



## **Středoškolská technika 2017**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **Stavba trikoptéry**

**Jan Plachý**

**Střední průmyslová škola, Česká Lípa  
Havlíčková 426, Česká Lípa**

## Licenční ujednání

Ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., O právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským, ve znění pozdějších předpisů (dále jen autorský zákon) jsou práva k maturitním nebo ročníkovým pracím následující:

Zadavatel má výhradní práva k využití práce, a to v etn. komerčních účelích.

Autor práce bez svolení zadavatele nesmí využít práci ke komerčním účelům.

Škola má právo využít práci k nekomerčním a výukovým účelům i bez svolení zadavatele a autora práce.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou ročníkovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze práce jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zveřejnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změnách, kterých zákon (autorský zákon) v platném znění.

V eské Lípě dne 18.1. 2017 .....

Jméno a příjmení autora

## Anotace

Obsahem této práce je popis návrh a výroby trikopty. V práci jsou popsány jednotlivé části a důvod výběru nakoupených dílů. Jsou zde podrobné popisy uchycení jednotlivých částí ke konstrukci a konfigurace již hotového letounu. V závěru práce je finanční a časová kalkulace a popisy jednotlivých zkušebních letů.

## Klíčová slova

Trikopty; dron; bezpilotní letoun; řídicí jednotka; elektromotor; vrtule; multikopty

## Annotation

The content of this report is to describe the design and manufacture of tricopter. The study describes the various components and the reason for the selection of purchased parts. There are detailed descriptions of attaching various parts to the construction and configuration of the finished aircraft. In conclusion, there are the financial and time calculations and descriptions of each test flights.

## Keywords

Tricopter; drone; control unit; electric motor; propeller; multicopter

# Obsah

Úvod.....	6
1 Trikoptéra.....	7
1.1 Princip letu trikoptéry .....	7
2 Návrhy .....	9
2.1 První návrh.....	9
2.2 Druhý návrh .....	10
2.3 Třetí návrh – konečný .....	10
3 Použité součásti.....	11
3.1 Řídící jednotka.....	11
3.1.1 Vlastnosti NAZE32 rev. 6 .....	11
3.1.2 Cleanflight .....	12
3.2 Motory.....	12
3.2.1 Specifikace motoru DJI E310.....	12
3.3 Servomotor .....	13
3.3.1 Pelikán GO-17MG.....	13
3.4 Regulátory otáček.....	13
3.4.1 DJI Takyon Z420.....	14
3.5 Vysíla .....	14
3.5.1 Pelikán CADET 4 PRO .....	14
3.6 Přijíma .....	15
3.6.1 Pelikán RX-602 V4.....	15
3.7 Akumulátor .....	15
3.7.1 Gens ACE LiPo – 3S 4000mAh 11,1V 3S1P 25C.....	15
3.8 Stabilizátor napětí.....	16
3.8.1 Tesla MA7805 .....	16
4 Stavba.....	17
4.1 Použité materiály.....	17
4.2 Stavba konstrukce .....	17
4.2.1 Příprava nosných ramen.....	18
4.2.2 Příprava středové části .....	18
4.3 Uchycení součástí.....	18
4.3.1 Uchycení řídicí jednotky.....	18

4.3.2	Uchycení motor .....	19
4.3.3	Uchycení servomotoru.....	19
4.3.4	Uchycení akumulátoru.....	19
4.3.5	Uchycení ostatních částí .....	20
4.3.6	Výsledný vzhled .....	20
5	Konfigurace řídicí jednotky .....	21
5.1	Nahrání firmwaru.....	21
5.2	Nastavení vysílání a přijímání.....	21
5.3	Nastavení regulátor a servomotoru .....	22
5.4	Nastavení režimu Failsafe.....	22
6	Testování.....	23
6.1	První let .....	23
6.2	Druhý let.....	23
6.3	Třetí let .....	23
6.4	čtvrtý let.....	23
6.5	Výsledky testování .....	23
7	Finanční a časová náročnost .....	24
7.1	časová náročnost .....	24
7.2	Finanční kalkulace .....	24
8	Závěr .....	25
	Použitá literatura.....	26
9	Seznam obrázků a tabulek .....	27
10	Příloha 1 – CD .....	28

## Použité zkratky, značky a symboly

I – elektrický proud,  $[I] = A$

m – hmotnost,  $[m] = kg$

U – elektrické napětí,  $[U] = V$

PWM – pulzní šířková modulace

Rpm – počet otáček za minutu

## ÚVOD

V poslední době se začali hodně prodávat jednoduché multikoptéry, to byl důvod pro mě napadlo, že si postavím vlastní dron. Vybral jsem trikoptéru, protože má trochu jiné vlastnosti než ostatní. Trikoptéru jsem chtěl postavit už několik let, ale nebyl na to čas, ani finance. Proto jsem využil příležitosti, když jsem se dozvěděl, že by stavba mohla být jako ročníková práce.

