



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy**

**Sledovací bezpilotní prostředek ČVUT FD
Aplikace pozorovacích zařízení**

**Tracking Unmanned Aerial Vehicle CTU FTS
Application of Observation Facilities**

diplomová práce

Studijní program: B 3710 – Technika a technologie v dopravě a spojích
Studijní obor: PL – Provoz a řízení letecké dopravy

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

Bc. David Hůlek

Praha 2014/2015



K621..... Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. David Hůlek

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy

Název tématu (česky): **Sledovací bezpilotní prostředek ČVUT FD - Aplikace pozorovacích zařízení**

Název tématu (anglicky): Tracking Unmanned Aerial Vehicle CTU FTS - Application of Observation Facilities

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Úvod
- Analýza pozorovacích zařízení
- Podrobný popis vybraných pozorovacích zařízení
- Instalace a testování vybraných zařízení
- Ochranná opatření pro pozorovací zařízení
- Závěr

- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Česká republika. Letecký předpis: Pravidla létání - L2. In: Praha, 2000. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
Akademie letectví: UAV [online]. 2014. Dostupné z: http://www.airspace.cz/akademie_letectvi/tag/uav/
LEINVEBER, J., VÁVRA, P., Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. Albra, 2008

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

Datum zadání diplomové práce: **31. července 2014**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **31. května 2015**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



doc. Ing. Daniel Hanus, CSc.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.



Bc. David Hůlek
jméno a podpis studenta


V Praze dne31. července 2014

Prohlášení

Nemám závažný důvod proti užívání 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).

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.

V Praze dne 26. 5. 2015

podpis autora.....

Abstrakt

Autor: Bc. David Hůlek

Název: Sledovací bezpilotní prostředek ČVUT FD – Aplikace pozorovacích zařízení

Škola: České vysoké učení technické v Praze

Fakulta: Fakulta dopravní

Rok vydání: 2015

Typ práce: diplomová práce

Klíčová slova: sledovací bezpilotní prostředek ČVUT FD, aplikace pozorovacích zařízení, UAV ČVUT FD, pozorovací zařízení na bezpilotním prostředku ČVUT FD

Diplomová práce navazuje na problematiku bakalářské práce s názvem *Sledovací bezpilotní prostředek ČVUT FD – Analýza pozorovacích zařízení*. Cílem práce je vybrat vhodné umístění a připevnění na bezpilotní prostředek pro zařízení, která byla vybrána v bakalářské práci, a řešení problémů s tím spojených. Dále je cílem popsat proces testování, vzniklé problémy, jejich odstranění a vyřešit ochranu zařízení před nepříznivými vlivy. V první části jsou shrnuty poznatky z předchozích akademických prací. Následuje podrobný popis zařízení. Výběr vhodného umístění byl proveden na základě předem stanovených kritérií. Problémy vzniklé při testování se řešily analýzou příčin problémů a hledání řešení ve spolupráci se spoluřediteli projektu a studiem podobných problémů na internetu. Výsledkem je vhodné umístění a upevnění jednotlivých zařízení na bezpilotní prostředek, vyvážení bezpilotního prostředku a úplné nebo částečné, ale dostačující, vyřešení problémů. Hlavní přínos práce je zdokumentování průběhu projektu zabývajícím se bezpilotním prostředkem pro ČVUT Fakultu dopravní tak, aby další řešitelé mohli snadno zjistit, co již bylo na projektu uděláno a jakým způsobem.

Abstract

Author: Bc. David Hůlek

Title: Tracking Unmanned Aerial Vehicle CTU FTS – Application of Observation Facilities

University: Czech Technical University

Faculty: Faculty of Transportation Sciences

Year of publication: 2015

Type of document: diploma thesis

Keywords: tracking unmanned aerial vehicle CTU FTS, application of observation facilities, UAV CTU FTS, observation facilities on unmanned aerial vehicle CTU FTS

The diploma thesis is built on the bachelor thesis with title *Tracking Unmanned Aerial Vehicle CTU FTS – Analysis of observation facilities*. The goals are to find suitable places and types of attachment on the UAV for the facilities, which were selected in the bachelor thesis, and to solve problems connected to it. Other goals are to describe the process of testing, to describe emerging problems connected to the process and their removal and to solve protection of the facilities against unfavourable effects. There is a summarization of the findings found out in previous academic works in the first part of thesis. The following part is about detailed description of the facilities. The choice of suitable places was based on predetermined criteria. The problems developed during the testing were solved by the analysis of the causes and were dealt with by cooperation with the co-workers of the project and by studying similar problems on the Internet too. The results are suitable places and attachment of each facility on the UAV, the balance of the UAV and complete or partial but sufficient solution of the problems. The main benefit of this thesis is the documentation of the project dealing with the tracking unmanned aerial vehicle for the CTU Faculty of Transportation Sciences so that other researchers can easily find out what has already been done on the project and how.

Obsah

0	ÚVOD	- 9 -
1	ANALÝZA POZOROVACÍCH A PŘENOSOVÝCH ZAŘÍZENÍ	- 11 -
1.1	POZOROVACÍ ZAŘÍZENÍ	- 11 -
1.2	PŘENOSOVÁ ZAŘÍZENÍ	- 12 -
2	PODROBNÝ POPIS VYBRANÝCH ZAŘÍZENÍ	- 13 -
2.1	HLAVNÍ KAMERA	- 13 -
2.2	MINIKAMERA	- 16 -
2.2.1	<i>Rozdělovač video signálu</i>	- 17 -
2.2.2	<i>Video grabber</i>	- 18 -
2.3	FPV BRÝLE	- 19 -
2.3.1	<i>Head Tracking modul</i>	- 20 -
2.3.2	<i>Video převodník</i>	- 22 -
2.4	TERMOVIZNÍ KAMERA	- 23 -
2.5	VYSÍLAČ	- 24 -
2.6	PŘÍJÍMAČ	- 25 -
2.7	SMĚROVÁ ANTÉNA	- 26 -
2.8	AAT	- 29 -
2.8.1	<i>Tracker</i>	- 29 -
2.8.2	<i>Driver</i>	- 30 -
2.8.3	<i>OSD</i>	- 31 -
2.8.4	<i>GPS modul</i>	- 33 -
3	INSTALACE A TESTOVÁNÍ	- 35 -
3.1	INSTALACE	- 35 -
3.1.1	<i>Sledovací bezpilotní prostředek</i>	- 35 -
3.1.2	<i>Pozemní stanice</i>	- 49 -
3.2	TESTOVÁNÍ	- 53 -
3.2.1	<i>Hlavní kamera</i>	- 53 -
3.2.2	<i>Minikamera</i>	- 55 -
3.2.3	<i>FPV brýle</i>	- 56 -
3.2.4	<i>AAT tracker</i>	- 56 -
3.2.5	<i>OSD</i>	- 57 -
4	OCHRANNÁ OPATŘENÍ	- 59 -
5	ZÁVĚR	- 62 -
	POUŽITÁ LITERATURA	- 64 -
	PŘÍLOHY	- 66 -

Použité zkratky a symboly

AAT	Automatic Antenna Tracker; automatické natáčení antény
bps	bits per second; počet úkonů za sekundu (přenosová rychlost)
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor; typ senzoru snímajícího obraz
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DC	Direct Current; stejnosměrný proud
DVI	Digital Visual Interface; rozhraní pro digitální spojení počítač – video zařízení
fps	frames per second; počet snímků za sekundu
FPV	First Person View; pohled z první osoby
GND	GrouND; označení uzemnění
HDMI	High-Definition Multi-media Interface; typ video konektoru
NTSC	National Television System Committee; standard pro kódování analogových TV signálů
OSD	On Screen Display, zařízení zobrazující data ve video obrazu
PAL	Phase Alternating Line; standard pro kódování barevných analogových TV signálů
PC	počítač
RC	Remote Control, dálkové ovládání
RCA	Real Cable Audioquest; typ elektronického konektoru (cinch konektor)
SBP	Sledovací Bezpilotní Prostředek
SECAM	SÉquentiel Couleur à Mémoire; kódování barevných TV signálů
TIG	Tungsten Inert Gas; wolfram + inertní plyn (metoda svařování)
UAV	Unmanned Aerial Vehicle; bezpilotní létající prostředek
VGA	Video Graphics Array; rozhraní pro analogové spojení počítač – video zařízení
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio; poměr vysílané a přijímané energie
WIG	Wolfram Inert Gas; wolfram + inertní plyn (metoda svařování)
.JPEG	Joint Photographic Experts Group; typ obrazového formátu
.MOV	typ video formátu
.WAV	WAVEform audio file format; typ zvukového formátu

Význam zkratk byl ověřen přes zkratky.cz. Bibliografická citace viz *Použitá literatura*.

Poděkování

Autor diplomové práce by rád poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Martinu Novákovi, Ph.D. za odborné vedení práce a cenné rady, které poskytl.

Dále by rád autor poděkoval spoluředitelům projektu panu Bc. Slavomíru Brázdovi a panu Bc. Karlu Hercikovi. Bez jejich spolupráce by práce na projektu byla jistě náročnější.

Autorovo dík patří i panu Ing. Stanislavu Pleningerovi, Ph.D., ČHMU a panu Bc. Martinu Zachovi za jejich odborné rady, názory a ochotu odpovědět na autorovi dotazy.

V neposlední řadě by autor rád poděkoval firmě LIS Liberec s.r.o., která autorovi umožnila výrobu otočného mechanismu a jiných drobných dílů potřebných pro projekt a poskytla materiál na výrobu.

0 Úvod

Diplomová práce navazuje na bakalářskou práci s názvem *Sledovací bezpilotní prostředek ČVUT FD – Analýza pozorovacích zařízení* [1]. V bakalářské práci byly analyzovány dostupné sledovací prostředky a vybrány ty nejvhodnější.

Diplomová práce má za úkol sepsat pořízené vybavení a zmínit všechny parametry a funkce, které jednotlivá zařízení mají. Je nutné zmínit, že diplomová práce neřeší pouze sledovací prostředky typu kamery, termovizní kamery, FPV brýle a další zařízení řešená v bakalářské práci. Práce řeší i zařízení pro přenos video signálu z bezpilotního prostředku k pozemní stanici. Přenosovou výbavu řešil Karel Hercik ve své bakalářské práci s názvem *Sledovací bezpilotní prostředek ČVUT FD – Bepilotní a přenosový systém* [2]. Aby bylo zajištěno zdokumentování vybavení řešených K. Hercikem, který na diplomovou práci v tématu nepokračoval, bylo rozhodnuto, že se práce rozdělí mezi zbývající účastníky projektu a k pozorovacím zařízením se přidala i zařízení pro přenos video signálu.

Druhým úkolem práce je podrobně popsat instalaci a zapojení všech zařízení, a to na bezpilotním prostředku i na pozemní stanici. V rámci řešení umístění zařízení na bezpilotní prostředek je řešena i centráž. Zvláště důležité je popsání zapojení a napájení všech zařízení. Podrobná dokumentace zajistí možnost pokračování v projektu jinými pracovníky, kteří by po přečtení akademických prací týkající se daného projektu měli získat dostatečný přehled, jak sledovací a přenosový systém funguje, jak je napájen a jaké umožňuje funkce a použití.

Diplomová práce se také snaží zdokumentovat postup testování funkčnosti bezpilotního prostředku i přidaných pozorovacích a přenosových zařízení. Popis problémů, jejich možných řešení a odstranění je, stejně jako dokumentace instalace a zapojení, důležitý pro bezproblémové pokračování projektu. Lidé, kteří budou pokračovat na projektu, se mohou z problémů poučit a vyhnout se jim nebo mohou vymyslet jiná řešení problémů, které nebyly zcela odstraněny.

Jelikož může být UAV použito i v náročnějších provozních podmínkách, je jedním z cílů i ochrana jednotlivých zařízení před nepříznivými vlivy. Těmito vlivy mohou být vlhkost, prach, nízké teploty, nízký tlak a další. Práce popisuje stávající ochranná opatření a v teoretické rovině navrhuje další, která z různých důvodů nemohla být aplikována.

Je nutné zmínit, že typem bezpilotního prostředku, který byl vybrán spolupracovníkem Slavomírem Brázdou, je RC model vrtulníku. V práci může být vrtulník označován i výrazy jako bezpilotní prostředek, RC model, UAV a další podobná označení.

Při řešení umístění jednotlivých zařízení a problémů vzniklých při testování byl postup následující. Po analýze umístění/problému se navržená řešení prokonzultovala s ostatními řešiteli projektu, porovnála se s řešeními publikovanými na internetu a vybralo se nejvhodnější řešení.

1 Analýza pozorovacích a přenosových zařízení

Analýza pozorovacích zařízení byla podrobně provedena v předchozí akademické práci [1]. Následující část má za úkol pouze shrnout zjištěné poznatky ze zmiňované práce. Druhá část kapitoly se věnuje shrnutí části bakalářské práce pojednávající o přenosovém systému [2].

1.1 Pozorovací zařízení

Analýza všech zařízení zkoumaných v předcházející akademické práci [1] probíhala ve své podstatě totožně. Nejprve byly stanoveny hlavní parametry a požadavky na ně. V potaz byly brány i ostatní, méně důležité, parametry. Poté bylo většinou na internetu zkoumáno určité množství zařízení, která odpovídala požadovaným parametrům. Následně byly vytvořeny jednoduché vícekriteriální rozhodovací tabulky pro každý typ zařízení. Jednotlivé parametry byly obodovány a výsledný součet určil, zda je model vyhovující či nikoli. V jedné z posledních kapitol práce bylo navrženo, jakým způsobem budou zařízení na SBP připevněny.

U videokamery byly hlavními parametry: malé rozměry a nízká hmotnost, vysoké rozlišení a *fps*, cena, kapacita paměti, zda má funkci fotoaparátu plus jeho rozlišení a nakonec výdrž baterie. Při výběru minikamery byl kladen důraz na nízkou hmotnost, kompaktní rozměry, rozlišení, zorný úhel a cenu.

Finální rozhodování ve výběru FPV brýlí ovlivnily: Head Tracking (možnost sledování pohybu hlavy uživatele a otáčení kamery na SBP ve směru jejího pohybu), zda mají brýle video vstup, jejich cena, rozlišení, úhel pohledu a zda mají baterii nebo musí být napájeny z externího zdroje.

Parametry ovlivňující výběr nejvhodnější termovizní kamery byly především malé rozměry, nízká hmotnost, cena, rozumné rozlišení, citlivost kamery na určení snímané teploty a rozsah měřených teplot.

1.2 Přenosová zařízení

Přenosová zařízení vybíral K. Hercik ve své bakalářské práci [2]. Výběr byl rozčleněn do několika částí. V první části jsou definovány požadavky na celý přenosový systém. Nejdůležitějším požadavkem byla neovlivnitelnost radiového ovládání RC modelu. Další důležitý požadavek byl velký dosah přenosu signálu.

Druhá část se zabývala výběrem přenosové frekvence a jednotlivých dílů přenosového systému. Navrhované frekvence byly 900 MHz, 1,2 GHz, 1,3 GHz, 2,4 GHz a 5,8 GHz. Po zvážení všech možností byla vybrána frekvence 5,8 GHz. Vysvětlení, proč byla vybrána právě frekvence 5,8 GHz a ostatní byly zamítnuty, není obsahem této práce. Podrobné vysvětlení lze nalézt v bakalářské práci K. Hercika [2].

Při výběru vhodných vysílačů hrál roli, mimo potřeby vysílat na vybrané frekvenci, požadavek na velký vysílací výkon. Čím vyšší vysílací výkon, tím je zaručen vyšší dosah přenosu signálu. Pro potřeby našeho bezpilotního prostředku je potřebný dosah v jednotkách až desítkách km.

Video signál nestačí pouze vysílat. Je potřeba mít také kvalitní přijímací soustavu. Požadavky na přijímací soustavu byly následující: schopnost přijmout signál i z větší vzdálenosti (řádově kilometry), schopnost přijímat signál i z velmi nízké vzdálenosti (řádově metry) a samostatnost. Proto byly vybírány systémy, které kombinují příjem směrové i všesměrové antény a jsou schopny automaticky natáčet směrovou anténu do směru příchodu signálu. V úvahu se bral i systém, který byl schopen vysílat svoji GPS polohu pro lepší natáčení směrové antény. Na přání pilota se hledal i vhodný OSD systém. OSD systém mísí do video signálu letové údaje jako je výška, rychlost letu atd. Tyto údaje se zobrazují spolu s videem na zobrazovacím zařízení připojeném k přijímací soustavě (např. v FPV brýlích).

2 Podrobný popis vybraných zařízení

Následující text pojednává o zařízeních, která byla nakonec vybrána a následně použita pro testovací lety. Během testovacích letů jsme s kolegy narazili na několik překážek a závad. Proto byla některá zařízení dokoupena v průběhu testování. U každého zařízení je vysvětleno, pro jaký účel bylo pořízeno a zda bylo zakoupeno na začátku práce nebo v průběhu testování a prací na SBP.

2.1 Hlavní kamera

Pro účely projektu byly pořízeny dvě kamery. Hlavní kamera, která bude popsána v této podkapitole, je určena především pro pozorovací lety s kvalitním záznamem. Druhou kamerou je miniaturní kamera určená především pro testovací lety a pro lety s meteorologickou sondou. Tato kamera pořízená před zahájením testovacích letů je podrobně popsána v kapitole 2.2.

