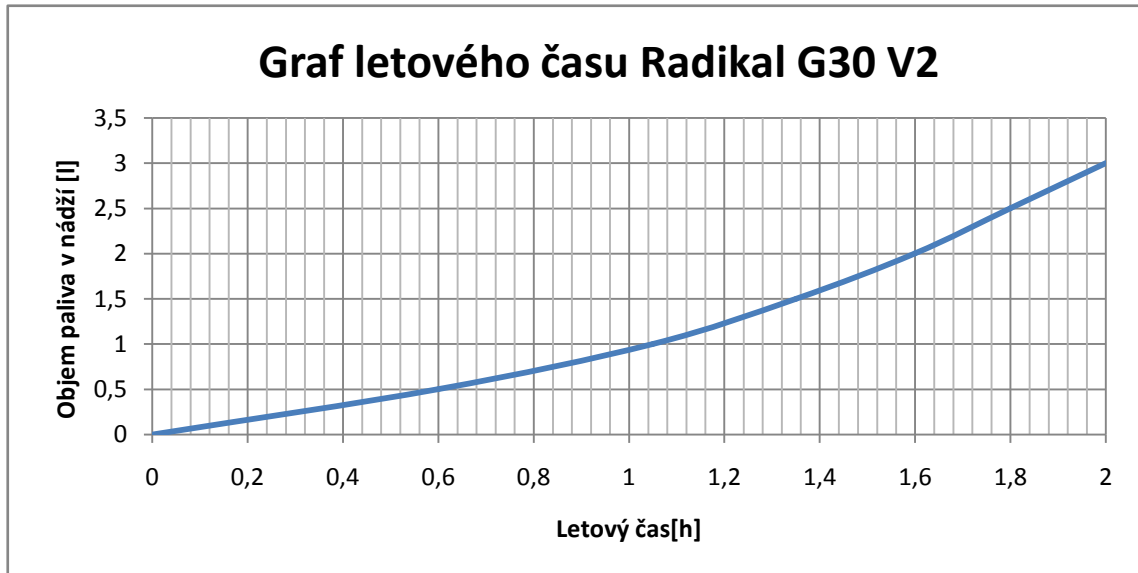
V této části se motor zabíhá ve středních otáčkách kolem 11000rpm a doporučuje se motor zabíhat na bohatší palivovou směs. Vysoko-otáčkovou palivovou jehlou se upraví směs, aby motor produkoval více dýmu, tím je zajištěno lepší chlazení a mazání motoru. Tato část záběhu motoru se provádí při visu a je požadováno spotřebovat čtyři litry paliva. Po každých pěti minutách se musí s vrtulníkem přistát a vypnout motor z důvodu chlazení a překontrolovat konstrukci draku na povolené šrouby. Tyto přestávky by měli trvat asi deset minut. Bez takto provedeného záběhu motoru dochází ke snížení jeho životnosti a výkon. Po provedení záběhu je možné postupně otevírat škrticí klapku karburátoru na maximum.

Údržbový seznam spalovacího motoru				
Položka	Akce	Před použitím	Každých 25 hodin	Každých 100 hodin
netěsnost, poškození	kontrola	✓	✓	✓
otáčky volnoběhu	kontrola, seřízení	✓	✓	✓
vzduchový filtr	kontrola, čištění	✓	✓	✓
zpalovací svíčka	kontrola, seřízení		✓	✓
válec	kontrola, čištění		✓	✓
píst, pístní kroužek	kontrola, čištění		✓	✓
výfuk, tlumič	kontrola, čištění	✓	✓	✓
ložiska	kontrola, čištění		✓	✓
kliková hřídel	kontrola souososti			✓
chlazení motoru	kontrola, čištění	✓	✓	✓
spojka	kontrola opotřebení	✓	✓	✓

Tabulka 9 Údržba motoru

4.3.2. Letové parametry

Vrtulník se spalovacím motorem byl vybrán z důvodu delšího letového času než je schopen poskytnout vrtulník s elektrickým pohonem. Výhodou je postupné spalování paliva a tím snižování hmotnosti vrtulníku.