Trikoptéru budu vyrábět v etnické konstrukce, nebude použita žádná stavebnice, ani předem připravené díly, nebudu se soustřeďovat na design, jen na dobrou přenositelnost a dobré letové vlastnosti.

Předem bych chtěl upozornit, že nemám se stavbou dálkově řízených letounů, ani jiných dálkově řízených modelů žádné zkušenosti, a proto se zde objeví návrhy a postupy, které nejsou standardní.

# 1 TRIKOPTÉRA

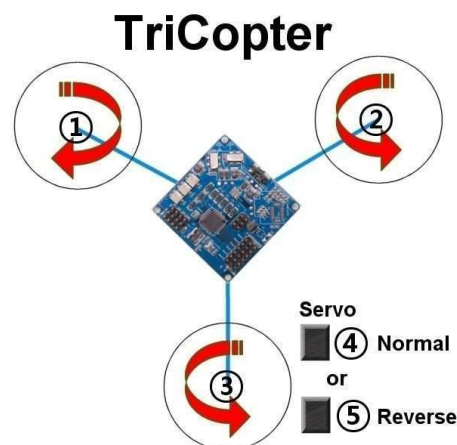
Trikoptéra je bezpilotní letoun, který patří do kategorie multikoptyr. Multikoptyry se rozlišují podle počtu vrtulí, proto trikoptéra má vrtule 3, ale jsou i případy, kdy má trikoptéra 4 vrtule nebo dokonce 6. I takové multikoptyry se řadí do trikoptyr, protože létají na stejném principu, jako standardní trikoptéra.

Trikoptéra se skládá z několika částí. Její základ tvoří nosná konstrukce, na které jsou upevněny všechny ostatní části. Ostatní části se dají rozdělit na tři části: napájecí část, řídicí část a část, která umožňuje let trikoptyry.

K napájení trikoptyry se používají lithiové akumulátory. Jsou tu také součásti, které slouží k napájení řídicí části, ale vše je připojeno k jednomu akumulátoru.

Druhá část obsahuje řídicí jednotku, přijímače a regulátory otáček. Tyto součásti zpracovávají příchozí signály a řídí podle nich celý letoun.

Třetí část se skládá z motorů, vrtulí a servomotoru.



Obrázek 1 Návrh trikoptyry

## 1.1 Princip letu trikoptyry

Multikoptyry se liší od ostatních letounů tím, že k letu potřebují počítač. Bez počítače není multikoptéra schopná stabilně stát ve vzduchu jako například letadlo nebo helikoptéra. Je to způsobeno tím, že pro stabilizaci a směr letu se využívá rychlost otáček u vrtulí a právě to, jak rychle se mají točit vrtule vypočítá počítač (řídicí jednotka), který je uvnitř.

Trikoptéra se od ostatních multikoptyr neliší jen počtem vrtulí, ale také tím, že pro stabilní let potřebuje navíc servomotor. Servomotor je zde potřeba, protože má trikoptéra lišící se vrtulí, takže kdyby zde nebyl, tak se bude trikoptéra otáčet po svislé ose. U jiných multikoptyr se to děje tak, že vrtule, které jsou proti sobě se otáčejí stejným směrem a vrtule, které jsou vedle sebe



se otáčí směrem opačným. Trikoptéra má vrtule jen 3, proto se otáčí takovým způsobem, že servomotor naklopí zadní vrtuli tak, aby „zatáhla na druhou stranu“. Proto se zde nemůže použít standardní řídicí jednotka, ale ta, která trikoptéry podporuje.

Tím, že se musí jedna vrtule naklánět ztrácí trikoptéra jednu výhodu multikoptér. Ostatní multikoptéry mají pevnou konstrukci bez pohyblivých částí, a proto jsou jednoduché na stavbu a jsou celkově pevnější a odolnější proti nárazům. Trikoptéra má zase výhodu v rychlých reakcích a plynulejším letu.

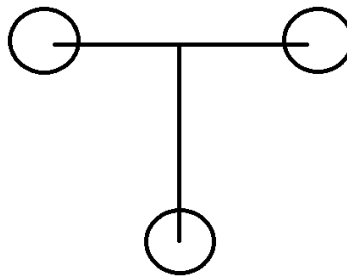
## 2 NÁVRHY

V této části by mly být všechny návrhy, ale bylo jich mnoho, proto jsem vybral jen ty „nejlepší“ mezi kterými jsem se rozhodoval před začátkem stavby a před stavbou. U každého návrhu je přibližná cenová kalkulace. Neberu zde v potaz informace o konečné ceně, protože odhadované ceny mohou hodně lišit od skutečných opravdových.

Protože trikotéra nemá žádná předepsaná pravidla, jen počet vrtulí, tak nebylo jednoduché vymyslet konstrukci, která v kombinaci s použitými díly vyletí do vzduchu, to je důvod, proč to trvalo mnohem déle než stavba.