Konečný výběr kamery nedopadl vůbec tak, jak by se dalo předpokládat z výběru v bakalářské práci [1]. V té vyšly nejlépe sportovní videokamery od firmy *GoPro*. Původně bylo zamýšleno, že se objedná a zakoupí kamera *GoPro HERO2 MOTORSPORT*. Vlivem špatné komunikace mezi námi a objedávající osobou byla pořízená kamera jiná. V obchodu, ze kterého měla být kamera pořízena, přestali kamery *GoPro HERO2* prodávat. Byla nabídnuta alternativa v podobě kamery od firmy *AEE, MagiCam SD21*. V bakalářské práci [1] byla uvedena jako *ActionPro SD21*. Alternativní kamera byla objednána, aniž by to bylo s námi podrobně prodiskutováno. V konečném důsledku pořízení kamery *MagiCam SD21* vůbec nevádí. V rozhodovací tabulce dopadla kamera dobře. Navíc má výhody v podobě nižší pořizovací ceny, než kamera *GoPro HERO2* a levnějších doplňků. Kamera byla pořízena na začátku projektu.

Tolik ke shrnutí a vysvětlení, proč nakonec nebyla pořízena vybraná kamera, ale jiná. Nyní budou uvedeny veškeré parametry a funkce pořízené kamery (obr. 1) [3]:

- objektiv: širokoúhlý (až 170 ° úhel záběru), f/2.8
- senzor: CMOS
- rozlišení: 1 920 x 1 080 px při 50 nebo 25 fps, 1 280 x 960 px při 25 fps, 1 280 x 720 px při 50 nebo 25 fps, 848 x 480 px při 100 nebo 25 fps
- kódování: PAL/NTSC

- počet pixelů fotoaparátu: 3, 5 nebo 8 *Mpx*
- zoom: 10x digitální
- formát videa, audia a fotografií: .MOV, .WAV, .JPEG
- paměť: SDHC až 64 *GB*
- baterie: 1 000 *mAh* Li-Ion, záložní 1 100 *mAh*
- max. spotřeba energie: 650 *mA* při 3,7 *V*
- max. doba nahrávání: 4 *hod.*
- pohotovostní režim: 200 *hod.*
- nabíjení: cca 3 *hod.*
- rozhraní: USB 2.0, HDMI, audio
- rozměry: 61 x 51 x 42 *mm*
- hmotnost: 80 *g* bez displeje, 105 *g* s displejem
- hmotnost plastového krytu: 105,5 *g*
- provozní teplota: -10 až +50 °C
- provozní vlhkost: 15 až 85 %



Obr. 1 – Sportovní kamera AEE MagiCam SD21 (ActionPro SD21).

Parametry byly již popsány, nyní budou popsány funkce videokamery. Pro nahrávání video záznamu lze nastavit mezi třemi zobrazovacími úhly: úzký, střední a široký. Při širokém úhlu záběru je obraz lehce zaoblený do půlkruhu. Lze nastavit i Bit rate na vysoký nebo normální. Kamera je vybavena laserovým ukazatelem, který usnadňuje orientaci při nahrávání. Video lze nahrávat se zpožděním nebo s předstihem. Při zpoždění si můžeme zvolit, zda kamera začne nahrávat 5, 10 nebo 20 s po spuštění

nahrávání. Nahrávání s předstihem funguje tak, že po stisknutí zapnutí nahrávání se před záznam uloží několik posledních sekund záznamu z dočasné paměti, který byl pořízen kamerou automaticky. K nahrávce lze přidat čas. Při zavěšení kamery vzhůru nohama má kamera funkce otočení obrazu o 180 °. V případě potřeby je možné nahrávat pouze zvukový záznam [3].

Fotografování má 4 funkce. Buďto může uživatel fotit pouze jednotlivé snímky nebo sekvenci 3 snímků, časoměr anebo samospoušť. Při časoměru jsou snímky pořizovány kontinuálně po 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30 nebo po 60 s. Samospoušť lze nastavit na 3, 5 nebo 10 s. Do fotografií lze vložit čas [3].

Ve videokameře lze nastavit i jiné funkce. Jednou z nich je varovný tón při cvaknutí uzávěrky. Další funkcí je nekonečné nahrávání. Kamera ukládá posledních 15 min nahraného záznamu. Funkce automatické vypnutí spočívá v automatickém převedení kamery do pohotovostního režimu po 2, 5 nebo 10 minutách. Při použití jakéhokoliv tlačítka se opět aktivuje. Funkce černé skříňky pracuje tak, že kamera se při otřásání sama zapne a nahrává ještě 3 minuty po ukončení otřesů. U kamery může uživatel nastavit kontrast (standard/zvýšený), ISO pro snímání ve tmě, nebo délku expozice [3].

Kamera má indikaci kapacity baterie a paměťové karty a indikaci připojení USB. Vhodným příslušenstvím je bezdrátové dálkové ovládání s tlačítky na ovládání zapnutí/vypnutí nahrávání a pořizování fotografií. Dálkové ovládání je funkční do 10 m. Díky přídatnému displeji lze kameru jednoduše přenastavit, shlédnout nahraný záznam nebo pořízené fotografie. Kamera je vybavena běžným stativovým závitem (W 1/4) [3].

Mimo zmíněné kamery a dálkového ovládání balení obsahuje vodotěsné pouzdro do 100 m použitelné i jako ochrana proti mechanickému poškození, vyměnitelný displej, baterii, záložní baterii (vkládá se do kamery místo displeje), dobíjecí příslušenství, miniUSB kabel, kabel s RCA konektory, sáček a popruh, paměťovou kartu, několik držáků a samolepící 3M úchyty, CD a uživatelskou příručku. Jak již bylo zmíněno, ke kameře lze dokoupit spoustu příslušenství v podobě různých druhů držáků a samolepících 3M úchyťů, přídatných baterií, odmlžovací pásky do pouzdra, které pohlcují vlhkost, kabely a další.

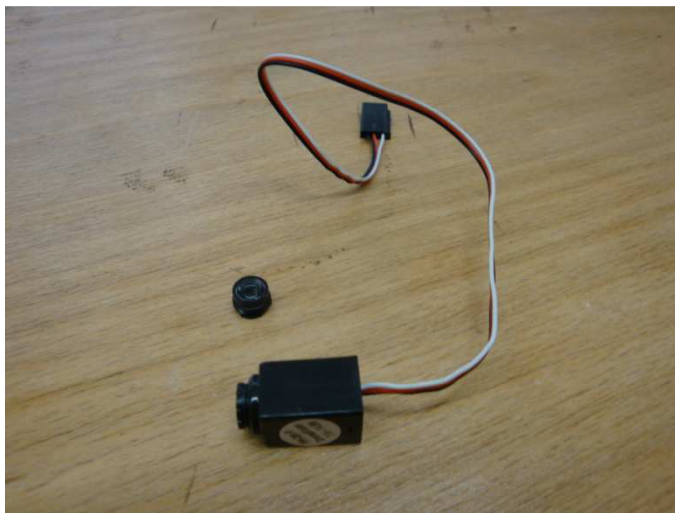
2.2 Minikamera

Jak už bylo řečeno, miniaturní kamera je určena především pro lety s meteorologickou sondou. Také je hojně využívána především pro testovací lety, neboť není tak drahá jako hlavní kamera. Pro tyto účely její horší parametry oproti druhé kameře jsou dostačující. Kamera byla pořízena před testovacími lety.

Nyní si tuto kameru podrobně popíšeme. V bakalářské práci [1] bylo vybráno několik minikamer, které byly vhodnými kandidáty. Zvolená kamera byla vybrána ze dvou důvodů. Tím prvním je fakt, že svými parametry patřila mezi vhodné kamery. Druhý důvod byl, že tyto typy kamer se v ČR hůře shánějí, proto se kamera musela objednat ze zahraničí (konkrétně z USA), a zároveň aby byl nákup ze zahraničí jednodušší, objednala se kamera ze stejného obchodu, jako směrová anténa, AAT systém a další přenosová zařízení.

Vybranou kamerou je *FPV Camera DroneVision FPV-CM1 520TVL 0.008Lux* (obr. 2). Její parametry jsou [4]:

- senzor: jeden čip $\frac{1}{3}$ CMOS
- kódování: PAL
- počet pixelů: 786(H) x 576(V) px
- zpracování obrazového signálu: digitální
- horizontální rozlišení: 520TV Lines
- citlivost: 0.008 lux/F1.2
- zorný úhel: 55 °
- odstup šumu: 52 dB
- video výstup: 1,0 V p-p/75 Ω
- rozměry kamery: 11,5 x 11,5 x 21 mm
- rozměry senzoru: 4,75 x 3,55 mm
- hmotnost: 2 g
- pracovní napětí: 7,4 – 17,8 V, DC
- pracovní proud: 70 mA



Obr. 2 – Minikamera FPV Camera DroneVision FPV-CM1 520TVL 0.008Lux s vyměnitelnou čočkou.

Součástí balení byla FPV minikamera s kabely a dvě vyměnitelné čočky s různou hloubkou ostrosti. Pro dané použití byla vybrána ta, která má velkou hloubku ostrosti.

Nevýhodou takto malé kamery je, že nemá integrovaný systém pro záznam videa. Jinými slovy kamera pouze zobrazuje video v reálném čase. Aby mohly být pořizovány nahrávky, muselo se dokoupit několik zařízení, která umožňují video signál převést do počítače. V PC může být obraz vhodným softwarem nahrán. Následující dvě podkapitoly popisují tato zařízení.

2.2.1 Rozdělovač video signálu

Rozdělovač a zesilovač video signálu je elektronické zřízení, které rozdělí, a případně i zesílí, příchozí video signál až do 4 výstupů. Konkrétně v našem případě bude možné video signál z kamery promítat ve video brýlích i na PC. Z několika možných variant, které se prakticky neliší, byl vybrán rozdělovač *1 to 4 Car DVD LCD TV Video Monitor Amplifier Booster Distribution RCA Splitter* (obr. 3). Zesílení lze nastavit u jednotlivých výstupů zvlášť. Rozdělovač byl pořízen během testů. Parametry rozdělovače jsou [5]:

- typ konektorů: RCA
- video vstup: 2 V, sin/cos signál (2 Vpp)
- video výstup: 0,5 až 1,5 V, 75 Ω , sin/cos signál (0,5 – 1,5 Vpp)
- napájecí napětí: 12 V, DC
- rozměry: 96 x 80 x 21 mm
- hmotnost: 137 g



Obr. 3 – Video rozdělovač 1 to 4 Car DVD LCD TV Video Monitor Amplifier Booster Distribution RCA Splitter.

2.2.2 Video grabber

Video grabber je zařízení, které umožňuje spojení RCA nebo S-Video konektoru s počítačem přes USB. Pro potřeby projektu byl vybrán *EasyCAP 1 Channel USB 2.0 Video Audio Capture Adapter* (obr. 4). Součástí balení je instalační a aplikační software. Instalační software umožní zařízení nainstalovat a aplikační software umožňuje zaznamenávat přenášené video i audio (bez zvukové karty v PC). Součástí balení je i návod a prodlužovací USB kabel. Video grabber byl pořízen v průběhu projektu. Technické parametry jsou [6]:

- video vstup: 1 RCA konektor, 1 S-Video konektor
- audio vstup: 2 RCA konektor (stereo)
- formáty videa: PAL 720 x 576 px při 25 fps; NTSC 720 x 480 px při 30 fps
- výstup: USB 2.0, typ A
- napájení: přes USB (5 V, DC)
- rozměry: 90 x 25 x 14 mm
- hmotnost: 129 g



Obr. 4 – Video grabber EasyCAP 1 Channel USB 2.0 Video Audio Capture Adapter s CD.

2.3 FPV brýle

Výběr FPV brýlí nedopadl tak, jak by se dalo předpokládat. V předcházející práci [1] byly vybrány brýle od firmy *FAT SHARK*. Přesněji, nejlépe dopadl model *Attitude SD*. Po konzultaci s vedením projektu bylo rozhodnuto, že se použijí brýle, které v té době již škola vlastnila. Tím se ušetřily peníze, které se použily na nákup jiného vybavení. Použité brýle vyrábí firma *Vuzix* a nesou modelové označení *iWear VR920* (obr. 5). Parametry brýlí jsou [7]:

- display: 2 LCD displeje 640 x 480 px (pohled je stejný jako na 62 palcovou obrazovku ze vzdálenosti 2,7 m), 60 Hz, barvy 24bit, možnost 3D projekce
- zorný úhel: 32 °
- Head Tracker: ANO, 3osý
- mikrofon: integrovaný
- reproduktory: odpojitelná sluchátka
- vstupní video: až 1 024 x 768 px (VGA formát)

- kompatibilita: s 32bit i 64bit operačním systémem
- napájení: přes USB kabel (5 V, DC)
- rozměry: 126 x 35 x 26 mm (bez nožiček)
- hmotnost: 100 g



Obr. 5 – FPV brýle iWear VR920.

Balení obsahuje mimo brýlí s USB a VGA kabelem také dvojce sluchátka, provázek na uchycení brýlí na krku, sponu pro uchycení kabelu na oděv, ochranný vak, gumové stínítko k brýlím, převodník z DVI na VGA a ovladače plus manuál na CD.

Při porovnání *iWear* brýlí s brýlemi *Attitude SD* lze říci, že jsou parametrově srovnatelné. Výhodou brýlí *Attitude SD* je, že jsou konstruované přímo pro létání s RC modely. Námí používané brýle jsou konstruovány především pro hraní her na pevném PC. Z toho plyne několik problémů, se kterými jsme se museli vypořádat. Všechny problémy jsou popsány v kapitole 3 *Instalace a testování*.

2.3.1 Head Tracking modul

Jedním z problémů je Head Tracking. Podrobně je problém popsán v kapitole o testování zařízení. Stručně lze říci, že brýle *iWear* nejsou uzpůsobeny pro Head Tracking s RC modely. Pokud budou dále využívány tyto brýle, je řešením pořídit speciální Head Tracking modul.

Head Tracking modulů je na trhu několik variant. Většina z nich je prodávána jako kompaktní krabička připravená hned k používání. Dobrým příkladem a vhodným kandidátem je modul *M. I. G.* (magnetic, inertial, gyro) *External Head Tracker* (obr. 6) od firmy *FAT SHARK*. Modul je uzpůsobený pro připevnění na video brýle a připojení

k RC vysílače. Funguje na stejném principu jako integrované moduly. Zpracovává data o pohybu hlavy a přes RC vysílačku ovládá otáčení videokamery na RC modelu. Modul vzhledem k finanční situaci nebyl zakoupen. Je zde uveden pro případ, že by se do budoucna plánovalo modul zakoupit. Technické parametry modulu jsou [8]:

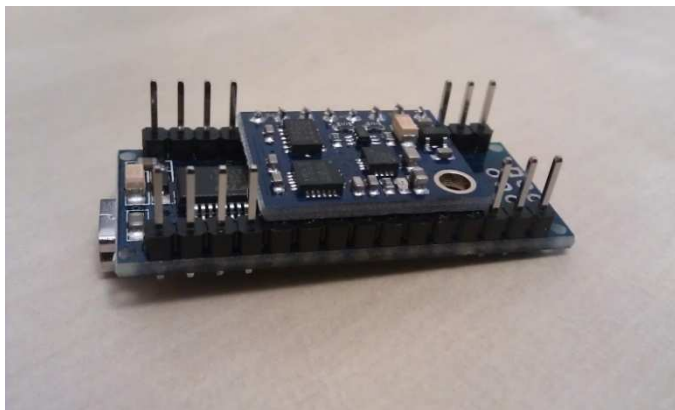
- typ senzorů: magnetické, inerciální, gyroskopické
- výstupní signál: standardní RC signál (PPM 8ch stream)
- typ konektoru: PS/2 mini DIN (pro spojení s vysílačkou)
- napájecí napětí: 6 až 13 V, DC
- napájecí proud: 25 mA
- rozměry: přibližně 50 x 20 x 15 mm
- hmotnost: 150 g



Obr. 6 – Head Tracking modul M. I. G. External Head Tracker [8].

Druhou možností je postavit si vlastní modul pomocí elektronických desek s tištěnými spoji. Firma *Arduino* prodává veliké množství elektronických součástek a mimo jiné i desky, ze kterých lze sestavit vlastní Head Tracking modul. K sestavení je potřeba dvou desek, a to *Arduino Nano* a *GY-85 IMU Sensor*. IMU senzor pracuje s tříosým gyroskopem, tříosým akcelerometrem a tříosým magnetometrem. Potřebný software lze stáhnout na *Google Code*. Sestava se napojí na RC vysílačku a pracuje úplně stejně, jako hotový modul (např. od *FAT SHARK*). Více informací viz [9]. Na obrázku 7 je zobrazena sestava. Základní parametry celé sestavy jsou [9]:

- napájecí napětí: 6 – 20 V (doporučené 7 – 12 V), DC
- pracovní napětí: 5 V, DC
- napájecí proud: 40 mA
- rozměry: 43 x 18 x 19 mm
- hmotnost: přibližně 35 g



Obr. 7 – Head Tracking modul složený z Nano a GY-85 IMU Sensor [9].