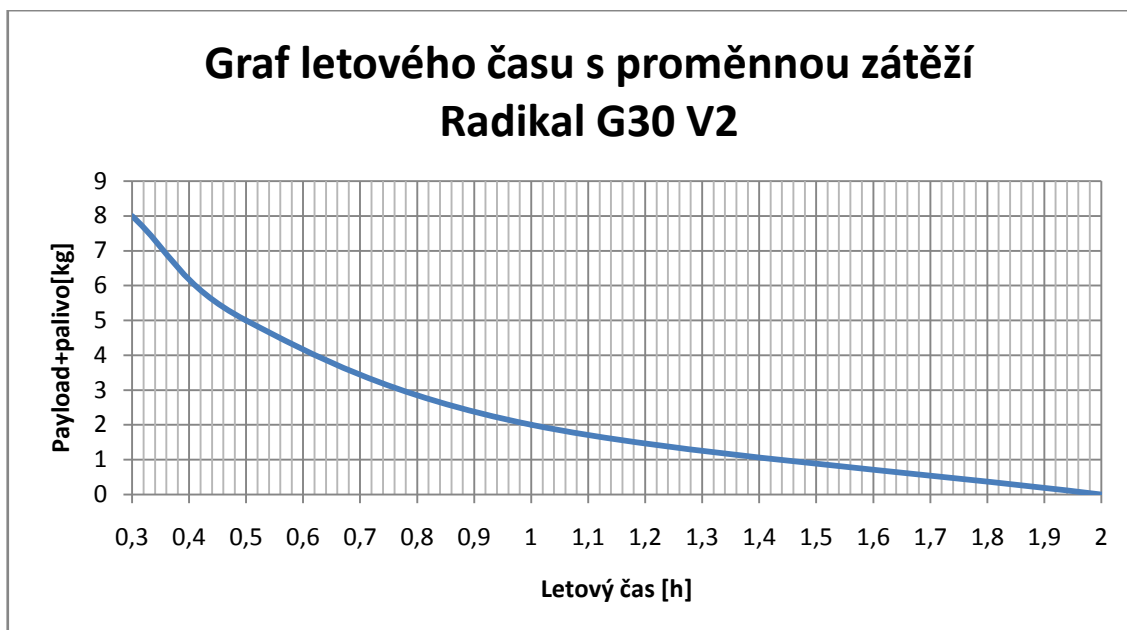


Graf 6 Letový čas Radikal G30 V2

Graf ukazuje jaký objem paliva je potřebný na odpovídající letový čas. Data jsou získána experimentálně a vzhledem k absenci měření spotřebovaného paliva průtokoměrem je nemožné přesně dopočítat letový čas. Experiment byl proveden ve visu vrtulníku při otáčkách hlavního rotoru 1100rpm a bez payloadu. Vzhledem k časové náročnosti experimentu není možné přesné stanovení grafu závislosti hmotnosti payload na letovém čase. Experimentu by pomohl průtokoměr, kterým bych stanovil spotřebu paliva pro různé zátěže a následně dopočítal letový čas, popřípadě stanovil spotřebu v závislosti na otáčkách hlavního rotoru.

Otáčky rotoru se musí pohybovat mezi 1000-2000rpm. Na 1000rpm se vrtulník pohybuje na hranici pádu s velice minimální ovladatelností. Na 2000rpm je konstrukční mez listů rotoru.

Tento vrtulník má obdobnou konstrukci jako LaHeli 700 a používá stejné rotorové listy v sériovém stavu. Maximální zatížitelnost je 8kg včetně paliva. Maximální hmotnost paliva v nádržích je 2,25kg. Při plných nádržích vrtulník poskytuje payload o hmotnosti více jak 5kg.



Graf 6 Letový čas Radikal G30 V2 s proměnnou zátěží

Tento graf poskytuje pouze představu o možném letovém čase s payloadem. Vzhledem k vstupu další neznámé v podobě spalování paliva a tím snižování hmotnosti vrtulníku, není možné bez měřícího prostředku v podobě průtokoměru paliva zjistit přesné hodnoty letového času.

5 Závěr

Tato diplomová práce si kladla za cíl seznámení s bezpilotními prostředky sestrojené v rámci studentské grantové soutěže ČVUT. Na tomto projektu je možné dále pokračovat zvláště v oblasti nastavení autopilotních systémů a modifikací spalovacího vrtulníku.