### 2.1 První návrh

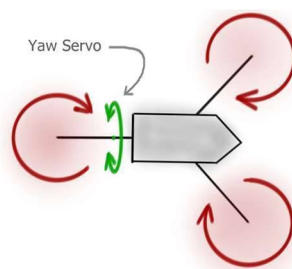
První návrh obsahoval stejnosměrné elektromotory, které jsou v konečném návrhu vyměněny za stabilnější a levnější vlastnosti. Tento návrh je jednoduchý na sestavení, protože úhel mezi jednotlivými částmi konstrukce je  $90^\circ$ . Tato konstrukce má však i nevýhody jako například místo, kde je těžké. Řídící jednotka by si takový posun těžkopádově vyrovnala, ale není to ideální řešení, a proto jsem se ve druhém návrhu rozhodl těžiště přemístit do novat v těžiště pozornost. Odhadovaná cena je přibližně 3 tisíce korun.



Obrázek 2 První návrh

## 2.2 Druhý návrh

Tento návrh stále obsahoval stejnosměrné elektromotory. V tomto návrhu jsem se soustředil na těžiště. Těžiště je takovou konstrukcí vestřední trikopty, mohou zde být nějaké posuny, kvůli nerovnoměrnému rozložení váhy na střední konstrukce po vložení všech dílů, ale jsou to mnohem menší posuny těžiště než v prvním návrhu. Tato konstrukce má ještě výhodu takovou, že se konstrukce může postavit tak, že bude trikopty skládací a bude se s ní proto lépe manipulovat při opravě.



Obrázek 3 Konečný návrh

## 2.3 Třetí návrh – konečný

Konečný návrh již obsahuje středové elektromotory a konstrukce je vymyšlená tak, aby byla skládací bez nutnosti sundání některých součástí, konstrukce je stejná jako minulý, ale způsob uchycení byl vylepšený. Odhadovaná cena tohoto návrhu je 4 tisíce korun.

### 3 POUŽITÉ SOU ĀSTI

Sou āsti jsem vybral s ohledem na kvalitu a cenu. Všechny díly krom stabilizátoru nap t í jsou nové a kupované postupn ě podle pot eby p i stavb ě .

#### 3.1 řídící jednotka

řídící jednotka má za úkol řídít otá ky motor ů a ovládat naklopení servomotoru, a to podle p řijatých signál ů z p řijíma ě a podle stavu sensor ů .

Aby mohla řídící jednotka ovládat trikopt ěru, tak musí mít minimáln ě 4 PWM výstupy. To jsou celkem nízké požadavky a skoro každý mikroprocesor takové výstupy má. To byl d ůvod, pro jsem p ředn ě cht ěl řídící jednotku vyrobit a naprogramovat.

Z d ůvodu krátkého āsu na stavbu jsem musel zvolit n ějaký již kompletní mikropo říta ě . Rozhodoval jsem se mezi n ěkolika, ale potom jsem sehnal levn ě řídící jednotku pro multikopt ěry NAZE32, která byla pro tyto ú ěly zdaleka nejlepší ešení.

##### 3.1.1 Vlastnosti NAZE32 rev. 6

Tato řídící jednotka je p řím ě vytvo řená pro ovládání multikopt ěr. Podporuje bikopty, trikopt ěry, kvadrokopt ěry, hexakopt ěry a oktakopt ěry. V základu má v sob ě integrované r śzné senzory jako barometr, gyroskop a kompas. Cel ě to ovládá 32 bitov ěy procesor, který pracuje na frekvenci 72 MHz. Pro p řipojení k po říta ě i má řídící jednotka micro-USB konektor. Je také možné dokoupit GPS modul nebo sonar.



Obrázek 4 NAZE32 a p ř íslušenství

řídící jednotka se konfiguruje p řes po říta ě , zde je možné si vybrat z n ěkolika program ů , které jsou s touto deskou kompatibilní. Vybral jsem program Cleanflight, protože je jednoduch ěy na konfiguraci.

### 3.1.2 Cleanflight

Cleanflight je open-source software pro konfiguraci multikoptér. Podporuje 8 různých základních desek a velké množství senzorů, které se dají na desky připojit. Multikoptéry se zde dají konfigurovat dvěma způsoby. Pomocí grafického prostředí, nebo pomocí speciálního příkazového řádku. Program je multiplatformní, protože se instaluje jako rozšíření do webového prohlížeče Google Chrome. Pomocí tohoto programu lze také do základní desky nahrát nejnovější verzi firmwaru. Podrobné ukázky tohoto softwaru jsou v části konfigurace řídicí jednotky.

### 3.2 Motory

Motory jsem vybral štítlavé, protože jsou mnohem lehčí než stejnosměrné při stejném tahu. Výběr štítlavých elektromotorů je opravdu velký, takže jsem měl možnost vybrat přesně takové, jaké potřebuji. Předpokládaná hmotnost trikoptéry je přibližně 1 kg, takže každý motor musí unést minimálně 350 g, aby trikoptéra létala. Bohužel nemám zkušenosti s těmi motory, a tak jsem koupil motory, které mají specifikace o otáčkách s doporučenou vrtulí, proudovém odběru při určitých otáčkách a další důležité informace potřebné ke správnému výběru elektromotoru.