2.3.2 Video převodník

Převodník, zakoupený v průběhu testování po rozhodnutí o použití brýlí *iWear*, musel být pořízen vzhledem k tomu, že FPV brýle mají VGA vstup a video výstup z pozemní přijímací soustavy je RCA konektor. Převodník převádí video signál tak, aby bylo možno vidět v brýlích *iWear* obraz z UAV. Podrobně je problém s převodem video signálu popsán v kapitole pojednávající o testování (kapitola 3.2.3).

V obchodech lze nalézt několik typů video převodníků. Funkce převodníků jsou velice podobné, a tak je jejich odlišnost hlavně v ceně. Vybrán byl převodník vyhovující našim požadavkům. Převést video signál z RCA konektoru na VGA konektor při rozlišení stejném jako má minikamera. Tímto převodníkem je *Video Converter BNC/RCA & S-Video to VGA Converter* (obr. 8). Vstupy do převodníku jsou RCA konektor, S-Video a VGA. Do převodníku může jít více vstupů naráz. Výstup je pouze jeden, VGA. Níže jsou uvedeny parametry a funkce převodníku [10]:

- rozlišení výstupu: 800 x 600 px při 60 nebo 75 Hz, 1 024 x 768 px při 60 Hz, 1 280 x 1 024 px při 60 Hz, poměr stran 4:3; 1 280 x 720 px při 60 Hz, 1 440 x 900 px při 60 Hz, 1 600 x 900 px při 60 Hz a 1 680 x 1 050 px při 60 Hz, poměr stran 16:9
- kódování: PAL/NTSC

- napájecí napětí: 5 V, DC
- napájecí proud: 1 A
- rozměry: 105 x 65 x 27 mm
- hmotnost: 80 g



Obr. 8 – Video převodník Video Converter BNC/RCA & S-Video to VGA Converter.

Převodník umí automaticky rozpoznat formát video (PAL/NTSC). Další funkcí je možnost nastavení světlosti, kontrastu, saturace a odstínu obrazu. Převodník umí „zmrazit“ obrazovku. Lze si tuto funkci představit tak, že na výstupu je pouze fotografie. Převodník si sám ukládá nastavení a po opětovném zapnutí je nastaven tak, jak byl nastaven naposledy [10]. Součástí balení je samotný převodník, RCA a S-Video kabel, napájecí zařízení a uživatelská příručka. Zapojení a napájení převodníku je popsáno v kapitole 3 *Instalace a testování*.

2.4 Termovizní kamera

Z analýzy dostupných termovizních kamer provedené v rámci předchozí práce vzešli dva vhodní kandidáti. Po zvážení všech pro a proti byla nakonec vybrána termovizní kamera *Optris PI200* (obr. 9). Vzhledem k dostupným financím bylo rozhodnuto, že se zatím termovizní kamera pořizovat nebude. Termovizní kamery jsou velice drahá záležitost. Jejich ceny se pohybují v desítkách až stovkách tisíc korun. Takové prostředky, i vzhledem k nákupu jiného drahého a především nutnějšího vybavení, nebyly dostupné. Proto není důvod podrobně popisovat parametry vybrané termovizní kamery ani jejího příslušenství. Kamera je dostatečně popsána v bakalářské práci [1].

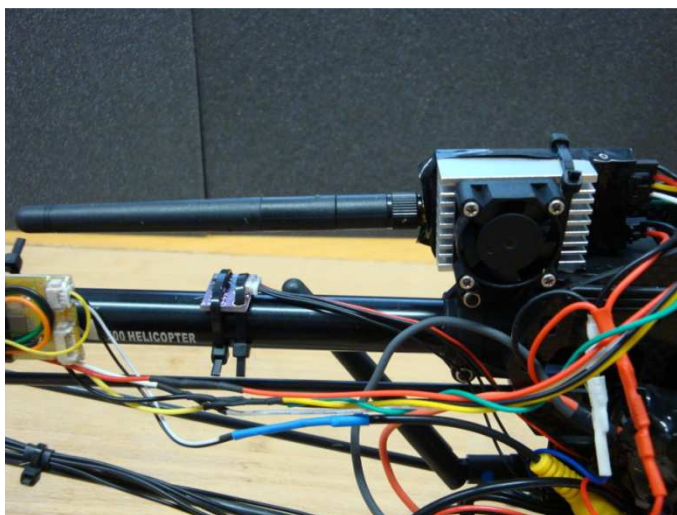


Obr. 9 – Termovizní kamera Optris PI200 [1].

2.5 Vysílač

V bakalářské práci K. Hercika [2] byly vybrány dva bezdrátové vysílače video signálu. Vysílač *BosCam TX51W* a *ImmersionRC 25 mW*. Po zvážení všech výhod a nevýhod zvítězil vysílač *BosCam* (obr. 10). Vysílač je vybaven všesměrovou anténou a chladicím systémem. Vysílač byl pořízen na začátku projektu. Parametry vybraného vysílače jsou [11]:

- vysílací frekvence: 5,8 GHz
- vysílací výkon: 1 000 mW
- počet kanálů: 8 (5 705 MHz, 5 685 MHz, 5 665 MHz, 5 645 MHz, 5 885 MHz, 5 905 MHz, 5 925 MHz a 5 945 MHz)
- video výstup: 1 V, 75 Ω, sin/cos signál (1 Vpp)
- audio výstup: 1 V, 600 Ω, sin/cos signál (1 Vpp)
- kódování: PAL/NTSC
- napájecí napětí: 12 V, DC
- rozměry: 59 x 27 x 33 mm
- hmotnost: 58 g



Obr. 10 – Vysílač BosCam TX51W upevněný na vrtulníku.

Součástí balení je vysílač, jedna dipólová všesměrová anténa, napájecí kabel a kabely pro video a audio vstup.

2.6 Příjímač

Pro přijímání video signálu je zapotřebí přijímač, který přijímá signály od všesměrové i vysoce směrové antény. Všesměrová anténa přijímá signál, pokud je vrtulník blízko pozemnímu stanovišti. GPS navigace pracuje s určitou nepřesností v řádu metrů. V případě, že je vrtulník blízko pozemní stanici, může být informace o jeho poloze zkreslená o chybu GPS a zařízení natočí směrovou anténu špatným směrem a dojde ke ztrátě signálu. Směrová anténa je v takovém případě nepoužitelná a je potřeba anténa všesměrová. Níže popsany přijímač, který byl vybrán K. Hercikem [2], umožňuje příjem z obou antén. Příjímač přepíná mezi anténami podle toho z jaké je signál silnější. Příjímač nese označení *D58-2 DUO5800* (obr. 11) a byl pořízen před zahájením testovacích letů. Dále jsou popsány jeho funkce a parametry [12]:

- přijímaná frekvence: 5,8 GHz
- počet kanálů: 32 (5 645 MHz až 5 945 MHz)
- video výstup: 1 V, 75 Ω , sin/cos signál (1 Vpp)
- audio výstup: 0,5 V, 10 k Ω , sin/cos signál (500 mVpp)
- kódování: PAL/NTSC/SECAM
- napájecí napětí: 12 V, DC
- napájecí proud: 500 mA
- rozměry: 77 x 65 x 18 mm
- hmotnost: 197 g



Obr. 11 – Přijímač D58-2 DUO5800

Přijímač umí přijímat signál do obou svých antén, rozhodnout, který signál je silnější a ten použít. Přijímač také umí přijímat signál od dvou přijímačů vysílajících na různých kanálech. Dále má vyrovnávací paměť a není ovlivněný RC vysílačkami pracujícími na 2,4 GHz [12]. Součástí balení je přijímač, dva kabely s 3,5 JACK koncovkou na jedné straně a RCA konektory na druhé, dvě dipólové všesměrové antény a napájení.

2.7 Směrová anténa

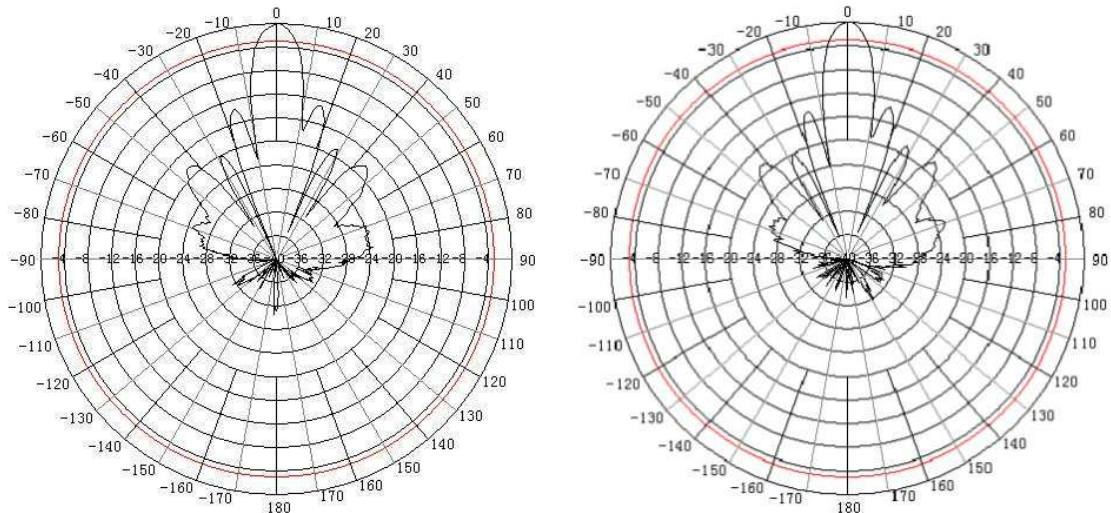
Jak bylo vysvětleno u přijímače, je potřeba vysoce všesměrová anténa. Ta v balení s přijímačem nebyla a musela se vybrat externí. Vybraná a zakoupená anténa má označení 5GHz 23dBi Broadband Panel Antenna (obr. 12). Byla pořízena na začátku projektu. Specifikace antény jsou [13]:

- frekvence: 5 125 až 5 875 MHz
- zisk: 23 dBi
- VSWR: 1,5:1
- impedance: 50 Ω
- horizontální vyřazovací úhel: 8 °
- vertikální vyřazovací úhel: 10 °
- typ: Patch (pásková, proužková, desková)
- vyzařování: směrové
- polarizace: horizontální nebo vertikální
- maximální výkon: 10 W
- design antény: 64 (8 x 8) desková matice čipů
- rozměry: 375 x 375 x 30 mm
- hmotnost: 1 kg



Obr. 12 – Směrová anténa 5GHz 23dBi Broadband Panel Antenna.

Na obrázku 13 je zobrazena vyřazovací charakteristika podobné směrové antény. Anténa, jejíž vyzařovací charakteristika je na obrázku se liší pouze výkonem (50 W). Naše anténa má vyzařovací charakteristiku podobnou.



Obr. 13 – Vyařovací charakteristika směrové antény 23dbi Panel antenna 5.1-5.8Ghz [14]. Levý obrázek je horizontální vyařovací charakteristika, pravý je vertikální. Vodorovná osa je v dB, hodnoty na kružnici jsou ve stupních. Záporná hodnota na vodorovné ose značí, o kolik bude do daného směru výkon antény menší, než maximální výkon antény.

Mimo všesměrové antény obsahuje balení také několik šroubů a přípravků na upevnění antény a kabel na připojení k přijímači. Pro lepší napojení antény na přijímač tak, aby kabel nepřekážel sklápěcímu mechanismu, byl pořízen pravoúhlý spojovací díl (obr. 14).



Obr. 14 – Pravoúhlý spojovací díl s koaxiálním kabelem.

2.8 AAT

AAT je zkratka pro *Automatic Antenna Tracker*. Jinými slovy je to systém, který automaticky natáčí směrovou anténu na cíl tak, aby byla anténa schopná od cíle přijímat data. Podrobný princip, jak AAT systém funguje, není obsahem této práce a nebude uveden. Pro zájemce je princip popsán v bakalářské práci K. Hercika [2]. Vybraný AAT systém je od firmy *MyFlyDream*. Systém se skládá ze 4 komponentů, které budou následně popsány. Celý systém byl pořízen na začátku projektu. Balení obsahuje mimo zmíněných 4 komponentů také různé druhy propojovacích kabelů (AAT s video přijímačem, směrová anténa s AAT), USB programovací kabel, konektory a spojovací materiál. Pro detailní informace ohledně celého AAT systému viz manuál [15].

2.8.1 Tracker

AAT Tracker (obr. 15) je zařízení, které natáčí (horizontálně i vertikálně) směrovou anténou tak, aby směřovala k cíli. Další funkcí je přenos signálu z antény do dalšího video zařízení (např.: FPV brýle, monitor). Parametry jsou [15]:

- rozsah náklonu antény (vertikální): $0^\circ - 90^\circ$
- rychlost náklonu: 100° za s
- rozsah otáčení antény (horizontální): $0^\circ - 360^\circ$
- rychlost otáčení: 200° za s
- počet možných přenášených kanálů: 7
- maximální hmotnost antény: 1 kg
- napájecí napětí: 12 V, DC
- napájecí proud: 100 mA
- rozměry: $165 \times 107 \times 40\text{ mm}$
- hmotnost: 905 g



Obr. 15 – AAT Tracker s ramenem pro připevnění vyvažovacího závaží.

2.8.2 Driver

AATDriver (obr. 16), neboli ovladač, zpracovává data o poloze poslaná z RC modelu a dává pokyny trackeru, jak se má natočit. Druhou funkcí driveru je přenos přijatého videa do zobrazovacího zařízení. Driver je vybaven tlačítkem *Home*, které nastaví aktuální GPS pozici jako polohu pozemní stanice a pilota. Z této hodnoty a příchozích GPS dat je vypočítáváno, jak se má tracker natáčet. Parametry ovladače jsou [15]:

- přenosová rychlost: 1 200 *bps*
- napájecí napětí: 12 V, DC
- napájecí proud: 100 *mA*
- rozměry: 78 x 44 x 23 *mm*
- hmotnost: 58 *g*

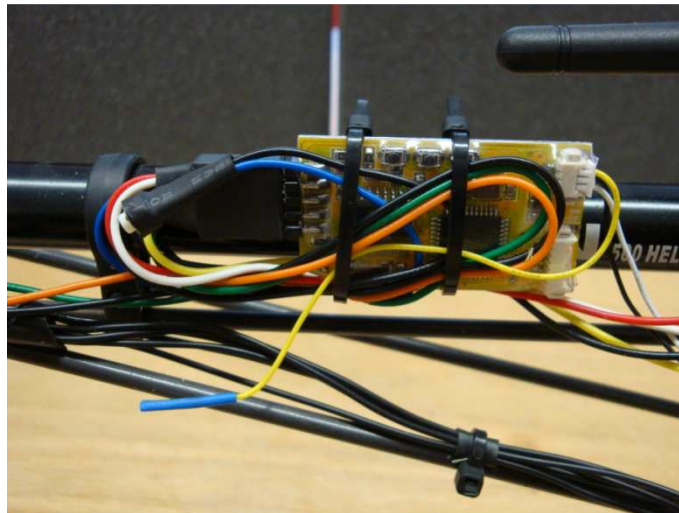


Obr. 16 – AATDriver.

2.8.3 OSD

TeleFlyOSD (obr. 17) je jedním ze dvou komponentů systému AAT, který je umístěný na vrtulníku. Ostatní komponenty jsou na pozemní stanici. Tento model OSD přidává do videa letová data a zároveň posílá na pozemní stanici data o poloze. Letová data jsou kurz, směr k pozemní stanici a vzdálenost od ní, výška letu, rychlost letu, letová doba, počet přijímaných GPS satelitů a napětí a proud. OSD je vybaveno tlačítkem pro uložení tzv. *Home*. Po stisknutí tlačítka se uloží aktuální GPS pozice a je označena jako *Home*. Předpokládá se, že na těchto souřadnicích se nachází pozemní stanice a pilot. Ze souřadnic OSD počítá směr a vzdálenost vrtulníku od pozemní stanice. OSD je vybaveno přepínacím tlačítkem pro nastavení přenosové rychlosti mezi GPS modulem a OSD. Parametry OSD jsou [15]:

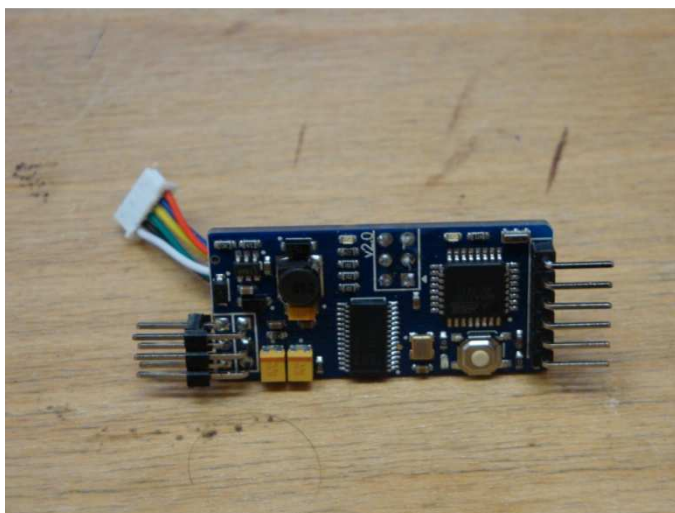
- napájecí napětí: 7 až 20 V, DC
- napájecí proud: 100 mA
- přenosové rychlosti: 115 200 bps, 57 600 bps, 38 400 bps a 9 600 bps
- rozměry: 53 x 27 x 10 mm
- hmotnost: 9 g



Obr. 17 – TeleFlyOSD připevněné na vrtulníku.