Autopilotní systémy je možné dále softwarově vylepšovat za účelem zdokonalení přesnosti letu. V současné době je systém odladěn na vis vrtulníku a držení jeho polohy. Let je poloautomatický a vyžaduje zásahy pilota. Pro pozdější využití vrtulníku jako plně bezpilotního prostředku, je nutná instalace dokonalejšího systému autopilota, než je momentálně instalován v Align T-Rex 500. Problematika spočívá v ceně a dostupnosti dokonalejších systémů. LaHeli 700 je vybaven pokročilou schopností stabilizace na dané pozici. Firma vyrábějící tento produkt nabízí dokonalejší verzi i s funkcí autopilota a implementovanou funkcí video přenosu až na 3km v rámci legálních vysílacích výkonů. Cena tohoto produktu však značně přesahovala náš finanční rozpočet. Nicméně se pravděpodobně jedná o to nejlepší co je možné v současnosti pořídit.

Modifikace spalovacího vrtulníku spočívá v popsáném zvětšení průměru rotoru pro zvýšení nosnosti a zvýšení letového času. Pro současné potřeby, vrtulník plně dostačuje se současným průměrem rotoru. Modifikace je určena v případě potřeb zvýšení užitečné hmotnosti anebo letového času. V případě provedení této modifikace je nutné opět získat data o letovém čase. Výroba trupu byla jednou z časově nejnáročnějších modifikací na vrtulníku a výroba formy včetně konečného stavu trupu proběhla ve firmě LA composite s.r.o., pouze maketu jsem vyráběl svépomocí v domácích podmínkách.

Výsledkem tohoto projektu jsou tři vrtulníky schopné letu a stabilizace ve visu, včetně manuálního řízení pomocí video přenosu. Tato práce má za úkol pouze seznámit s projektem. Neslouží jako manuál a nelze jí nahradit potřebné zkušenosti při stavbě, zalétávání a opravách vrtulníků. Nastavení autopilotních systémů a rc vysílače je velice náročné jak časově tak na potřebné znalosti. Bez řádného seznámení s obsluhou vrtulníků a příslušného vybavení je vysoce nebezpečné uvádět vrtulníky do provozu nebo se pokoušet jakkoliv zasahovat do konstrukce nebo avioniky. Vrtulníky mají poměrové výkony blízké se 1kg/1kW, zvláště u LaHeli, a mohou v okamžiku způsobit

značné škody na majetku a újmy na zdraví. Dále mají vysoké akcelerační výkony, vysoce rychlou odezvu na plyn a na pohyby kniplů na vysílači. Při pohybu v těsné blízkosti vrtulníku na zemi je potřebné mít zajištěn plyn proti zapnutí motoru. Velice rychlý nárůst otáček rotoru může způsobit zranění při kontaktu člověka s rotorovými listy. K tomuto projektu je potřebné přistupovat se značným respektem. Při letu vrtulníku je potřebné se držet co nejdále od obydlených oblastí a předpovídat možný výskyt osob v letovém prostoru. Sřet vrtulníku takovéto kategorie s člověkem má vždy fatální následky.

Použitá literatura a seznam příloh

Použitá literatura:

- [1] Brázda, Slavomír. *Sledovací bezpilotní prostředek*. Praha 2013 Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy
- [2] Karburátor, Walbro. berx.cz [Online] [Citace: 15. květen 2015.] <http://www.berx.cz/navody/19.html>
- [3] Century Helicopter. *Modified engine*. San Jose: HWC, 2014.
- [4] DJI. *Wookon-H*. Beijing: DJI, 2013.
- [5] Podchvat. vrtulnik.cz [Online] [Citace: 15. květen 2015.] <http://www.vrtulnik.cz/teorie/podchvat.htm>
- [6] Century, UAV 1000. *sphotos-b.xx.fbcdn.net*. [Online] [Citace: 15. květen 2015.] <http://sphotos-b.xx.fbcdn.net/hphotosash4.jpg>.
- [7] 800, Align T-rex. *images.rcuniverse.com*. [Online] [Citace: 15. květen 2015.] <http://images.rcuniverse.com/market/itemimages/Feb/lg-1061871-0-9226.jpg>.
- [8] Pohonné, baterie. *shop.omnitron.cz*. [Online] [Citace: 4. květen 2015.] <http://shop.omnitron.cz/akumulatory-a-baterie-199/lipol-thunder-power/g6-pro-power-65c/tp-5000-6s-65c-g6-ppwr-4893.html>.
- [9] vrtulníků, Třídy. *rchelicopterfun.com*. [Online] [Citace: 15. květen 2015.] http://www.rchelicopterfun.com/images/Heli_Size500pics.gif.
- [10] motor, benzínový. *vario-helicopter.net*. [Online] [Citace: 15. květen 2015.] <http://www.vario-helicopter.net/typo3temp/pics/6bc3450f4f.jpg>.
- [11] motor, proudový. *runryder.com*. [Online] [Citace: 15. květen 2015.] <http://runryder.com/helicopter/gallery/516/jetheligrapnersidevieww.jpg>.
- [12] FP, Cyklika typu. *radio-model.com*. [Online] [Citace: 18. květen 2015.] http://radio-model.com/products_pictures/cb180d-05.jpg.
- [13] Brož, Václav. *Modely RC vrtulníků*. Brno : Computer Press, 2004.
- [14] 700, LaHeli. *laheli.com*. [Online] [Citace: 7. květen 2015.] <http://www.laheli.com/web/article.php?aid=80&clanek=LA700>.