Nakonec jsem koupil motory DJI E310, protože firma DJI má kompletní specifikace a každý motor vyrábí i vrtule, které jsou s motorem kompatibilní, takže vlastnosti napsané výrobcem by měly odpovídat těm, které bude mít trikoptéra.

#### 3.2.1 Specifikace motoru DJI E310

Výrobcem udávaný maximální tah s použitím vrtulí 9,4x5 je 800 g na motor při napájecím napětí 12 V. Doporučený tah na motor je 350 g s tříčlánkovou baterií a 400 g se čtyřčlánkovou baterií. Otáčky elektromotoru jsou 960 rpm/V. Velikost statoru je 23x12 mm.

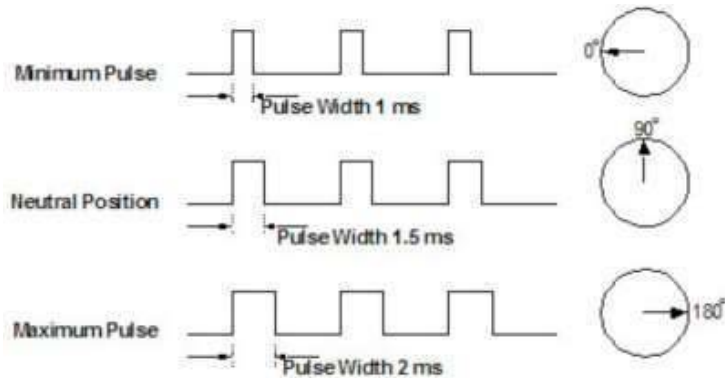


Obrázek 5 Motory

Tyto specifikace mi plně vyhovují, protože budu kupovat tříčlánkovou baterii a s ní mají motory dostatečný tah, aby trikoptéra létala.

### 3.3 Servomotor

Servomotor se od normálního elektromotoru liší tím, že se otáčí jen o 90° na každou stranu. Servomotor zjistí polohu natočení podle vstupního signálu. Vstupní signál má vždy frekvenci 50 Hz a úhel určení kapulze. Neutrální pozice serva (střed) má šířku pulzu 1,5 ms. Minimální šířka pulzu je 1 ms a maximální 2 ms.



Obrázek 6 Princip fungování servomotoru

Servomotory se rozdělují na dva druhy – digitální a analogové. Liší se od sebe zpracováním vstupního signálu. Analogové servomotory jsou levnější a nemají takové možnosti jako digitální, protože je v nich elektronika s pevně danými hodnotami. Digitální servomotor obsahuje mikroprocesor, který je konfigurovatelný, a proto lze mít pomocí programátoru nastavení servomotoru.

Vybral jsem analogový servomotor, protože je pro tyto účely zbytečné použít digitální. Servomotor jsem vybíral tak, aby měl dostatečnou sílu pro naklápění motoru.

#### 3.3.1 Pelikán GO-17MG

Tento servomotor jsem vybral hlavně z důvodu, že má kovové převody. Má i rychlé reakce a dostatečnou sílu pro naklápění.

### 3.4 Regulátory otáček

Regulátory otáček (ESC) slouží k ovládání střídavých i stejnosměrných elektromotorů podle vstupního PWM signálu. Stejnosměrné se od střídavých liší tím, že stejnosměrný propouští napětí podle vstupního signálu, ale střídavý má ještě navíc mřížku.

Regulace otáček probíhá obdobně jako u servomotoru. Jen se zvyšující šířkou pulzu propouští vyšší hodnotu napětí a motor se točí rychleji.

V těle regulátoru se vyrábí s částí BEC. Tato část obsahuje stabilizátor napětí 5V pro napájení řídicích částí letounu.

### 3.4.1 DJI Takyon Z420

Tento regulátor je určený pro středové motory s maximálním proudovým odběrem 20A. Napájecí napětí je 7,2 V až 17,4 V. Kompletní specifikace jsou zapsané do tabulky.

Regulátor také podporuje funkci OneShot125, která umožňuje rychlejší přetok dat z řídicí jednotky do regulátoru. Je to docíleno 8x kratšími pulzy oproti klasické PWM regulaci. Multikoptéra má díky tomu mnohem rychlejší reakce.

## 3.5 Vysíla

Pro multikoptéry se používá typ nebo vícekanálový vysílač, aby osoba, která letoun ovládá, měla nad ním plnou kontrolu. Vysílač pro RC modely mají vždy 4 základní kanály, které jsou zde v podobě páček a slouží pro řízení letounu. Zbylé kanály jsou jen spínače, které jsou konfigurovatelné podle potřeby.