Po úvodních testech vyšlo najevo, že pro pilota bude lepší mít mimo dat, která jsou přidávána do obrazu pomocí OSD, i umělý horizont. Zlepší se orientace pilota v prostoru při používání FPV brýlí. OSD které bylo dodáno s AAT systémem tuto funkci nemá. Vhodnou volbou je *MinimOSD* (obr. 18). *MinimOSD* je tzv. Open Source. Znamená to, že každý schopný programátor může upravit software a naprogramovat si podle svého, jaká data chce, či nechce zobrazovat v obrazu. Je tedy zřejmé, že *MinimOSD* umí do obrazu přidat všechna data, která umí i *TeleFlyOSD* plus umělý horizont a popřípadě i další data, pro která existuje připojené měřící zařízení. Příkladem může být zobrazení rychlosti a směru větru. *MinimOSD* bylo pořízeno během testů. Základní data o *MinimOSD* jsou [16]:

- napájecí napětí: 5 V, 12 V (dvě sekce), DC
- napájecí proud: 500 mA
- rozměry: 53 x 18 x 6 mm
- hmotnost: 5 g



Obr. 18 – MinimOSD.

Pro ochranu *MinimOSD* byl pořízen duralový kryt (obr. 19). Rozměry krytu jsou 60 x 22 x 12 mm a hmotnost je 23 g.

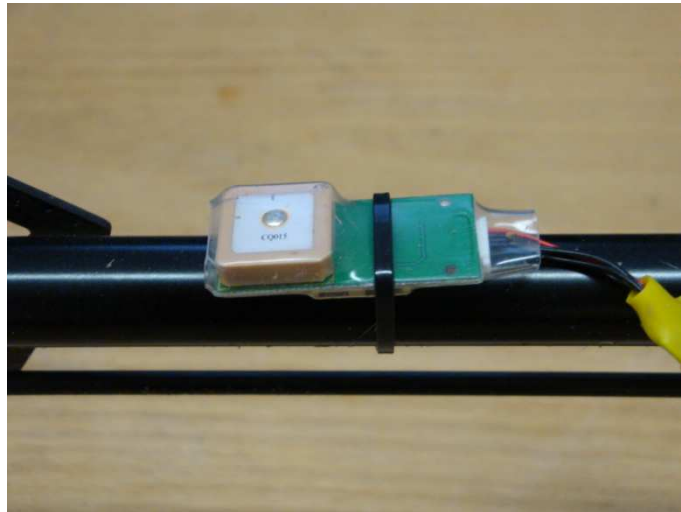


Obr. 19 – Duralový obal na MinimOSD.

2.8.4 GPS modul

GPS modul je druhým komponentem z AAT systému umístěným na vrtulníku. Modul přijímá data z navigačních satelitů a předává je OSD, které je posílá (s videem) k pozemní stanici. Díky tomu má pozemní stanice data o poloze vrtulníku. GPS data jsou zpracovávána jak v OSD, tak v pozemní stanici. Vybraný modul je součástí balení systému AAT. Typ modulu je *MFD 10hz GPS Module LS20033* (obr. 20). GPS modul je vybaven LED pro indikaci, zda přijímá data ze satelitů či nikoli. Technické parametry [15]:

- přenosová rychlost: 38 400 *bps*
- frekvence dotazování: 10 *Hz*
- napájecí napětí: 3,3 V, DC
- napájecí proud: 70 *mA*
- rozměry: 35 x 16 x 7 *mm*
- hmotnost: 8 *g*



Obr. 20 – GPS modul MFD 10hz GPS Module LS20033 připevněný na vrtulníku.

3 Instalace a testování

Kapitola má za účel podrobně popsat, jak a kde jsou jednotlivá zařízení na bezpilotním prostředku připevněna, jak jsou propojena, popsat problémy vzniklé při instalaci, vyvážení bezpilotního prostředku a další možnosti spojené s instalací. Část kapitoly zasvěcené testování má popsat postup při zprovoznování a testování jednotlivých zařízení, popsat problémy, které se naskytly a vysvětlit jejich řešení, popřípadě navrhnout vhodná řešení v případě, že problém nebyl zcela vyřešen.

3.1 Instalace

Kapitola je rozdělena na dvě části. V první části je zmíněn postup instalace jednotlivých zařízení na vrtulník (UAV), jakým způsobem jsou zařízení připevněna, na jaké místo jsou přidělány, jak ovlivní stabilitu vrtulníku a věci s tím spojené. V části druhé je pak popsán postup přípravy pozemní stanice.

3.1.1 Sledovací bezpilotní prostředek

Na začátek je nutné zmínit několik informací. Při výběru umístění jednotlivých zařízení na vrtulník se kladl veliký důraz na takové umístění, které je výhodné pro funkčnost instalovaného zařízení. Druhým významným faktorem byl prostor. Na RC vrtulnicích není mnoho zbývajících prostoru po nainstalování základního vybavení jako je motor, servomotory, regulátor, kabely, atd. Třetím faktorem byl vliv na polohu těžiště a stabilitu.

Nyní by bylo vhodné si vysvětlit, jak jsou RC vrtulníky vyvažovány. U RC vrtulníků musí být těžiště v ose hlavního rotoru nebo lehce před osou. Většina RC modelů nemá danou povolenou centráž a řeší se pouze odhadem. Kontrola těžiště probíhá tak, že pilot RC modelu zvedne vrtulník za hlavní rotor do vzduchu a sleduje, zda není vrtulník těžký na ocas nebo na předek. Pokud je vrtulník ve vodorovné poloze, nebo v poloze blízké vodorovné do takové míry, že pilot situaci vyhodnotí jako vyhovující, je vrtulník vyvážen. Pokud ne, je potřeba přesunout nějaké vybavení nebo přidat/odebrat závaží a test opakovat. Pro základní vybavení jako je pohon, servomotory a baterie je již z výroby určeno místo, kam se připevňují. U elektrických vrtulníků se případné vyvážení provádí posunem nejtěžší části, baterie. Pokud nelze vrtulník vyvážit posunem baterie, musí se přidat/odebrat závaží.

Je důležité zmínit, že pozorovací zařízení jsou určena pro dva vrtulníky. Menší vrtulník je testovací a zároveň je určen pro transport meteorologických sond. Větší vrtulník lze používat pro ostatní použití. Oba mají elektrický pohon. V našem případě byly vrtulníky po instalaci základního vybavení vyváženy. Podélná přední povolená centráž je pro malý vrtulník 10 mm před osou hlavního rotoru, zadní povolená centráž je 5 mm za osou. Doporučená centráž je v rozmezí od 3 mm před osou hlavního rotoru do osy. Příčná povolená a zároveň doporučená centráž je 2 mm na obě strany. Velký vrtulník má rozmezí povolené centráže podobné. V podélné rovině je to 12 mm před osou hlavního rotoru a 7 mm za osou. Doporučená je pak shodná s malým vrtulníkem. V příčné ose je povolená centráž také shodná s malým vrtulníkem. Povolené centráže byly určeny experimentálně po konzultaci s pilotem, který určil, pro jaké centráže je ještě ochoten létat a pro jaké už ne.

Na menší vrtulník z důvodu prostoru se nepoužívá hlavní kamera, ale pouze minikamera. Nejtěžší sledovací zařízení, které se na malý vrtulník instaluje, je hmotností do 100 g. Na velký vrtulník se sice používá i hlavní kamera, která váží i s uchycením kolem 300 g, vrtulník je ale mnohem těžší a jenom baterie (dvě) váží cca 1,6 kg. Je tedy zřejmé, že sledovací zařízení mají na centráž malý vliv a centráž lze snadno upravit přesunem těžkých baterií. Z tohoto důvodu je vliv zařízení na stabilitu až třetím aspektem, který byl při výběru místa brán v potaz.

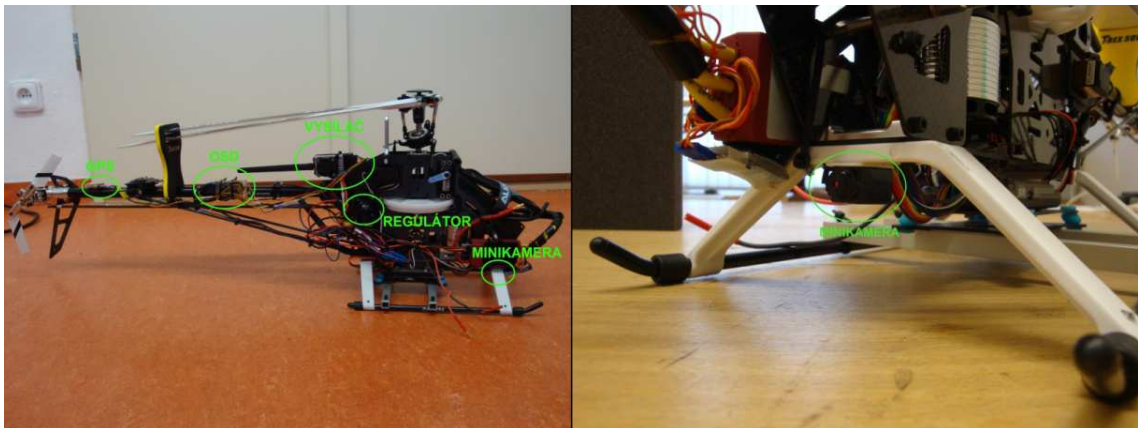
Jelikož jsou vrtulníky typově (tvarově) stejné a liší se pouze velikostí (obr. 21), je zvolené místo pro zařízení kromě kamer pro oba vrtulníky přibližně shodné. Jediné, v čem se liší, je vzdálenost zařízení od hlavního rotoru. Z toho plyne, že na každém vrtulníku budou zařízení působit jiným momentem, a tedy budou jinak ovlivňovat vyvážení. U většího vrtulníku působí zařízení na větším rameni. Pokud není v popisu níže zmíněno, pro jaký vrtulník je umístění popsáno, platí pro oba vrtulníky.

Pro připevnění byl zvolen spojovací materiál, který se běžně používá v modelářství. Materiálem jsou: oboustranné lepicí pásky, suchý zip, pásky se suchým zipem a plastové stahovací pásky. Výhodou těchto typů spojovacích materiálů je snadná manipulace, dobrá cena, praktičnost a možnost rozebrání spoje.



Obr. 21 – Obrázek dvou vrtulníků. Menší vrtulník je testovací.

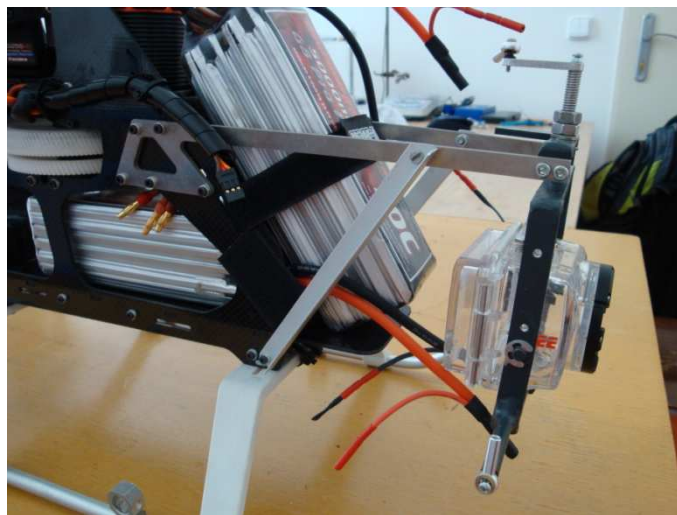
Popis umístění, upevnění a vlivu jednotlivých zařízení na centráž:



Obr. 22 – Obrázek umístění jednotlivých zařízení na malém vrtulníku.

- *hlavní kamera:* Hlavní kamera je určena pouze pro větší vrtulník. Je připevněna pomocí speciálního držáku v přední části před těžištěm (obr. 23). Kamera je umístěna ve vzdálenosti 270 mm od hlavního rotoru. V příčné rovině není vychýlena. Kameru lze připevnit k držáku pomocí stativového šroubu (W 1/4). Spoj lze pojistit stahovacími páskami nebo páskami se suchým zipem. Upevnění přes závitový šroub způsobuje chvění obrazu. Vysvětlení a řešení problému viz kapitola 3.2.1. Při hledání vhodného umístění musel být brán v potaz velký nárok na prostor z důvodu umožnění otáčení držáku při používání Head Trackingu. Jako vhodné se jevila dvě místa. První místo již bylo popsáno, tzv. na čumáku. Druhá varianta byla podvěsit kameru i s držákem pod vrtulník v ose hlavního rotoru. Toto řešení bylo nakonec po konzultacích se Slavomírem Brázdou,

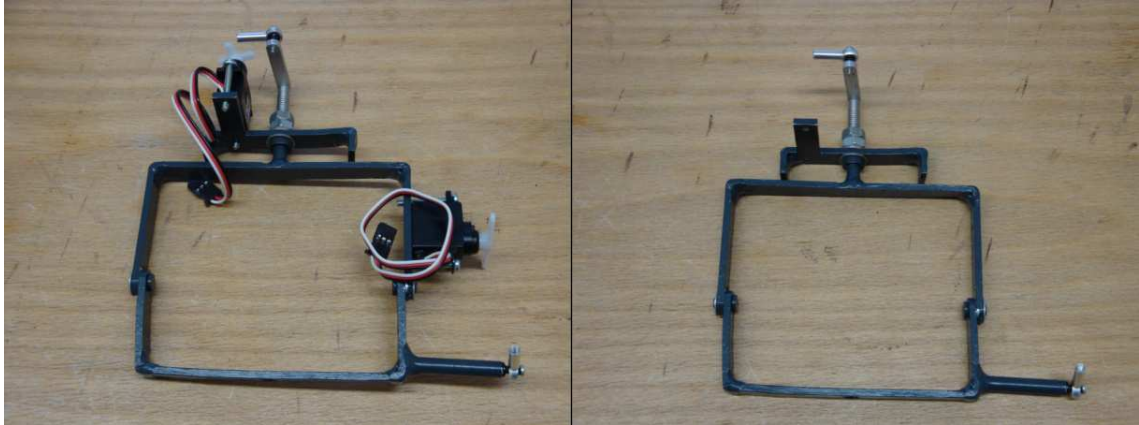
který má na starosti konstrukci draku, zamítnuto. Přestože by umístění mělo výhodu v menším chvění kamery, nevýhody převažovaly. Mezi ně lze zařadit např. nutnost prodloužit podvozkové nohy nebo nebezpečí poškození kamery. V případě, že by byly podvozkové nohy prodlouženy, těžiště vrtulníku by se posunulo nahoru (oproti zemi). To by mělo za následek zhoršenou stabilitu při startu a přistání a riziko převrácení vrtulníku, a tím zničení listů rotoru. Podvozek u RC modelů zároveň slouží jako bezpečnostní pojistka. Při tvrdém dopadu pohltí nárazovou energii a případně se zlomí. Ochrání však před zlomením jiné části draku. V případě, že by se podvozek zlomil a kamera s držákem by byla umístěna pod vrtulníkem, mohlo by dojít k poškození kamery i držáku.



Obr. 23 – Držák hlavní kamery připevněný k vrtulníku s vodotěsným krytem kamery.

- Výběr vhodného otočného mechanismu byl řešen v bakalářské práci [1]. Navrhnutý držák (obr. 24) je uzpůsobený k pohybu ve dvou osách a byl vyroben podle výkresů přiložených v příloze (označení sestavy *NU_00*). Při tvorbě výkresů byly pro vyhledání normovaných dílů použity strojnické tabulky Leinveber J., Vávra P., 2008 [17]. Výkresy byly nakresleny pomocí studentské verze programu *Autodesk AutoCAD 2014*. Vzhledem k materiálu, který byl použit (dural, EN 485-1+A1), musela být na svařenec použita svařovací metoda WIG (TIG). Po výrobě byl aplikován ochranný nátěr šedé barvy především z estetických důvodů. Hmotnost držáku i se dvěma servomotory je 83,5 g, bez servomotorů 60,8 g. V případě, že uživatel nechce použít otáčení, lze soustavu použít

bez servomotorů, čímž se sníží hmotnost, pohyb ve směru klopení je možné zajistit pomocí hliníkového přípravku tvaru L (10 x 10 x 1 mm) délky 38,3 mm (obr. 25) a lepicí pásky. Pohyb ve směru klonění se zajistí dotažením matic na nosném hřídeli (viz výkres sestavy, NU_00).



Obr. 24 – Otočný držák hlavní kamery s a bez servomotorů.



Obr. 25 – Duralový profil L pro aretaci otočného mechanismu.