- [15] T12-FG, Futaba. /www.htmodel.sk. [Online] [Citace: 5. červen 2015.]
<http://www.htmodel.sk/produkty/funkcne-modely/rc-supravy-vysielace-simulatory-pc/9894.html>.
- [16] 700, SAB Goblin.*goblin-helicopter.com*. [Online] [Citace: 6. červen 2015.]
http://www.goblin-helicopter.com/shop/product_info.php?cPath=96_97&products_id=22161.
- [17] G30, Century Radikal.*centuryheli.com*. [Online] [Citace: 5. červen 2015.]
http://www.centuryheli.com/products/helikits/CN1342_RadikalG30v2/index.html?pageid=287.
- [18] mixing, Bell Hiller.*rchelicopterfun.com*. [Online] [Citace: 4. květen 2015.]
<http://www.rchelicopterfun.com/bell-mixing.html>.
- [19] 120, Kontronik Pyro 700 Helijive.*kontronik.com*. [Online] [Citace: 4. duben 2015.]
http://www.kontronik.com/index.php?option=com_content&view=article&id=129&Itemid=100&lang=en.
- [20] 710, Spin Blades.*shop.spinblades.com*. [Online] 4. duben 2015.
<http://shop.spinblades.com/de/spinblades-onlineshop/matt-black-scale.html>.
- [21] soupravy, RC.*rcnoviny.cz*. [Online] [Citace: 4. květen 2015.]
<http://www.rcnoviny.cz/2011/02/aeroskola-dil-ctvrty-rc-soupravy/>.
- [22] 700, Align T-REX.*align.com.tw*. [Online] [Citace: 8. květen 2015.]
http://www.align.com.tw/alignhtml/EN/product_introduction/201307%20700E%20F3C%20V3.html.
- [23] 90e, Kasama Srimok.*kasama.com*. [Online] [Citace: 4. červen 205.]
<http://www.kasama.com/index.php?option=contentpage&sub=22>.
- [24] E720, Thunder Tiger.*amainhobbies.com*. [Online] [Citace: 7. červen 2015.]
http://www.amainhobbies.com/product_info.php/cPath/2_382_718/products_id/214478/n/Thunder-Tiger-Raptor-E720-G4-Electric-Flybarless-Helicopter-Kit.
- [25] Futaba, serva.*astramodel.cz*. [Online] [Citace: 5. květen 2015.]
<http://www.astramodel.cz/cz/katalog/serva/pruvodce-c715.html>.

-
- [26] stabilizace, HC3-sx.*jino.cz*. [Online] [Citace: 4. květen 2015.]
<http://www.jino.cz/hc3-sx-robbe-8571-4958.html#>.
- [27] S800, DJI.*myhelis.com*. [Online] [Citace: 15. květen 2015.]
http://myhelis.com/images/D/S_800_S.jpg.
- [28] motor, spalovací nitro.*onthedeckrc.com*. [Online] [Citace: 15. květen 2015.]
<http://www.onthedeckrc.com/53-thickbox/align-t-rex-700-nitro-helicopter-combo-kit.jpg>.
- [29] Rumíšek, Jiří. *RC revue*. Praha : RCR, 2012.
- [30] Janko, Václav. *RC Modely*. Praha : RCR, 2013.

Seznam příloh:

1. Graf letových parametrů

Příloha 1 Graf letových parametrů