Vysílač vysílají signál na volných frekvencích, které jsou primárně určeny pro tyto účely. Tyto frekvence je několik, nepoužívanější jsou 27 MHz, 40 MHz a 2,4 GHz.

Většina moderních vysílačů využívá frekvenci 2,4GHz, protože lze pomocí této frekvence přenášet mnohem více kanálů než na ostatních. Je také možné ovládat více modelů, které mají vlastní vysílač na jednom místě, protože každý vysílač posílá unikátní kód, který přijímač pozná a ignoruje ostatní vysílače s jiným kódem.

### 3.5.1 Pelikán CADET 4 PRO

Tento vysílač má dva symetrické páky a jeden spínač. Vysílá na frekvenci 2,4 GHz. Dosah vysílání po zemi má 800 metrů. Je vhodný pro všechny typy modelů.



Obrázek 7 RC Souprava

Tento vysílač jsem vybral hlavně z důvodu nízké pořizovací ceny. Ale také jsem vybíral tak, aby měl alespoň jeden spínač, pro pozdější účely.

## 3.6 P íjíma

P íjíma slouží k p íjmutí vysílaného signálu z vysíla e a k následném zpracování pro výstupy. Výstupy klasického p íjíma e pro RC ú ely jsou s PWM regulací pro p ípojení regulátor p ímo do p íjíma e bez ídící jednotky. Toho se využívá u jednoduchých model lodí, letadel a automobil . Ale je to také možné p ípojit do ídící jednotky, která tento signál zpracuje.

### 3.6.1 Pelikán RX-602 V4

Malý lehký šesti kanálový p íjíma . Je dodávaný s vysíla em, který je popsán výše.

## 3.7 Akumulátor

Akumulátory se od normálních baterií liší tím, že p í vybití jdou znovu dobít. Rozd lují se na hodn druh podle použitých materiál , ale v modelá ství se používají jen Li-Pol a Li-Ion, tak popis bude jen o nich.

Tyto akumulátory se používají, protože mají dlouhou trvanlivost, snáší vysoké proudové odb ry a rychle se dobíjí, a to vše p í pom rn malé hmotnosti.

Akumulátory se skládají z jednotlivých lánk . Lánky se propojují sériov , paraleln í sérioparaleln . Jeden lithiový lánek má nap tí 3,7 V.

K pohonu multikoptér se v tšinou používají akumulátory se t emi nebo ty mi lánky.

### 3.7.1 Gens ACE LiPo – 3S 4000mAh 11,1V 3S1P 25C

Tento akumulátor se skládá ze t ech sériov zapojených Li-Pol lánk . Kapacita akumulátoru je 4000 mAh.



Obrázek 8 Akumulátor

Tento akumulátor jsem vybral, protože má vysoký nabíjecí i vybíjecí proud a vysokou kapacitu.



### 3.8 Stabilizátor nap t í

Tato sou ástka má p i dosažení minimálního vstupního nap t í na výstupu nap t í tém konstantní. To je dosaženo porovnáním vstupního a výstupního nap t í. Stabilizátor je použitelný jako zdroj, nebo je také použitelný jako frekven ní filtr – dolní propust.

#### 3.8.1 Tesla MA7805

Tento stabilizátor nap t í má výstupní hodnotu 5 V. Vyrábí se v pouzdru TO3. Je možné z n j odebírat proud až 1 A bez použití chladi e.

Tento stabilizátor je v trikoté e pot eba k napájení ídící jednotky, p íjíma e a regulátor , protože výstupní nap t í z akumulátoru je moc vysoké pro tyto ásti.

## 4 STAVBA

V této části bude detailní popis celého průběhu stavby konstrukce a přičycení součástí na konstrukci. Způsob přičycení se v průběhu stavby mění, aby byly součásti opravdu dobré a bezpečně upevněny.

### 4.1 Použité materiály

Výběr materiálu je nutné nepodcenit, protože je potřeba vybrat materiál, který je lehký, pevný a dobře s ním pracuje. Měl jsem na výběr z mnoha materiálů jako je plast, dřevo, hliník a jiné.

Nakonec jsem se rozhodl pro kombinaci dřeva a hliníku, protože hliník je pevný a lehký a dřevo dobře pohlcuje vibrace. To je vhodné pro správnou funkci gyroskopu. Kdyby byly vibrace příliš velké, tak by se to snažila řídicí jednotka vyrovnat.

Jako základnu trikoptéru jsem zvolil překližkovou desku. K desce budou přišroubovaná ramena s motory. Ramena budou hliníkové profily typu L o tloušťce 1,5 mm. Tato konstrukce by měla být dostatečně lehká a odolná zároveň.

### 4.2 Stavba konstrukce

Jako první krok bylo potřeba nainstalovat hliníkové profily na zvolenou délku. Délku jsem volil s ohledem na velikost vrtulí, proto je délka ramen 35 cm. Tato délka by měla poskytnout trikoptéře dostatečnou stabilitu.