- *minikamera*: Kamera je umístěna v přední části malého vrtulníku pod předními rameny podvozkových noh. Upevněna je pomocí oboustranné lepicí pásky. Podélně je ve vzdálenosti 110 mm od hlavního rotoru. Její příčné umístění je v ose rotou. Místo bylo vybráno pro dobrý pohled směrem dopředu.
- *vysílač*: Vysílač je připevněn k malému vrtulníku pomocí oboustranné lepicí pásky a stahovacích pásek ve vzdálenosti 120 mm od hlavního rotoru směrem k ocasu. To odpovídá pozici v místě spojení ocasní tyče s tělem vrtulníku. Příčně se nachází v ose rotoru. Umístění do popsaného místa bylo

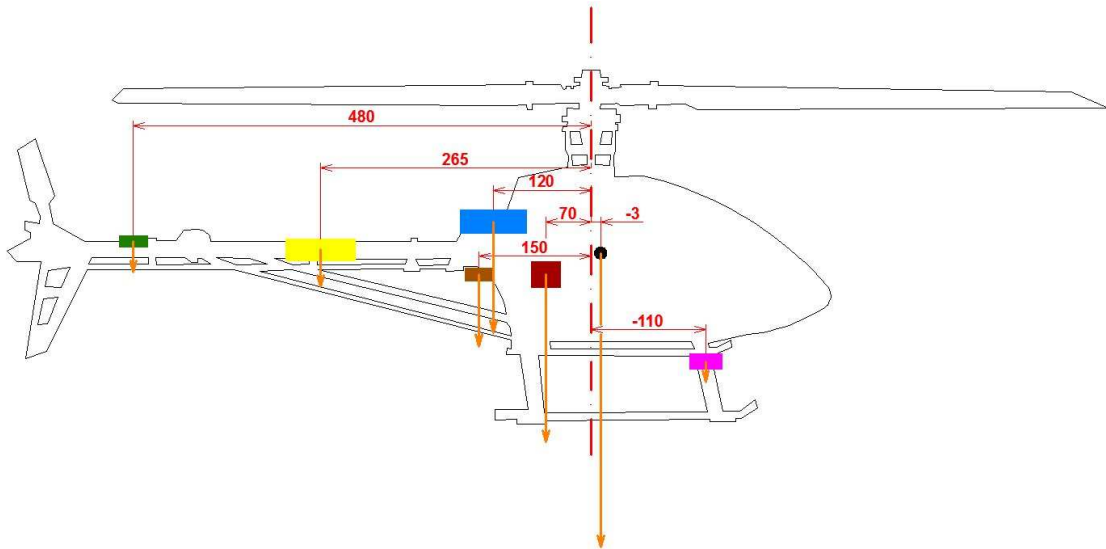
zvoleno z důvodu blízkého k hlavnímu rotoru a potřebnému místu. Anténa vysílače směřuje rovnoběžně s ocasní tyčí směrem k ocasu. Díky prostoru lze anténu natočit i do jiných směrů. Na velkém vrtulníku je vysílač umístěn jinde. Na místě, které by odpovídalo místu na malém vrtulníku, se nachází přijímač od RC vysílačky. Aby bylo zabráněno rušení a zároveň z důvodu nedostatku místa musel být vysílač umístěn na spodek vrtulníku k zadnímu podvozku do vzdálenosti 80 mm od rotoru.

- *TeleFlyOSD*: OSD je upevněno na malém vrtulníku pomocí stahovacích pásek (případně lze pojistit oboustrannou lepicí páskou) přibližně v polovině ocasní tyče, 265 mm od hlavního rotoru. V příčné rovině je 10 mm od osy vrtulníku směrem vpravo ve směru letu. Místo bylo vybráno z důvodu, aby bylo OSD mezi GPS modulem a vysílačem a nebylo potřeba velké množství kabeláže v případě umístění OSD v těle vrtulníku. Na velkém vrtulníku je OSD upevněno stejným způsobem 430 mm od rotoru v podélné ose a 12 mm v příčné.
- *GPS modul*: Modul je umístěn na ocasní tyči malého vrtulníku ve vzdálenosti 480 mm od hlavního rotoru pomocí stahovacích pásek. Pro pojištění je možné použít i oboustrannou lepicí pásku. Příčně je umístěna v ose rotou. Místo bylo zvoleno tak, aby GPS modul byl co nejdále od těla vrtulníku a GPS signál byl co nejméně rušen listy rotoru, motorem atd. Na velkém vrtulníku je umístění totožné s tím, že vzdálenost je 730 mm.
- *regulátor napětí*: Regulátor napětí je potřeba z důvodu regulace napětí z baterie na požadovanou hodnotu. Je připevněn oboustrannou lepicí páskou a stahovacími páskami k boku těla malého vrtulníku 70 mm od rotoru směrem k ocasu. Příčně je vychýlen o 30 mm na stejnou stranu jako OSD. Na velkém vrtulníku je jeho pozice podobná. Je pouze umístěn do těla vrtulníku a to 40 mm v podélné ose a 40 mm v příčné. Hmotnost regulátoru je přibližně 100 g. Při umístění regulátoru nebyla jiná volba. Již nezbývalo místo pro lepší umístění. Ty již byly obsazeny jinými přístroji.
- *kabeláž*: Kabelové vedení je zde uvedeno z důvodu popsání, jak je připevněno k vrtulníkům a jeho vlivu na centráž. Kabely jsou upevněny pomocí stahovacích pásek k trupu vrtulníků. Pro určení vlivu kabelů na centráž malého vrtulníku byl zvolen pomyslný bod působení hmotnosti

kabelů a to ve vzdálenosti 150 *mm* od rotoru směrem k ocasu. Příčně je pomyslný bod vychýlen o 20 *mm* ve stejném směru jako OSD a regulátor. Pro posouzení vlivu na velký vrtulník byla zvolena poloha těžiště 180 *mm* směrem k ocasu a 35 *mm* vpravo. Hmotnost kabeláže byla odhadnuta na 30 *g*.

Vzhledem k tomu, že již bylo uvedeno, kde se jednotlivá zařízení na vrtulníku nacházejí a jakou mají hmotnost, bylo by vhodné vypočítat jejich vliv na vyvážení vrtulníku. Pro výpočet zvolíme tabulkovou metodu výpočtu polohy těžiště vzhledem ke vztažné rovině. Do tabulky se zaznamenají hmotnosti a ramena, na kterých jednotlivá zařízení působí vzhledem ke vztažné rovině. Poté se vypočítají momenty, kterými na soustavu působí, momenty se dle momentové věty sečtou a z celkového momentu a hmotnosti se vypočítá poloha těžiště vzhledem ke vztažné rovině. V našem případě se vyjde z předpokladu, že vrtulník i s ostatními zařízeními, jako autopilot a další, byl před montáží pozorovacích zařízení vyvážen a těžiště se nacházelo 3 *mm* před osou hlavního rotoru. Pro RC vrtulníky je lepší, když mají těžiště lehce před osou rotoru. Vrtulník je pak ovladatelnější. Vztažná rovina bude osa hlavního rotoru. Výsledek vzešlý z výpočtů bude reprezentovat novou polohu těžiště vzhledem k vztažné rovině. Poté se musí překontrolovat, zda je poloha těžiště v povolené centráži a případně provést opatření proto, aby tomu tak bylo. Teorie k výpočtům byla nastudována z učebních textů Schoř J., Šustek P., 2008 [18].

Výpočet změny polohy těžiště po montáži pozorovacích zařízení:



Obr. 26 – Umístění jednotlivých zařízení na malém vrtulníku s vyznačenou osou rotoru, vzdálenostmi zařízení od osy (jednotky jsou v mm) a tíhovými silami zařízení (pouze orientačně); fialová – minikamera, rudá – regulátor napětí, modrá – vysílač, hnědá – těžiště kabeláže, žlutá – OSD, zelená – GPS modul.

Obrázek byl nakreslen v programu Autodesk AutoCAD 2014.

Tab. 1 – Tabulka výpočtů změny polohy těžiště pro malý vrtulník. Jednotky byly zvoleny tak, aby byla tabulka přehledná. Princip výpočtů viz „výpočty“ níže. Záporná znaménka značí v podélné rovině směr k předu, v příčné rovině vlevo ve směru letu.

	hmotnost [g]	podélná rovina		příčná rovina	
		rameno [mm]	moment [gmm]	rameno [mm]	moment [gmm]
vrtulník	2 344	-3	-7 032	0	0
minikamera	2	-110	-220	0	0
vysílač	58	120	6 960	0	0
TeleFlyOSD	9	265	2 385	10	90
GPS modul	8	480	3 840	0	0
regulátor napětí	100	70	7 000	30	3 000
kabeláž	30	150	4 500	20	600
celkem	2 551		17 433		3 690
posun těžiště		6,83		1,45	

Z tabulky 1 vyplývá, že díky přidaným zařízením je nová poloha těžiště 6,83 mm za osou hlavního rotoru a 1,45 mm vpravo. Vrtulník se nachází za povolenou zadní podélnou centráží. Stane se tedy těžký na ocas. V příčné rovině je v povoleném rozmezí centráže. Jak již bylo zmíněno, vyvážit RC vrtulník lze pomocí závaží, nebo posunem nejtěžší části, baterie. V našem případě bylo zvoleno posunutí baterie (814 g) o 30,8 mm směrem dopředu. Tím se těžiště vrátí do polohy, jakou mělo před instalací pozorovacích zařízení. Pokud by umístění baterie neumožňovalo její posun, je možné vrtulník vyvážit přidáním závaží. Nejlepší umístění je těsně za minikameru (rameno -0,1 m). Na

vyvážení by bylo potřeba závaží o hmotnosti 258,6 g. Vyvážení v příčné ose není potřeba řešit, jelikož se nachází v povolené centráži. Postup výpočtů těžiště, posunu baterie a hmotnosti závaží viz níže.

Výpočty:

Metodika výpočtů byla nastudována dle [18].

Postup výpočtu nového těžiště pomocí tabulkové metody probíhal následovně. Po zjištění hmotnosti jednotlivých zařízení a změření ramen, na kterých působí, se dle vzorce (3.1) vypočítá moment, který zařízení vyvolávají, a moment vznikající od vyváženého vrtulníku. Záporné znaménko před vzdáleností zařízení nebo těžiště vrtulníku od vztažné osy značí, že se v podélné rovině nacházejí před vztažnou osou, v příčné rovině se nacházejí vlevo od vztažné osy ve směru letu.

$$M_x = m_x \cdot a_x \quad (3.1)$$

kde M_x [gmm] je moment, m_x [g] je hmotnost zařízení a a_x [mm] je rameno, na kterém zařízení působí. Index x značí jednotlivá zařízení.

Po výpočtu jednotlivých momentů se všechny momenty sečtou dle vzorce (3.2). Hmotnosti jednotlivých zařízení a vrtulníku se sečtou dle vzorce (3.3).

$$M_c = \sum_1^n M_x \quad (3.2)$$

kde M_c [gmm] je celkový moment, M_x [gmm] značí momenty od jednotlivých zařízení a n [-] je počet zařízení.

$$m_c = \sum_1^n m_x \quad (3.3)$$

kde m_c [g] je celková hmotnost RC modelu s vybavením, m_x [g] je hmotnost jednotlivých zařízení a n [-] je počet zařízení.

Ze součtů momentů a hmotností se pomocí vzorce (3.4) vypočítá nová poloha těžiště vzhledem ke vztažné ose v podélné i příčné rovině.

$$b = \frac{M_c}{m_c} \quad (3.4)$$

kde b [mm] je nová poloha těžiště vzhledem ke vztažné ose.

Pokud se poloha těžiště nachází mimo povolenou centráž, je nutné provést, jak již bylo zmíněno výše, přesun nějakého vybavení nebo přidání závaží. Bude-li zvolena možnost posunu vybavení, je potřeba vědět, o kolik se vybavení dané hmotnosti musí posunout. Při výpočtu vzdálenosti, o jakou se vybavení musí posunout, vyjdeme z podmínky, že moment vzniklý posunem zvoleného vybavení se musí rovnat změně momentu, který je vyvolán posunem těžiště do chtěné polohy [18].

$$\begin{aligned} M_y &= M_z \\ m_y \cdot y &= m_c \cdot (z_2 - z_1) \end{aligned} \quad (3.5)$$

kde M_y [gmm] je moment vzniklý vybavením, m_y [g] je hmotnost vybavení, y [mm] je velikost posunu, M_z [gmm] je moment vzniklý posunem těžiště, z_1 [mm] je původní poloha těžiště celého vrtulníku a z_2 [mm] je zamýšlená poloha těžiště. Úpravou rovnice (3.5) dostaneme vzdálenost, o kterou se musí zvolené vybavení posunout.

$$y = \frac{m_c \cdot (z_2 - z_1)}{m_y} \quad (3.6)$$

Znaménko u y značí, zda se má vybrané vybavení posunout směrem dozadu (+), nebo dopředu (-).

Postup výpočtu hmotnosti závaží, které by mělo být přidáno, aby byl vrtulník vyvážen, je následující. Nejprve je nutno si zvolit umístění přidávaného závaží. Tím se získá rameno, na kterém bude závaží působit. Jestliže je vrtulník těžký na ocas, závaží se přidá na předeck vrtulníku (pro rameno se použije znaménko -), a naopak jestliže je vrtulník těžký na předeck, závaží se přidá na ocas vrtulníku (pro rameno se použije znaménko +). Při následujícím výpočtu se vyjde z rovnice (3.4). Do celkového momentu M_c a hmotnosti m_c nesmí být zapomenuto připočítat i přidávané závaží. Za b se dosadí požadovaná poloha těžiště e . Postup výpočtu hmotnosti přidávaného závaží viz rovnice (3.7).

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{M_{cn}}{m_{cn}} \\
 e &= \frac{M_c + d \cdot m_p}{m_c + m_p} \\
 e \cdot (m_c - m_p) &= M_c + d \cdot m_p \\
 e \cdot m_c + e \cdot m_p &= M_c + d \cdot m_p \\
 e \cdot m_p - d \cdot m_p &= M_c - e \cdot m_c \\
 m_p \cdot (e - d) &= M_c - e \cdot m_c \\
 \underline{\underline{m_p}} &= \underline{\underline{\frac{M_c - e \cdot m_c}{e - d}}}
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

kde e [mm] je požadovaná poloha těžiště vzhledem ke vztažné ose, M_{cn} [gmm] je celkový moment sestavy i s přidaným závažím vzhledem ke vztažné ose, m_{cn} [g] je celková hmotnost sestavy i s přidaným závažím, d [mm] je rameno, na kterém působí přidané závaží a m_p [g] je hmotnost závaží.

Tab. 2 – Tabulka výpočtů změny polohy těžiště pro velký vrtulník. Jednotky byly zvoleny tak, aby byla tabulka přehledná. Princip výpočtů viz „výpočty“ výše. Záporná znaménka značí v podélné rovině směr k přídí, v příčné rovině vlevo ve směru letu. V hmotnosti hlavní kamery je zahrnuta i hmotnost vodotěsného krytu. V hmotnosti držáku kamery je zahrnuta i hmotnost servomotorů a ramen, kterými je držák připevněn k vrtulníku.

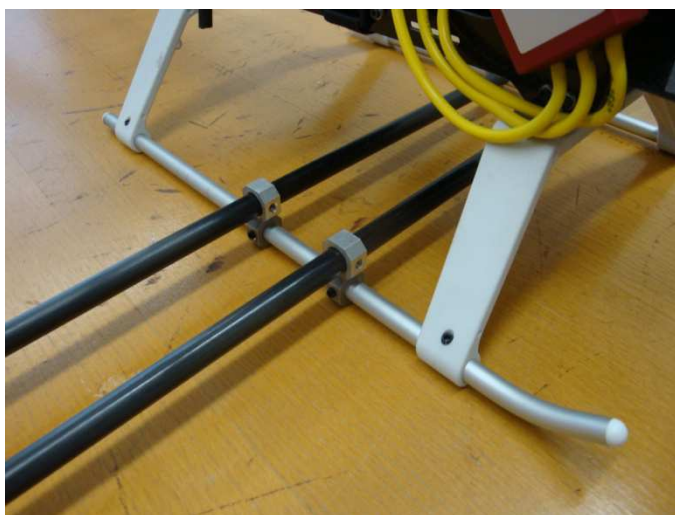
	hmotnost [g]	podélná rovina		příčná rovina	
		rameno [mm]	moment [gmm]	rameno [mm]	moment [gmm]
vrtulník	5 022	-3	-15 066	0	0
kamera	211	-270	-56 970	0	0
držák + ramena	134	-205	-27 470	0	0
vysílač	58	80	4 640	0	0
TeleFlyOSD	9	430	3 870	12	108
GPS modul	8	730	5 840	0	0
regulátor napětí	100	40	4 000	40	4 000
kabeláž	30	180	5 400	35	1 050
celkem	5 572		-75 756		5 158
posun těžiště		-13,6		0,93	

Těžiště na velkém vrtulníku se posune o 13,6 mm směrem dopředu (těžký na předeck) a o 0,93 mm vpravo ve směru letu (tab. 2). Jelikož má velký vrtulník dvě baterie vážící dohromady 1 627 g, je možné celý vrtulník vyvážit buď posunem jedné baterie, obou nebo přidáním závaží. Při posunu jedné baterie je potřeba změnit polohu o 72,6 mm směrem k ocasu. Teoreticky je v těle vrtulníku místo na posun jedné baterie. Pokud bude rozhodnuto přemístit obě baterie, je potřeba obě baterie přesunout o 36,3 mm směrem k ocasu. V případě, že se zvolí vyvážení pomocí závaží, je vhodné umístit jej co nejdále na ocas, aby bylo výsledné závaží co nejlehčí. Jako vhodné místo

se jeví vodorovné (ozdobné) křídélko na ocasním rameni, na kterém je přidělán GPS modul. Potom by hmotnost závaží musela být 80,55 g. Postup výpočtů je stejný, jako u malého vrtulníku (viz výše).