Jako základnu byl použit jednoduchý tvar dřevěný kvádr o velikosti strany 16,5 cm. Základna by tak měla mít velkou plochu pro přičycení ostatních součástí jako například baterie a řídicí prvky dronu.



Obrázek 9 Hliníkové profily

#### 4.2.1 Příprava nosných ramen

Nosná ramena bylo potřeba nařezat z 1,5 m dlouhého hliníkového profilu. K řezání byla použita obyčejná píla na železo a svírák. Do nařezaných ramen ještě bylo nutné vyvrtat díry pro šrouby, které budou držet ramena a základnu pohromadě.

#### 4.2.2 Příprava středové části

Středová část byla uříznuta pomocí píly a aré pily z 10 mm tlusté překližkové desky. Poté zde bylo navrženo rozvržení ramen. Úhel mezi jednotlivými rameny jsem zvolil 180°, bylo možné zvolit i jiný úhel pro posunutí žištění, ale to zde nebylo potřeba kvůli řídicí jednotce, která má integrovaný gyroskop.



Obrázek 10 Středová část

### 4.3 Uchycení součástí

Každá část je připevněná ke konstrukci tak, aby byla možná oprava nebo výměna součástí za novou. Také je zde kladen důraz na pevné uchycení pohyblivých částí, protože kdyby se nedopatřením odpojili od konstrukce při letu, tak by byly ohroženy všechny osoby, které by byly kolem.

#### 4.3.1 Uchycení řídicí jednotky

Řídicí jednotku bylo nutno připevnit tak, aby se vůbec nehýbala. Ale bylo vhodné ji připevnit tak, aby se mohla kdykoliv vyndat a přikonfigurovat bez toho, aby musela být trikotéra vedle počítače.

Využil jsem ochranného obalu, který se dodává jako základní příslušenství. Obal se skládá ze dvou částí. Řídicí jednotka se do něj přesvrchí a vrchní část našroubuje. Spodní část je ke středové části konstrukce přilepena silikonem. Silikon byl použit ze dvou důvodů, částě nabsorbuje vibrace a je vhodný na mnoho materiálů včetně EVA a plastu.

### 4.3.2 Uchycení motor

Motory jsou přišroubovány k hliníkovým ramenům pomocí šroubů, které byly součástí balení. Každý motor je možné přišroubovat až čtyřmi šrouby, ale drží pevně i když jsou použity jen dva šrouby, proto jsou přišroubovány jen pomocí dvou šroubů.

### 4.3.3 Uchycení servomotoru

Uchycení servomotoru a zadního motoru je nejsložitější část celé stavby. Dosud se nepovedlo uchycení doladit, protože na to nezbyl čas. Zde je ukázka, jak je to v den odevzdání práce připevněno. Servomotor je přilepený pomocí silikonu k hliníkovému profilu, toto zajistí, aby se servomotor nepohyboval. Aby se servo od profilu neodlepilo, při velkém tahu motoru, tak je zde několik gumíček, které poskytují dostatečnou odolnost proti vysokému tahu.



Obrázek 11 Uchycení servomotoru s motorem

Na servomotor je upevněn elektromotor. Bylo to nejjednodušší a nejrychlejší řešení, jak vyrobit naklápěcí zadní vrtuli. Tohle řešení, ale v bec není ideální a musí se ihned předlat, jinak dojde k poškození servomotoru. K servomotoru je dvěma šrouby přišroubovaný kus hliníkového profilu, na kterém je přišroubovaný elektromotor.

### 4.3.4 Uchycení akumulátoru

Akumulátor bylo potřeba připevnit ke stěnové části hodně pevně, protože váží přes 300 g, a to je skoro třetina váhy celé trikopty jen v jedné součásti, kdyby se při letu pohyboval, tak by mohl zásadně změnit pozici těžiště. Akumulátor je také potřeba vyndávat z dráky nabíjení, a proto jsem zvolil suchý zip, který je pomocí vrut připevněn k dřevěné základně. Toto uchycení je dostatečně pevné, a přitom se akumulátor jednoduše z trikopty sundává.



Obrázek 12 Uchycení akumulátoru

#### 4.3.5 Uchycení ostatních částí

Ostatní součásti jsou na trikoptéru ipevně jen provizorně, je to z důvodu nedostatku něho testování. Tyto části jsou mezi hlavními částmi, které se často sundávají, protože trikoptéra ještě není kompletně dodaná.

#### 4.3.6 Výsledný vzhled



Obrázek 13 Výsledek

## 5 KONFIGURACE ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY

Jeden z hlavních důvodů pro výběr speciální řídicí jednotky oproti mikropočítači byla jednoduchá konfigurace a dobré letové vlastnosti i s továrním nastavením parametrů. NAZE32 poskytuje již předdefinované nastavení pro určité multikoptéry, proto stačí jen vybrat jakou zrovna ovládá a umí jí ovládat. Je zde nutné jen nastavit přijímače, motory a servomotor. Je zde možné nastavit různé letové profily, ale k tomu jsem se bohužel nedostal kvůli malému počtu testovacích letů.

Jak jsem již psal, kompletní konfigurace bude provedena v programu Cleanflight.

### 5.1 Nahrání firmwaru

Po rozbalení řídicí jednotka neobsahuje ovládací firmware, takže je potřeba ho nahrát. V programu Cleanflight je na výběr z různých verzí oficiálně vydaných i modifikovaných. Možnost nahrání nového firmwaru je v sekci Firmware Flasher.

Nejprve se musí vybrat řídicí jednotka a poté firmware. Po kliknutí na tlačítko Load Firmware (Local) se firmware stáhne do počítače, potom už stačí jen kliknout na tlačítko Flash Firmware a program nahraje do řídicí jednotky nový firmware.

### 5.2 Nastavení vysíláče a přijímače

V dalším kroku je potřeba nastavit správné vstupy z přijímače, protože řídicí jednotka podporuje více druhů modulací signálu. V továrním nastavení je PWM, a to odpovídá výstupům z přijímače, takže není třeba nic měnit.

Receiver Mode	
<input type="radio"/> RX_PPM	PPM RX input
<input type="radio"/> RX_SERIAL	Serial-based receiver (SPEKSAT, SBUS, SUMD)
<input checked="" type="radio"/> RX_PARALLEL_PWM	PWM RX input (one wire per channel)
<input type="radio"/> RX_MSP	MSP RX input (control via MSP port)

Obrázek 14 Cleanflight - nastavení přijímače

Dále je třeba nastavit střední hodnoty kanálů vysílání. Software má střed na hodnotě 1500, a střední hodnoty by měly být přesně 1500. V základu je v téžinou vysílání neseřazený. Seřazení se provádí jednoduše pomocí tlačítek, které jsou vedle páček. Když jsou všechny hodnoty na 1500, tak by trikotéřa neměla sama od sebe zatáčet, letět dopředu atd.



Obrázek 15 Seřazení jednotlivých kanálů vysílání

### 5.3 Nastavení regulátorů a servomotorů

Protože jsem si nepomohl ESC updatem pomocí kterého se nastavují vstupní hodnoty, tak jsem musel přizpůsobit výstupní hodnoty z řídicí jednotky přednastaveným vstupním hodnotám na regulátoru.

Servomotor v téžinou není nutné nastavovat, ale v mém případě to bylo potřeba, protože se naklápělo opačně. To jde vyřešit jednoduše v sekci Servos, kde se u použitého serva nastaví Rate na -100 %.

### 5.4 Nastavení režimu Failsafe

Protože celá trikotéřa váží 1060 g, tak bylo nutné nastavit režim failsafe, který chrání drony proti pádu při ztrátě signálu. Tento režim musí mít v České republice nastavený každý dron, který má hmotnost větší než 910 g.

Tuto funkci jsem nastavil tak, aby trikotéřa po ztrátě signálu sama pomalu přistála. Zvládne to, protože řídicí jednotka má integrovaný barometr, a tak ví přibližnou výšku od země.

## 6 TESTOVÁNÍ

Celkově probíhalo jen několik zkušebních let z důvodu nevhodného počasí pro let venku. Byly to jen lety na zkoušku vzletu trikoptéry ve vzduchu a později i na zkoušku stability při letu.

### 6.1 První let

První let proběhl 29. prosince, nebyl napevno uchycený akumulátor ani řídicí jednotka a to zapříčinilo, že se trikoptéra ihned po eklopila dopředu. Tento let byl z mého pohledu úspěšný, protože se trikoptéra poprvé vznesla do vzduchu.

### 6.2 Druhý let

Pro druhý let byly už všechny části pevně připevněné, aby nenastal stejný problém jako při prvním letu. Tentokrát jsem zvolil větší místnost a na zem jsem položil deky, aby při pádu vrtule nesešly do tvrdé podlahy. Trikoptéra tentokrát vylétla přibližně do výšky 15 cm, ale potom začala couvat, a proto jsem musel narychlo přistát, aby nenarazila do nábytku.

### 6.3 Třetí let

Třetí let proběhl ve stejné místnosti jako let minulý, ale nejdříve jsem nastavil, aby letěla trikoptéra mírně dopředu jako kompenzaci letu dozadu způsobeného tím, že žíhlo servomotor, který na ostatních ramenech není. Při tomto letu trikoptéra vylétla do výšky 1 m, ale byl zde pořád problém s malým místem na doladění stabilizace za letu.

### 6.4 čtvrtý let

Tento zatím poslední let proběhl ve školní tělocvičně, bohužel i zde byly problémy s malým místem pro nastavení stabilního letu, a tak je nutné tento proces udělat venku. Trikoptéra zde vylétla do výšky přes 2 metry, to je zatím nejvyšší dosažený rekord.