Všechna ostatní zařízení, která by případně mohla být na vrtulníky připevněna (např. meteorologická sonda), ovlivní těžiště. Může se stát, že po připevnění na vrtulník se těžiště posune mimo povolenou centráž. Je nutné po instalaci jakéhokoliv dalšího zařízení překontrolovat vyvážení vrtulníku.

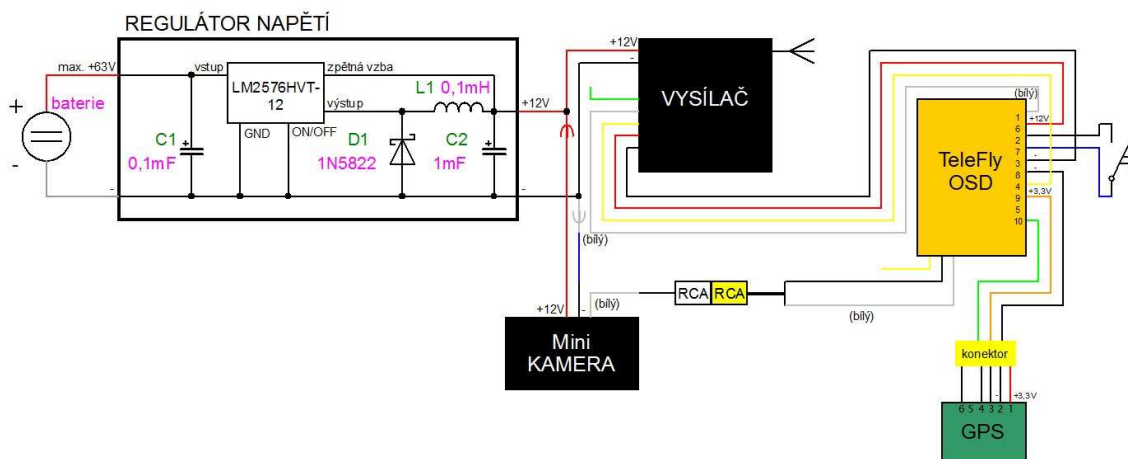
Velký vrtulník umožňuje připevnění dalšího vybavení, popřípadě přídavných baterií nebo jiného břemena na uhlíkové tyče spojené s ližinami vrtulníku přes speciální přípravek. Kompletní návrh nosné konstrukce je uveden v bakalářské práci [1], a proto není nutné jej více rozebírat. V rámci diplomové práce byla nosná konstrukce realizována. Na obrázku 27 je znázorněno, jak konstrukce vypadá. V příloze je výrobní výkres přípravku pod označením *UPN_01*. Je důležité zmínit, že ve výpočtech centráže nebyla tato nosná konstrukce zahrnuta. Při jejím používání s i bez nákladu je nutné dbát na povolenou centráž. K usnadnění vyvážení v podélné ose přispívá fakt, že celá konstrukce je v podélné rovině posuvná. Při tvorbě výkresů byly pro vyhledání normovaných dílů použity strojnické tabulky Leinveber J., Vávra P., 2008 [17].



Obr. 27 – Obrázek nosné konstrukce pro externí zařízení.

Obrázek 28 znázorňuje schéma zapojení zařízení na vrtulníku s *TeleFlyOSD*. Baterie se používá buď jedna o napětí 22,2 V (malý vrtulník), nebo dvě o celkovém napětí 44,4 V (velký vrtulník). Převážná většina zařízení je napájena přibližně 12 V. Proto musel být vyroben regulátor napětí, který z maximálního napětí 63 V (rezerva cca 20 V) na vstupu vytváří stálé napětí 12 V na výstupu. Toto napětí napájí minikameru,

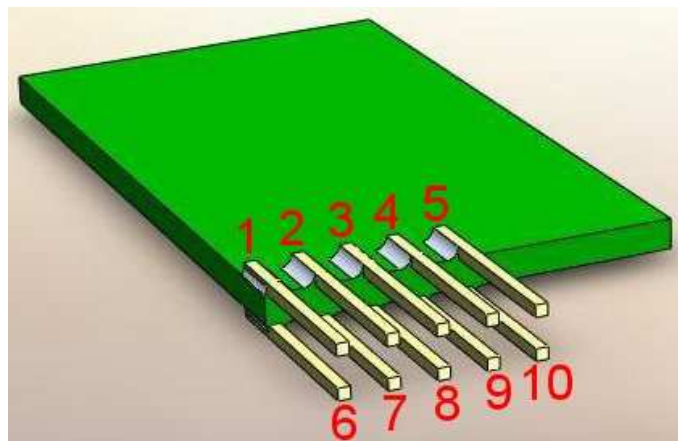
vysílač a přes vysílač i OSD. V OSD se napětí reguluje na 3,3 V pro napájení GPS modulu. Minikamera je k napájení připojena přes konektory, aby se dala odpojit a soustava použít s hlavní kamerou. Ta má svůj vlastní zdroj elektrické energie. RCA konektory, které spojují kameru s OSD, jsou použity ze stejného důvodu, a to možnost použití soustavy s oběma kamerami. Minikamera má na video výstup připájený RCA konektor. Hlavní kamera má video výstup v podobě konektoru typu JACK. Kabelem dodaným s kamerou lze kameru propojit přes RCA konektor se soustavou. Informace, k čemu slouží ten který barevný kabel na OSD, GPS modulu a vysílači, jsou uvedeny v tabulce 3 pod obrázkem. Obrázek 29 znázorňuje číslování pinů na OSD tak, jak je provedeno v reálu. Na obrázku 30 je znázorněn GPS modul s vyznačenými piny. K jakému kabelu se piny mají napojit, viz tabulka 4. Tabulka 5 popisuje význam kabelů připojených k vysílači.



Obr. 28 – Schéma zapojení zařízení na vrtulníku. Baterie má napětí buď 22,2 V, nebo 44,4 V. Regulátor napětí obsahuje spínaný regulátor napětí, Shottkyho diodu, cívku a dva kondenzátory. Zapojení regulátoru bylo provedeno dle [19]. Barvy kabelů odpovídají reálným barvám mimo bílé, ta je zobrazena šedou barvou „(bílý)“. Pokud je kabel vícebarevný, znamená to, že byl spájen z kabelů s různobarevnou izolací. Kabel nakreslený tlustou čarou značí svazek kabelů. U napájecích kabelů je napsána velikost napětí. Barvy konektorů a zařízení odpovídají realitě. Čísla u OSD a GPS značí číslo pinu. Schéma bylo kresleno v programu ProfiCAD pro domácnost.

Tab. 3 – Tabulka pinů na TeleFlyOSD. Levá část tabulky je pro očíslované vstupy (10 pinů), pravá část je pro neočíslované vstupy (3 piny) [15].

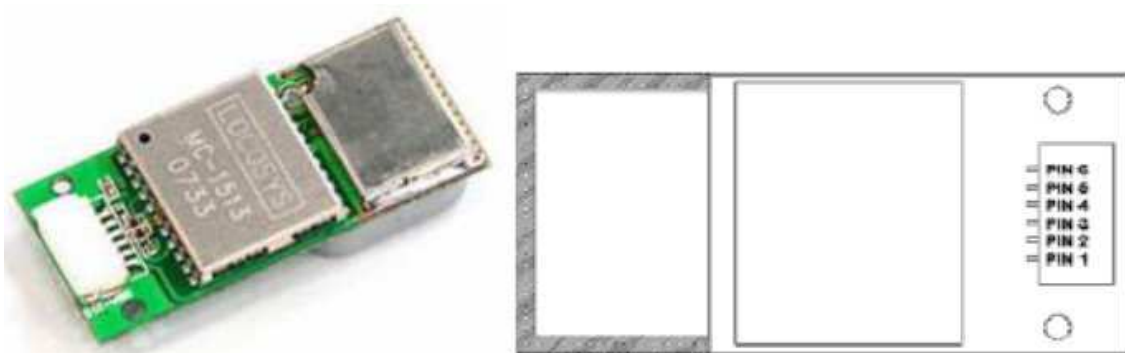
číslo pinu	barva kabelu	popis	barva kabelu	popis
1	bílá	audio výstup	žlutý	video výstup
2	černá	zem (GND)	černý	zem (GND)
3	černá	zem (GND)	bílý	video vstup
4	žlutá	video výstup		
5				
6	červená	napájení, 12 V		
7	modrá	nastavení Home		
8	černá	zem (GND)		
9	oranžová	napájení GPS, 3,3 V		
10	zelená	vstup GPS dat		



Obr. 29 – Obrázek číslování pinů TeleFlyOSD [15] (obrázek je upravený autorem v programu GIMP 2.0).

Tab. 4 – Tabulka pinů na GPS modulu [15].

číslo pinu	popis
1	napájení 3,3 V (červený kabel)
2	zem (GND)
3	výstup dat
4	
5	
6	záložní napájení



Obr. 30 – Obrázek očíslování pinů GPS modulu [15].

Tab. 5 – Tabulka významu kabelů na vysílači (mimo napájecí kabely, které jsou v jiném svazku) [11].

barva kabelu	popis
zelený	audio vstup
bílý	audio vstup
žlutý	video vstup
červený	napájení výstup, 12 V
černý	zem (GND)

Zpracování obrazu na vrtulníku a jeho poslání přes vysílač k pozemní stanici pracuje následovně. Kamera zaznamená obraz a ten je poslán do OSD. V OSD jsou pomocí měřících systémů zpracována data o letu (výška, rychlost, směr k domovu atd.), jsou přidána do video obrazu a po video kanálu poslána do vysílače. Data z GPS jsou také přivedena do OSD. Zde se zpracují pro vypočítání některých letových dat a zároveň se zakódují do audio kanálu. Po audio kanálu jsou GPS data poslána do vysílače. Ve vysílači je video i audio kanál namodulován na nosnou frekvenci a bezdrátově poslán k pozemní stanici. Důležité je, aby byl před letem nastaven *Home* pomocí tlačítka připojeného k OSD (viz obr. 28). Z těchto dat se vypočítává směr vrtulníku k pozemní stanici (šipka zobrazovaná ve videu určující směr ke stanici). Zároveň musí být nastaven i *Home* na pozemní stanici pomocí driveru. Tato data jsou použita k výpočtu, jakým směrem se má tracker natočit [15]. Zpracování signálu na zemi je popsáno v následující kapitole.

3.1.2 Pozemní stanice

Umístění jednotlivých zařízení na pozemní stanici není až tak důležité. Musí být zajištěno, aby byl tracker společně s anténou ve vodorovné poloze, a mohl se otáčet o 360 °. Jelikož je tracker vybaven stativovým závitem (W 1/4), bylo rozhodnuto, že se jako podstavec využije stativ. Stativ má tu výhodu, že se dá vyrovnat ve všech třech osách a je vybaven vodováhou. Tím lze snadno i v terénu zajistit, aby byl tracker ve vodorovné poloze. Na obrázku 31 je zobrazena pozemní stanice. Ke stativu přes stativový závit je přidělán tracker. Na pohyblivém rameni trackeru je šroubovým spojem připevněna směrová anténa. Přijímač se všesměrovou anténou je přidělán pomocí lepicí pásky z boku k trackeru. Celá sestava je otočná o 360 °. Jediný kabel, který vede od trackeru k driveru je připojen k nepohyblivé části trackeru. Při otáčení tedy neexistuje kabel, který by spojoval pohyblivou a nepohyblivou část a tudíž se nezamotá. Driver, který je upevněn pomocí lepicí pásky k noze stativu, je spojen s video převodníkem a dále s FPV brýlemi, obrazovkou nebo jiným zobrazovacím zařízením. Mezi driver a video převodník lze vložit rozdělovač video signálu. Ten umožní jak

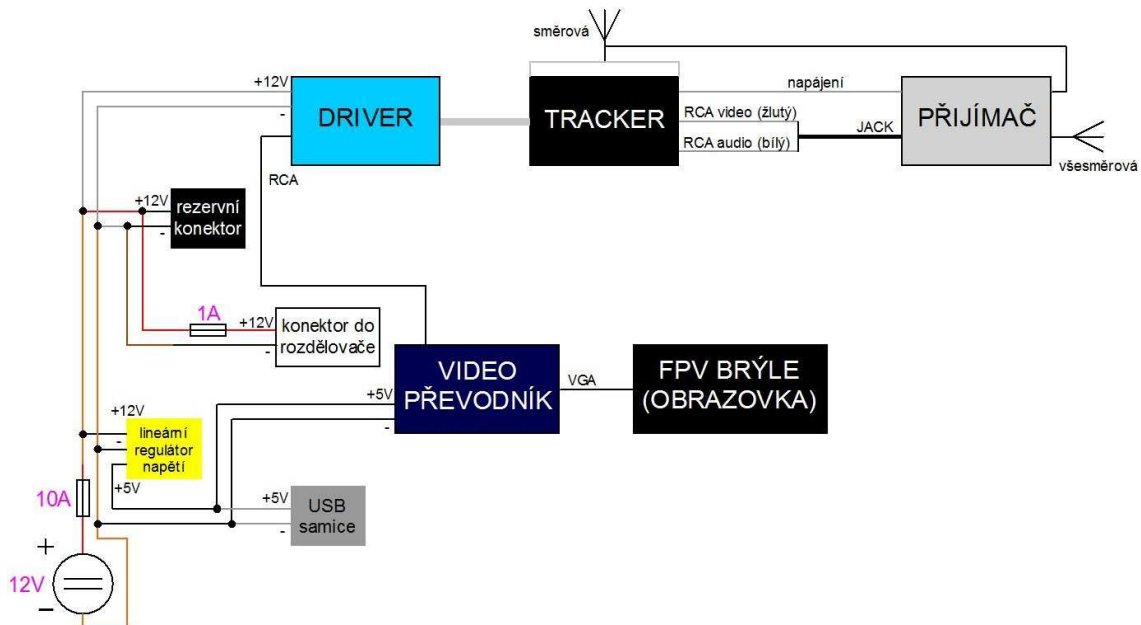
zobrazení např. v FPV brýlích, tak spojení s PC (přes grabber) a tím možnost záznamu. Převodníkem a rozdělovačem video signálu počínaje nemusí být zřízení připevněna ke stativu. Většinou jsou volně položena na zemi, podložce, stolu či něčem jiném okolo stativu.



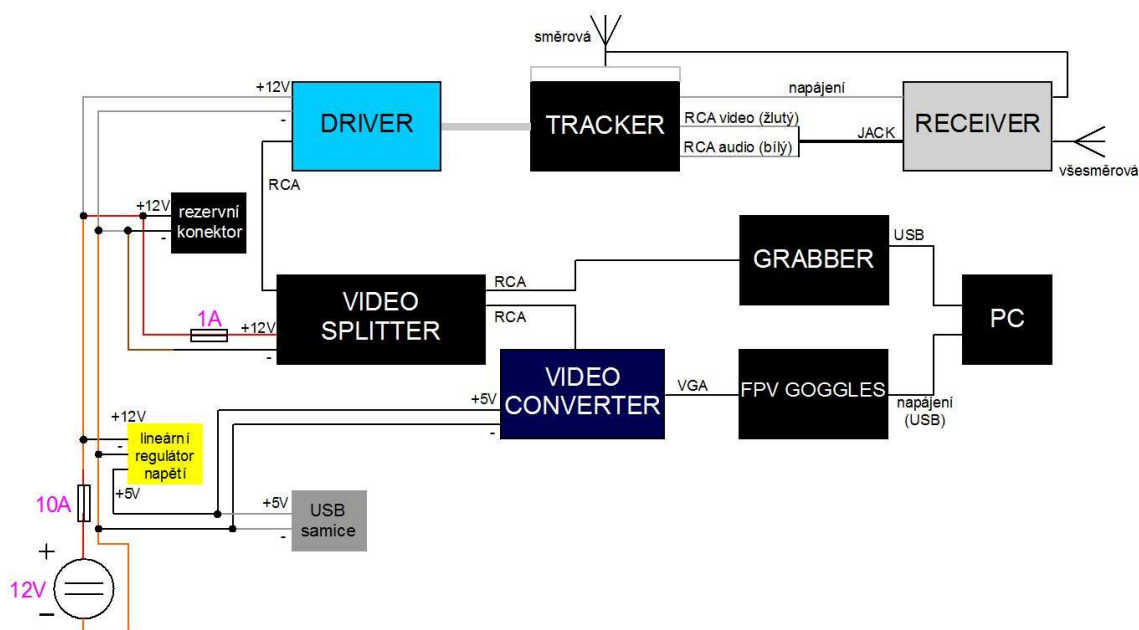
Obr. 31 – Pozemní stanice v uspořádání bez video rozdělovače a grabberu.

Na obrázku 32 je schéma zapojení pozemní stanice pouze s jedním video výstupem (bez rozdělovače) i s napájením. Na obrázku 33 je zapojení až se čtyřmi video výstupy (s rozdělovačem). Funkce celé pozemní stanice je následující. Přijímač určí, ze které antény je silnější signál a tou bude přijímat. Demodulovaný signál putuje z přijímače do trackeru přes speciální kabel. Tento kabel má na straně u přijímače konektor typu JACK a na straně u trackeru jsou dva RCA konektory (audio a video). Trackerem signál pouze projde (bez zpracování), a to přímo do driveru, který ho dekóduje. Přes video kanál je posílán obraz s daty z OSD (umělý horizont, výška atd.) a přes audio kanál jsou posílána GPS data. Ze získaných dat o poloze vrtulníku a dat o své poloze driver určí pozici vrtulníku a pošle příkaz trackeru, jak má se směrovou anténou otáčet (horizontálně i vertikálně). Video signál, který přijala anténa s přijímačem, pošle driver přes kabel s RCA konektory do rozdělovače videosignálu [15]. Pokud není rozdělovač použit, je signál poslán rovnou do video převodníku. Rozdělovač signál zesílí dle požadavků a přivede na 4 RCA výstupy. Jedním výstupem je signál přes RCA kabel poslán do převodníku, druhým (také RCA kabel) do video grabberu. Grabber umožní převod videa do počítače, kde může být zpracován (nahrán). Převodník umožní převod signálu z RCA vstupu na VGA výstup, na který jsou přes VGA kabel napojeny FPV brýle. Z celého systému lze vyřadit driver s trackerem.

Příjem signálu bude pouze všesměrový a signál půjde z přijímače rovnou do rozdělovače nebo převodníku (dle zapojení). Vzdálenost, na kterou je možné video i audio signál přenést závisí na mnoha faktorech. Legislativa udává maximální možné vysílací výkony pro jednotlivé frekvence, a tím i omezuje dosah. V rámci projektu se počítá s teoretickým možným dosahem do míst, kdy je bezpilotní prostředek ještě viditelný z místa, odkud se ovládá, nebo do 5 km.

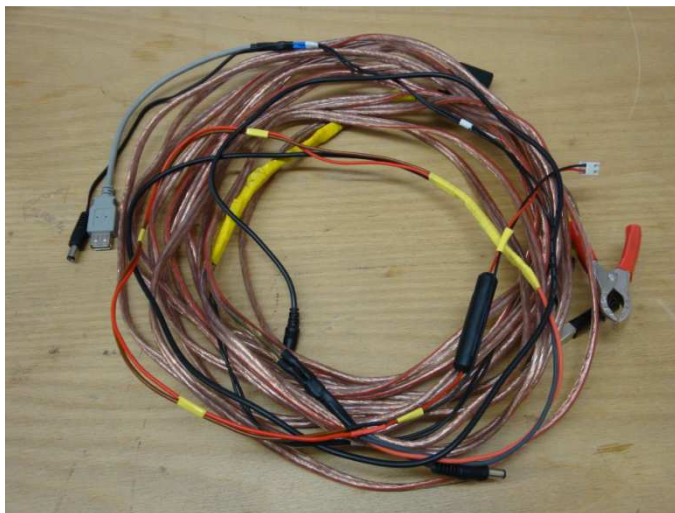


Obr. 32 – Schéma zapojení pozemní stanice bez rozdělovače video signálu. Barvy kabelů, zařízení i konektorů odpovídají realitě. Pokud je kabel vícebarevný, znamená to, že byl spájen z kabelů s různobarevnou izolací. U propojovacích kabelů je vždy napsán typ konektoru. U napájecích kabelů je napsána velikost napětí. Kabel nakreslený tlustou čarou značí svazek kabelů. U symbolu antény je napsán její typ. Schéma bylo kresleno v programu ProfiCAD pro domácnost.



Obr. 33 – Schéma zapojení pozemní stanice s rozdělovačem video signálu. Barvy kabelů, zařízení i konektorů odpovídají realitě. Pokud je kabel vícebarevný, znamená to, že byl spájen z kabelů s různobarevnou izolací. U propojovacích kabelů je vždy napsán typ konektoru. U napájecích kabelů je napsána velikost napětí. Kabel nakreslený tlustou čarou značí svazek kabelů. U symbolu antény je napsán její typ. Schéma bylo kresleno v programu ProfiCAD pro domácnost.

Při řešení napájení pozemní stanice se nejprve uvažovalo, zda zvolit pevné napájení ze sítě (230 V) nebo nějaké mobilní. Jelikož je pozemní stanice používána v terénu bez možnosti pevné sítě, bylo rozhodnuto o mobilním napájení. Jako vhodná možnost se jeví baterie. Za předpokladu, že do terénu budou vrtulník i pozemní stanice transportovány automobilem, jeví se jako vhodný zdroj autobaterie. Výhodou je i její napětí (12 V). Důvodem je provozní napětí pozemních zařízení. To je buď 12 V, nebo 5 V. Na základě zmíněných faktů byl vyroben napájecí kabel o délce 10 m s potřebnými konektory (obr. 34). Samotný systém napájení pozemní stanice elektrickou energií je následující. Napájecí kabel se přes svorky připevní k autobaterii. U kladné svorky je 10 A tavná pojistka proti zkratu. 12V větev napájí rozdělovač, který má ještě 1 A tavnou pojistku na kladném pólu, driver, přes který je napájen i tracker a přijímač s anténami, jeden rezervní napájecí konektor a lineární regulátor napětí. Napájecí konektor driveru a rezervní konektor jsou podobné konektory, jako mají napájecí kabely notebooků, liší se pouze rozměry. Rozdělovač má speciální obdélníkový konektor. Regulátor upravuje napětí z 12 V na 5 V. Vzniká tak 5V větev, na kterou je napojen video převodník, který má napájecí konektor podobný jako driver, a USB konektor (samice). FPV brýle se napájí přes USB připojené k počítači.



Obr. 34 – Napájecí kabely pro pozemní stanici.

3.2 Testování

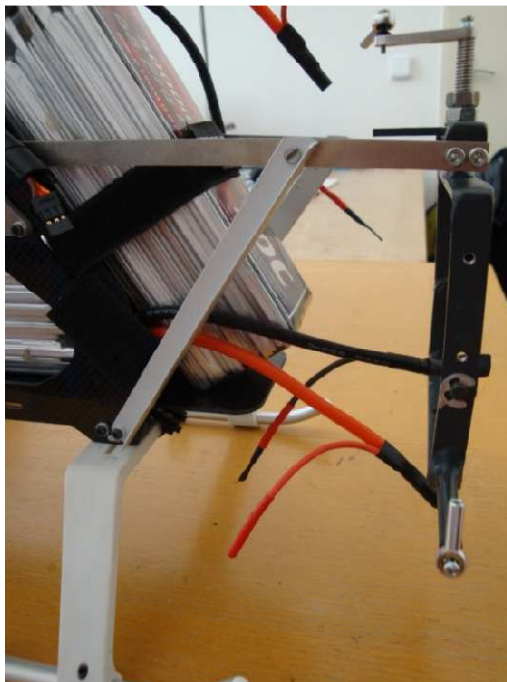
Není nutné psát pro každé zařízení, které je popsáno v kapitole 2 vlastní podkapitulu o průběhu testování. Důvodem je, že některá zařízení neměla při testování problémy. Testování bezproblémových zařízení bude popsáno v následujícím odstavci a testování zařízení, u kterých se během testování objevily problémy, bude popsáno v podkapitolách.

Mezi bezproblémová zařízení, která po správném zapojení pracovala tak, jak měla, patří video vysílač a přijímač, směrová anténa a celý systém AAT mimo trackeru. Problém s trackerem je popsán níže. Termovizní kamera a Head Tracking modul zatím nebyly pořízeny, tudíž u nich neproběhlo žádné testování.

3.2.1 Hlavní kamera

Hlavní kamera své funkce záznamového a zobrazovacího zařízení splňuje správně. Problém je u samotného zobrazování zaznamenaného obrazu. Než bude vysvětlen problém, bylo by dobré vysvětlit, jak hlavní kamera zaznamenává obraz. Kamera využívá senzor typu CMOS. Senzor je složen z mnoha bodů snímajících obraz uspořádaných do matice. Při pořízení snímku se obraz zaznamenává po řadách (tzv. rolling shutter). Vždy snímá obraz pouze jedna řada matice. Snímání postupuje od shora dolů. Pokud bude kamera vystavena vysoko-frekvenčním vibracím, a to v našem případě je (vibrace od motoru), bude se zaznamenaný obraz jevit, že se vlní. Je to dáno tím, že obraz snímáný následující řadou je oproti té předchozí řadě posunut, neboť se díky vibracím posune celá kamera. Více o vysvětlení problému vlnění obrazu viz internetový článek Tirosh, 2012 [20].

Jak bylo zmíněno výše, problém tkví ve vlnění obrazu. Prvním řešením bylo vložení pryžové vložky mezi nosná ramena a zbytek otočného zařízení. Výsledek však byl nulový. Druhá možnost byla použít zpevnění ramen pomocí výztuh (obr. 35). I toto řešení se ukázalo jako neúčinné. Pro lepší pochopení problému byl proveden test, kdy se kamera připevnila napevno ke spodní části vrtulníku přímo do těžiště pod rotor. Výsledkem byl video záznam, který se vlní jen nepatrně. Vlnění však nebylo zcela odstraněno.



Obr. 35 – Detail výztuh ramen držáku hlavní kamery.

Po detailnějším prozkoumání problematiky přes internetová fóra bylo zjištěno, že problém s vlněním obrazu se v RC modelářině řeší odpružením nebo speciálními elektromotory schopnými vyrovnat chvění. Bylo rozhodnuto, že se provede test s antivibrační deskou pro autopilot, která již byla pořízena. Ukázalo se, že řešení je účinné. Při vyšších otáčkách motoru bylo vlnění zcela odstraněno. Pro nízké otáčky se obraz stále vlní. To však není až takový problém. Zamezení vlnění obrazu se docílí použitím vyšších otáček motoru při letu. Minimální doporučené otáčky motoru, aby se zamezilo vlnění obrazu, jsou 1 400 *ot./min*. Jedno z možných řešení, jak odstranit chvění při nízkých otáčkách, je použití zmíněných elektromotorů. V současné době však nejsou prostředky na jejich pořízení.

Na obrázku 36 je antivibrační deska připevněna k otočnému držáku hlavní kamery. Vyobrazenou sestavou se docílí zmírnění/odstranění vlnění obrazu a zároveň se

držák stane vhodný i pro jiná, menší zařízení. Otočný držák lze díky rozebíratelným šroubovým spojům použít s deskou nebo bez ní. Vzhledem k hmotnosti bude mít samotná deska pouze malý vliv na centráž. Přesto je nutné před letem centráž překontrolovat. Na vrchní desku antivibrační desky lze připevnit i jiná zařízení. Připevnění je možné pomocí oboustranné lepicí pásky a pásek se suchým zipem nebo plastových stahovacích pásek. Tato zařízení mohou ovlivnit centráž a je nutné před letem provést její kontrolu.



Obr. 36 – Rozložená antivibrační deska připevněná pomocí dvou nosníků profilu L a šroubových spojů k otočnému držáku hlavní kamery.

3.2.2 Minikamera

K minikameře byly dodány dvě optické čočky s různými vlastnosti. Výběr čočky je zmíněn v kapitole 2.2. Problém nastal při zaostřování kamery. Čočka je ke kameře připevněna pomocí závitů. Když byla čočka nastavena tak, aby byl obraz ostrý, čočka držela pouze na jednom závitě. Komplikace byla vyřešena pojištěním závitového spoje pomocí lepidla na plasty. Výhodou je, že při vibracích se čočka nevyšroubuje a nevypadne. Nevýhoda je, že není možné čočky měnit. Lepený spoj je nerozebíratelný. V tomto případě to ale příliš nevadí. Druhá čočka byla pro natáčení objektů umístěných řádově v centimetrech od kamery. Pro použití na bezpilotním prostředku je tedy zcela nevhodná. Bepilotní prostředek se nemůže na takovou vzdálenost k objektu přiblížit.

Minikamera má jednu velkou nevýhodu. Nemá možnost záznamu videa. Problém byl vyřešen pořízením rozdělovače video signálu a video grabberu. Rozdělovač rozdělí video signál, takže bude možné přijímané video sledovat ve video brýlích a zároveň půjde signál do grabberu, který signál převede do počítače a pomocí

dodaného softwaru zaznamená. Při testech funkčnosti rozdělovače a grabberu nebyl zjištěn žádný problém s hardwarem ani softwarem (program pro nahrávání a zpracování videa).

3.2.3 FPV brýle

Prvním problémem u brýlí bylo přenést video výstup z přijímací antény do brýlí. Na výstupu z antény je RCA konektor a na brýlích je VGA konektor. Aby se problém vyřešil, musel být v průběhu testování pořízen video převodník popsáný v kapitole 2.3.2. Při testování nenastal s převodníkem žádný problém.

Druhým problémem bylo napájení. Brýle jsou napájeny 5 V přes USB. Problémem je, že brýle potřebují komunikaci s počítačem. Prvním pokusem, jak problém odstranit, byl nákup USB konektoru, na který se přivedlo potřebné napětí. Brýle se ale nezapnou. Znamená to, že při používání brýlí je potřeba notebook nebo jiný PC s USB vstupem. To není zas takový problém, neboť při letu můžeme na tom samém PC sledovat letové údaje, programovat autopilot nebo nahrávat video záznam z minikamery.

Dalším problémem, který se objevil je Head Tracking. Brýle *iWear* sice Head Tracking mají, je ovšem dělaný pro PC. K jeho zprovoznění je zapotřebí operačního systému a nainstalování ovladačů. Head Tracking pak komunikuje přes USB. To je zcela nevhodné a není v našich silách napojit takto konstruovaný Head Tracking na RC vysílačku a zprovoznit ho. Jedním z možných řešení je pořídit externí Head Tracking modul, který je zkonstruován přímo pro použití na RC modelech. Vhodné moduly jsou popsány v kapitole 2.3.1.

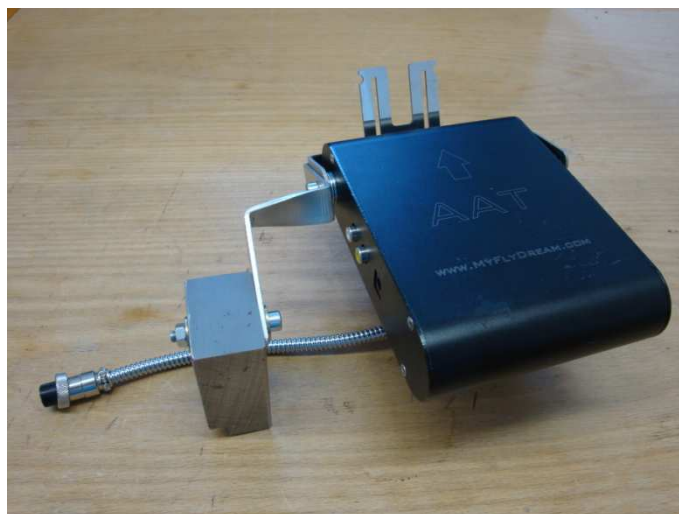
3.2.4 AAT tracker

AAT tracker, neboli zařízení, které natáčí směrovou anténu tak, aby směřovala směrem k bezpilotnímu prostředku, potkala během testování havárie. Servomotor, který vertikálně naklápí směrovou anténu, byl přetížen. Servomotor je navrhován na maximální zatížení 1 kg. Sama anténa má hmotnost 1 kg, navíc je umístěna na rameni a vzniklá páka namáhá servomotor za hranice možností. Pro nápravu havárie byl pořízen nový servomotor a vyměněn. Aby se předešlo obětovnému zničení servomotoru, bylo přidáno protizávaží. Při prvních testech bylo použito provizorní protizávaží v podobě kladiva a klíčů na utahování šroubů (obr. 37).



Obr. 37 – Provizorní protizávaží směrové antény skládající se z kladiva a klíčů na utahování matic.

Řešení se ukázalo jako dobré a bylo vyrobeno protizávaží (obr. 38) v podobě ocelového kvádrů 71,4 x 46,2 x 32 mm o hmotnosti 796,7 g. Protizávaží je k rameni připevněno pomocí šroubového spoje.



Obr. 38 – Ocelové protizávaží připevněné pomocí šroubového spoje k otočnému rameni AAT Trackeru.

3.2.5 OSD

TeleFlyOSD není v kapitole uvedeno z důvodu, že by nastaly nějaké problémy při testování. Důvodem je obrázek 39, který zobrazuje, jak vypadá obraz přenášený z vrtulníku, do kterého jsou pomocí OSD přidány letové i jiné údaje.



Obr. 39 – Video obraz přenášený z vrtulníku s letovými údaji přidávanými TeleFlyOSD. Zleva v horní části obrazovky je letový čas, kurz a počet viditelných GPS satelitů. Ve spodní části je zleva zobrazen šipkou směr k Home (pozemní stanici) a vzdálenost v metrech (NA je zobrazeno z důvodu, že nebyl nastaven Home), výška v metrech a rychlost letu v km/h.

Problémy nastaly s *MinimOSD*. Dosavadní pokusy o nahrání softwaru do OSD byly neúspěšné. Důvod, proč se nedaří nahrát software, tkví ve špatném převodníku. Tento převodník je ve své podstatě deska s tištěnými spoji, která umožňuje propojení a přenos dat mezi PC a *MinimOSD*. Převodník, který byl zakoupen, pochází ze série s vadným čipem. Čip při připojení k PC spustí aktualizaci, která zapříčiní jeho poškození a čip dále není funkční. Bohužel, aktualizace se nedá zastavit a poškozený čip nelze opravit. Je již objednan převodník s čipem z jiné série.