### 6.5 Výsledky testování

Testování neprobíhalo podle mých představ, trikoptéra zatím vylétla 2 metry do vzduchu a testovat venku mi nedovoluje počasí, protože se teplota drží pod nulou, a na to není stavěný akumulátor. Další letové vlastnosti je možné získat jen, až nebude venku mrznout.



## 7 FINAN NÍ A ASOVÁ NÁRO NOST

Finan ní a asová náro nost spolu hodn souvisí, protože jsem si celou práci krom akumulátoru hradil sám. Do asové náro nosti brigáda není zapsaná, ale zaujímá tam opravdu hodn velikou ást.

### 7.1 asová náro nost

Bohužel nemohu ur it p esné asové údaje, protože jsem za al získávat informace už v ervenci. Proto se hodnoty od reálných mohou hodn lišit.

Tabulka 1 asová náro nost

Získávání potřebných znalostí	40 hodin
Navrhnutí konstrukce a výběr díl	20 hodin
Stavba	25 hodin

### 7.2 Finan ní kalkulace

Do finan ní kalkulace nebude započítána hodnota poštovného.

Tabulka 2 Finan ní kalkulace

Motory a vrtule	2 200 K
Regulátory	900 K
Servomotor	219 K
řídící jednotka	370 K
Akumulátor	1 263 K
RC Souprava	1 187 K
Celkem	6 139 K

## 8 ZÁVĚR

Při této práci jsem si hodně rozšířil znalosti elektrotechniky. Jednotlivé části jsem se snažil pochopit podrobně, aby nebyla nikde žádná chyba. Trikoptéra je sice postavená, ale je ještě potřeba doladit. Například uchycení serva a zadního motoru je potřeba úplně předělat, protože jsem nevěděl, jakou bude mít motor sílu.

Celkově jsem s prací spokojený, jediný problém, pro trikoptéru nemohu doladit je potrubí, ale ve vnitřních prostorách létá.

## POUŽITÁ LITERATURA

Build a Tricopter with Rotor Bits. In: Instructables [online]. Autodesk, 2016 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://www.instructables.com/id/Build-a-Tricopter-with-Rotor-Bits/>

Kompletní elektronika pro tricopter. In: X-COPTER [online]. Hýskov: RC Fly Klub, 2016 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: [http://eshop.rcfly.cz/fotky7882/fotos/\\_vyr\\_199TriCopter.jpg](http://eshop.rcfly.cz/fotky7882/fotos/_vyr_199TriCopter.jpg)

REED, Frances. How Servo Motors Work. In: Jameco electronics [online]. Belmont: Jameco, 2017 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://www.jameco.com/jameco/workshop/howitworks/how-servo-motors-work.html>

Akumulátor. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Akumul%C3%A1tor>

Electronic speed control. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_speed\\_control](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_speed_control)

LIANG, Oscar. CLEANFLIGHT SETUP TUNING GUIDE FOR NAZE32 / CC3D. In: OscarLiang [online]. 2016 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <https://oscarliang.com/cleanflight-naze32-setup/>

Gens ACE LiPo - 3S 4000mAh 11,1V 3S1P 25C. In: Pecka - modelá [online]. Praha: PECKA MODELÁ , 2017 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://www.peckamodel.cz/produkt/rc-modely-a-prislusenstvi/akumulatory/aku-li-poly/softcase/3301-4500mah/3s/ace4000325-gens-ace-lipo-4000mah-11-1v-3s1p-25c>

CADET 4 PRO 2,4 GHz mode 1. In: Pecka - modelá [online]. Praha: PECKA MODELÁ , 2017 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <http://www.peckamodel.cz/produkt/rc-modely-a-prislusenstvi/rc-soupravy-a-prislusenstvi/rc-soupravy/pakove/1rc0010-cadet-4-pro-2-4-ghz-mode-1>

RC Explorer [online]. Älgarås: RCEXplorer, 2015 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <https://rcexplorer.se>

## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 Nákres trikotéry .....	7
Obrázek 2 První návrh .....	9
Obrázek 3 Konečný návrh .....	10
Obrázek 4 NAZE32 a příslušenství .....	11
Obrázek 5 Motory .....	12
Obrázek 6 Princip fungování servomotoru .....	13
Obrázek 7 RC Souprava .....	14
Obrázek 8 Akumulátor .....	15
Obrázek 9 Hliníkové profily .....	17
Obrázek 10 Středová část .....	18
Obrázek 11 Uchycení servomotoru s motorem .....	19
Obrázek 12 Uchycení akumulátoru .....	19
Obrázek 13 Výsledek .....	20
Obrázek 14 Cleanflight - nastavení přijímače .....	21
Obrázek 15 Seřízení jednotlivých kanálů vysílače .....	22
Tabulka 1 časová náročnost .....	24
Tabulka 2 Finanční kalkulace .....	24

## 10 P ÍLOHA 1 – CD

CD obsahuje elektronickou verzi ro níkové práce ve formátu PDF a video z druhého zkušebního letu.