4 Ochranná opatření

Jak již název kapitoly napovídá, text bude pojednávat o ochranných opatřeních. Tato opatření mají za úkol ochránit pozorovací zařízení před nepříznivými vlivy. Vzhledem k zamýšleným použitím bezpilotního prostředku, jako jsou pozorování dopravy, monitorování a mapování budov, návratové zařízení pro meteorologické sondy, monitorování produktovodů a dopravníků, transport drobných předmětů atd., mohou mezi nepříznivé vlivy patřit: prach, vlhkost, mrholení, drobné pevné částice, nízký tlak a nízká teplota.

První z ochran, která byla použita, je ochrana proti mechanickému poškození, prachu, drobným částicím a vlhkosti. Pro většinu tištěných spojů (OSD, vysílač, regulátor, atd.) byla použita plastová stahovací fólie. Minikamera má vlastní plastový kryt. Co se týče hlavní kamery, lze ji použít buď s vodotěsným plastovým krytem (obr. 40), nebo bez něj. Plastový kryt chrání kameru před zmiňovanými nepříznivými vlivy velice dobře. Nevýhoda je, že kryt je těžký a při jeho použití se snižuje vrtulníku užitečná hmotnost. Veškeré pozemní vybavení má vlastní ochranné obaly (plastové nebo kovové). Napájecí kabeláž je chráněna plastovou izolací a pájené spoje jsou chráněny stahovacími fóliemi. Důležité je, aby kabely a pozemní přístroje nepřišly do styku s vodou, například položením do vlhké vegetace. Jako prevenci před vznikem zkratu lze pod pozemní stanicí položit nepromokavou plachtu. Ochrana před velkým mokrem není potřeba, neboť vrtulník není na létání v dešti stavěn.



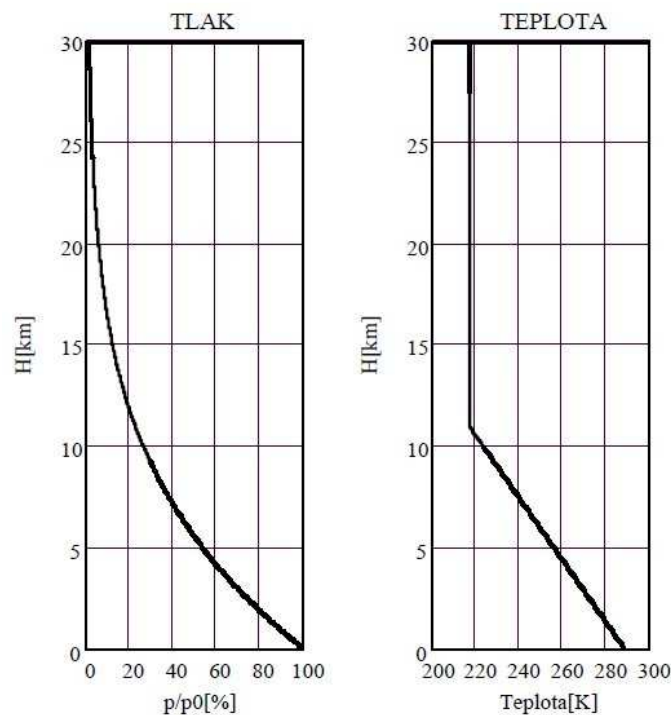
Obr. 40 – Vodotěsný kryt hlavní kamery.

Jelikož je jedna z možností využití bezpilotního prostředku jako návratového zařízení pro meteorologické sondy, musí se počítat s tím, že ve vysokých nadmořských výškách bude vrtulník i s veškerým vybavením vystaven extrémním podmínkám v podobě nízké teploty a nízkého tlaku. S přibývajícím výškou klesá teplota i tlak. Teplota klesá přibližně o $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ na 1 km . Tlak klesá v závislosti na výšce, hustotě vzduchu a gravitačním zrychlení. Rovnice (4.1) znázorňuje změnu tlaku s přibývajícím výškou pro troposféru i stratosféru s přesností kolem 2% [21]. Graf 1 graficky znázorňuje závislost teploty a tlaku na výšce.

$$\frac{P}{P_{h=0}} = e^{\left(\frac{-h}{7255}\right)} \quad (4.1)$$

Kde $\frac{P}{P_{h=0}}$ je změna tlaku s výškou a h je geodetická výška v metrech.

Graf 1 – Grafy závislosti změny tlaku a teploty na výšce nad mořem [21].



Při řešení ochrany přístrojů před tak extrémními podmínkami byl o pomoc požádán ČHMÚ. ČHMÚ denně vysílá 3 stratosférické sondy. Tyto sondy jsou konstruovány až do teploty $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Citlivé elektronické vybavení je elektricky vyhříváno. Přístroje jsou zároveň certifikovány na tlak ve stratosféře. Naše vybavení je konstruováno a certifikováno do běžných podmínek panujících na zemi. Minimální provozní teploty se pohybují od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Co se týče tlaku, nepředpokládá se,

že by zařízení měla fungovat ve výškách vyšších, než hory vyskytující se na planetě (do 8 000 m). Proti ochraně před nízkými teplotami lze v našem případě také využít vytápění (např. odporový drát). Problém nastává se zdrojem elektrické energie. Pokud by vrtulník nesl další baterii, zkrátí se dolet a snížila by se užitečná nosnost. V úvahu přichází i použití izolačního materiálu (např. polystyrén). Otázkou zůstává, zda by byla izolace dostatečná a zda by se zařízení, díky tepelné energii vydávané při provozu, dostatečně ohřálo samo. Nejlepší by byla kombinace obou možností.

Ochrana před tlakem není tak důležitá. Většina pozorovacích zařízení není hermeticky uzavřená a docházelo by k vyrovnání tlaku. Při bezporuchovém stavu by zařízení měla pracovat v nižším tlaku bez problémů. Problém by mohl nastat, pokud by z výroby byla v nějakém zařízení vada, která by zapříčinila tlakově uzavřený prostor. Při změně venkovního tlaku by mohlo dojít k explozi a poškození zařízení. Řešit ochranu před tlakem například tlakovými nádobami je vzhledem k jejich hmotnosti nevhodné. Meteorologické sondy nemají ochranu před změnou tlaku a předpokládá se, že jsou přístroje bez závad. Stejný přístup je možné použít i pro náš projekt.

5 Závěr

Závěrem je vhodné shrnout celou diplomovou práci a zhodnotit, zda byly splněny výsledky. Diplomová práce dále rozvíjela a především uvedla v realitu výsledky bakalářských prací, ze kterých vycházela. Prvním z přínosů bylo podrobné popsání všech zařízení spojených se sledovací a přenosovou technikou. Díky soupisu všech zařízení je pro případné pokračovatele na projektu snadné dohledat, jaké vybavení bylo pro projekt pořízeno, jak které zařízení funguje a jaké má funkce. Nebyla však pořízena všechna zařízení, která byla na začátku projektu v plánu. Bohužel se z finančních důvodů nepořídila termovizní kamera, která by byla velikým přínosem. Rozšířila by se možnost využití bezpilotního prostředku především v oblasti termografie. Druhé zařízení, které nebylo pořízeno je Head Tracking modul popřípadě FPV brýle s integrovaným modulem pro RC modely. Pohyblivý držák byl v rámci diplomové práce uzpůsoben pro otáčení a byly koupeny servomotory. Jinými slovy vše je připraveno k připojení k Head Trackingu a zahájení testování. Diplomová práce doporučuje vhodné kandidáty jak pro termovizní kameru, tak řešení Head Trackingu přes modul s využitím stávajících FPV brýlí.

Dalším cílem, který měla diplomová práce, bylo popsat instalaci pořízeného vybavení na vrtulník. Bylo řešeno umístění jednotlivých zařízení a jejich připevnění a ovlivnění vyvážení vrtulníku jednotlivými zařízeními. V rámci instalace bylo také popsáno zapojení jednotlivých zařízení do funkční soustavy a řešení jejich napájení, a to jak na vrtulníku, tak na pozemní stanici, která je nezbytná k přijímání video obrazu z vrtulníku.

V diplomové práci byly zdokumentovány problémy s jednotlivými zřízenými v průběhu testovacích letů a testování pozemní stanice. Některá zařízení byla bezproblémová, u jiných se vyskytly komplikace. Jak již bylo zmíněno, jedním z problémů byl Head Tracking, který nebyl z finančních důvodů vyřešen. Dalším problémem, který byl vyřešen pouze z větší části, je vlnění obrazu hlavní kamery zapříčiněné tzv. rolling shutter. Přestože se podařilo odstranit vlnění při středních a vyšších otáčkách motoru, při nízkých otáčkách vlnění přetrvává. Problém s ostrostí obrazu minikamery a záznamem obrazu z této kamery byl zcela vyřešen zaostřením pomocí čočky kamery a pořízením vybavení umožňující propojení přijímací antény s počítačem a následné uložení zachyceného videa.

Posledním cílem diplomové práce bylo popsat a navrhnout ochranná opatření využívaných zařízení. Pro běžné letové podmínky byl cíl splněn. Byly navrženy a použity ochranné prvky jako fólie a vodotěsný kryt. Řešení ochrany v extrémních podmínkách bylo řešeno pouze teoreticky.

Diplomová práce splnila převážnou většinu cílů, které byly na začátku práce a potažmo i na začátku projektu stanoveny. Je zde však několik bodů, které byly řešeny pouze teoreticky, a případným pokračovatelům na projektu se naskýtá možnost převést tyto body z oblasti teorie do reality. Mezi tyto body patří pořízení potřebného vybavení k dokončení Head Tracking systému a jeho uvedení do provozu, odstranění vlnění obrazu hlavní kamery při nízkých otáčkách motoru, zprovoznění *MinimOSD* a případné aplikování ochrany jednotlivých zařízeními extrémních letových podmínkách. S využitím bezpilotního prostředku v extrémních podmínkách souvisí i možnost výzkumu využití bezpilotního prostředku jako návratového zařízení pro meteorologické sondy.

Diplomová práce byla napsána v programu *Microsoft Word*. Pro úpravu obrázků byl použit program *GIMP 2.0*. Při tvorbě technických výkresů a schémat zapojení a napájení zařízení byly využity programy *Autodesk AutoCAD 2014 studentská verze* a *ProfiCAD pro domácnost*.

Použitá literatura

- [1] HŮLEK, David. *Sledovací bezpilotní prostředek ČVUT FD: Analýza pozorovacích zařízení*. Praha, 2013. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. Vedoucí práce Ing. Martin Novák, Ph.D.
- [2] HERCIK, Karel. *Sledovací bezpilotní prostředek ČVUT FD: Bepilotní a přenosový systém*. Praha, 2013. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. Vedoucí práce Ing. Martin Novák, Ph.D.
- [3] AEETECHNOLOGY CO.,LTD. *MagiCam SD21: Uživatelská příručka, User manual*. Shenzhen, 2012.
- [4] 11.5x11.5 super mini fpv camera 520tvl 0.008 lux 2gram. DRONESVISION. *Drone Shop for Multirotor Aerial Cinematography FPV* [online]. Taiwan, 2014 [cit. 2014-11-05]. Dostupné z: <http://www.dronesvision.net/en/fpv/48-115x115mm-2gram-520tvl-0008lux-fpv-camera-dronesvision-fpv-cm1.html>
- [5] 1 To 4 Car DVD LCD TV Video Monitor Amplifier Booster Distribution RCA Splitter: eBay. EBAY. *Electronics, Cars, Fashion, Collectibles, Coupons and More Online Shopping: eBay* [online]. 2015 [cit. 2015-02-17]. Dostupné z: http://www.ebay.com/itm/1-To-4-Car-DVD-LCD-TV-Video-Monitor-Amplifier-Booster-Distribution-RCA-Splitter-/181456010040?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item2a3f9efb38
- [6] EasyCAP USB 2.0 Audio/Video Capture/Surveillance Dongle: 1-Channel A/V at FastTech. FASTTECH.COM. *FastTech: Gadgets and Electronics* [online]. 2012 [cit. 2015-02-17]. Dostupné z: <http://www.fasttech.com/product/1014700-easycap-usb-20-audiovideo-capturesurveillance-dong>
- [7] Vuzix iWear VR920: The New Virtual Reality for Games. VUZIX. *Vuzix: View the Future Today* [online]. UK, 2014 [cit. 2014-11-13]. Dostupné z: http://www.vuzix.com/UKSITE/consumer/products_vr920.html#overview
- [8] FAT SHARK. *M.I.G Tracker PRELIMINARY SPECIFICATION REV A*. USA, 2013, 1 s. Dostupné z: <http://www.fatshark.com/pages/migext/mig-spec.pdf>
- [9] FRIE, Dennis. DIY Headtracker (Easy build, No drift, OpenSource): RC Group. RCGROUPS.COM. *RCGroups.com: The ABCs of Radio Control - Aircraft, Boats, and Cars!* [online]. 2012 [cit. 2015-03-26]. Dostupné z: <http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=1677559>
- [10] PREMIUMCORD. *Video Converter User Manual: RCA/BNC To VGA*. Čína, 2012.
- [11] Boscama 5.8ghz 1000mw wireless audio video av transmitter vtx fpv. DRONESVISION. *Drone Shop for Multirotor Aerial Cinematography FPV: DronesVision* [online]. Taiwan, 2014 [cit. 2014-11-25]. Dostupné z: <http://www.dronesvision.net/en/wireless-av/1211-boscama-tx51w-58ghz-band-e-1000mw-wireless-av-transmitter.html>
- [12] D58-2 DUO5800 5.8Ghz 32CH Wireless AV FPV Dual Diversity Receiver: DronesVision. DRONESVISION. *Drone Shop for Multirotor Aerial Cinematography FPV* [online]. Taiwan, 2014 [cit. 2014-11-26]. Dostupné z: <http://www.dronesvision.net/en/wireless-av/960-d58-2-duo5800-58ghz-32ch-wireless-av-fpv-dual-diversity-receiver.html>
- [13] 5GHZ 23dBi Broadband High Gain Directional Panel Antenna: DronesVision. DRONESVISION. *Drone Shop for Multirotor Aerial Cinematography FPV* [online]. Taiwan, 2014 [cit. 2014-11-26]. Dostupné z:

- <http://www.dronesvision.net/en/wireless-av/355-5ghz-23dbi-broadband-high-gain-directional-panel-antenna-for-wireless-video-transmission-long-range-fpv-wimax-wifi.html>
- [14] Grid panel antenna 5GHz 802.11a long distance PtP ot PtMP links: 23dbi Panel antenna 5Ghz. WIRELESS PROFESSIONAL SOLUTIONS. *Wireless Professional Solution Mikrotik, Ubiquiti, Planet, Giada* [online]. New South Wales, 2008, 2011 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.wisp.net.au/23dbi-panel-antenna-5158ghz-p-457.html>
- [15] MYFLYDREAM. *Automatic Antenna Tracker: Manual*. V 3.0. Dostupné z: http://www.myflydream.com/download/AAT_en_3.0.pdf
- [16] APM MinimOSDRev. 1.1 Kit: 3DRobotcs Inc. 3D ROBOTICS INC. *3D Robotics: Drone & UAVTechnology* [online]. 2014 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://store.3drobotics.com/products/apm-minimosd-rev-1-1>
- [17] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4. dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, xiv, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [18] SCHOŘ, Jan, Petr ŠUSTEK. *Hmotnost a vyvážení vrtulníky (031 00): Učební texty pro teoretickou přípravu dopravních pilotů dle předpisu JAR-FCL 2*. první. Ludvík Kulčák. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 68 s. ISBN 978-80-7204-597-6.
- [19] NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. *LM2576/LM2576HV Series SIMPLE SWITCHER® 3A Step-Down Voltage Regulator*. USA, 1999, 22 s. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/330/148/lm2576hvt-12-datasheet-1.pdf>
- [20] TIROSH. Everything You Wanted To Know About Rolling Shutter: DIY Photography. DIY PHOROGRAPHY.NET. *DIY Phorography: Hacking photography - one Picture at a time* [online]. 2012 [cit. 2015-02-18]. Dostupné z: <http://www.diyphotography.net/everything-you-wanted-to-know-about-rolling-shutter/>
- [21] BROŽ, Václav, Vladimír DANĚK a Karol FILAKOVSKÝ. *Základy aerodynamiky: studijní modul 8*. Jaromír Teichl. Brno: CERM, 2003, 163 s. Učební texty dle předpisu JAR-66. ISBN 80-720-4316-1.

Doplňující zdroje:

Česká republika. Pravidla létání: L2. In: *Letecké předpisy řady L*. Praha, 2000. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>

UAV. JANOVEC, Jan a LNĚNIČKA. E-MAGAZÍN AKADEMIE LETECTVÍ. *Akademie letectví: Populárně naučný časopis o létajících strojích, leteckém modelářství a letectví obecně* [online]. 2014 [cit. 2015-03-23]. Dostupné z: http://www.airspace.cz/akademie_letectvi/tag/uav/

ZKRATKY.CZ. *Zkratky.cz: význam zkratek* [online]. 2015 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.zkratky.cz/>

Přílohy

V kapitole *Přílohy* je uveden seznam technických výkresů vztahující se k diplomové práci.

Seznam technických výkresů:

- NU_00: Sestava
- NU_01: Základní deska
- NU_02: Bočnice – zákl. deska
- NU_03: Hřídel – zákl. deska
- NU_04: Bočnice – servomotor
- NU_05: Bočnice
- NU_06: Vrchní deska
- NU_07: Nosná hřídel
- NU_08: Rameno
- NU_09: Nosná deska
- NU_10: Úchyt
- NU_11: Nosné rameno
- UPN_01: Přípravek