

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



RoBird – robotický dron z 3D tiskárny

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Monika Hromasová, Ph.D.

Autor práce: Jan Vejtruba

© ČZU v Praze 2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Vejtruba

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

RoBird – robotický dron z 3D tiskárny

Název anglicky

RoBird – 3D printed robotic bird

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je provést literární rešerši na téma využití robotických ptáků v České republice a v zahraničí.

Metodika

- vývoj, konstrukce a typy robotických ptáků
- rozložení RoBird na komponenty a jejich popis
- konstrukce RoBird na 3D tiskárně
- rozdílné použití materiálu (PLA, ABS)
- ovládání a elektrická část RoBird
- ohodnocení konstrukce a ovládání
- odhad vývoje a využití robotických ptáků do budoucna

Doporučený rozsah práce

cca 35 stran

Klíčová slova

dravý prák, 3D tisk, PLA, ABS

Doporučené zdroje informací

AIRSPOTTER. Smartbird. Airspotter.eu. Dostupné z: <http://airspotter.eu/Download/SmartBird.pdf>

CLEARFLIGHTSOLUTIONS. Robirds. Clearflightsolutions.com. Dostupné z:

<http://clearflightsolutions.com/methods/robirds>

MAILONLINE. It's ROBIRD. Dailymail.co.uk [online]. Dostupné z:

<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2743272/Is-bird-is-plane-No-s-ROBIRD-Robotic-falcons-eagles-mimic-real-predators-pests-away-airports-farms.html>

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Monika Hromasová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 12. 1. 2016

prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 20. 1. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2017

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: RoBird – robotický dron z 3D tiskárny vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne 31.3.2017

Jan Vejtruba

Poděkování:

Děkuji Ing. Monice Hromasové, Ph.D. za odborné vedení práce a cenné rady, které mi v kombinaci s jejím pozitivním přístupem pomohly při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat Petru Bekovi za trpělivost, vynaložený čas a grafickou korekturu práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval rodině a své přítelkyni za podporu při studiu.

RoBird – robotický dron z 3D tiskárny

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá ochranou vzdušného prostoru před nežádoucím vniknutím ptactva. Ti vážně ohrožují lidské zdraví a způsobují značné hmotné škody. Tento problém řeší mechanizovaný ptačí predátor RoBird. Bakalářská práce je složena ze dvou částí. V přehledu řešené problematiky se věnuje vysvětlení pojmu RoBird, jeho využití, porovnání s živým predátorem a principu funkce 3D tiskárny. V části vlastní řešení se zabývá řešením elektrotechnické stránky RoBird a jeho možnou konstrukcí na 3D tiskárně. Dále pojednává o nákladech na jeho pořízení v nekomerční oblasti a možnostech jeho inovace pro zlepšení účinnosti při jeho využití střežení vzdušného prostoru.

Klíčová slova: Dravý pták, 3D tisk, PLA, ABS

RoBird – robotic drone of 3D printer

Abstract

This thesis main topic discusses protection of airspace from unwanted birds. They are very dangerous to human health and cause material damage. This can be solved by mechanical bird predator RoBird. Thesis consist two main parts. First part discusses meaning of RoBird and his usage. He is also compared to real predator. Furthermore, we are taking a look to the basic of 3D printer. Second main part discusses building RoBird on 3D printer which include his electrical and mechanical structure. We are also looking at RoBird costs in noncommercial sector and possible ways of innovating him for better efficiency in defending airspace.

Keywords: Bird of prey, 3D printer, PLA, ABS

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce.....	2
3	Metodika práce.....	3
4	Přehled řešené problematiky.....	4
4.1	Co je to Robird.....	4
4.2	Současné využití	5
4.3	Porovnání s živým predátorem	6
4.4	Modely.....	8
4.5	Využití 3D tiskárny	9
4.6	Výroba na 3D tiskárně.....	10
4.7	Konstrukční materiály	13
4.7.1	Materiál PLA	13
4.7.2	Materiál ABS	13
4.7.3	Přehled vlastností PLA a ABS.....	14
4.8	Testování aerodynamiky	15
5	Vlastní řešení	17
5.1	Elektrické komponenty RoBird	17
5.1.1	Elektromotor Racerstar Racing BR1104.....	17
5.1.2	Regulátor otáček Emax BLHeli serie 6A	18
5.1.3	Servomotor Sub Micro SD100	18

5.1.4	Přijímač DUPLEX R7 NANO EX 2,4 GHz 7k.....	19
5.1.5	Baterie Ray G3 Li-Pol 450 mAh 11,1 V.....	20
5.2	Výrobní řešení jednotlivých částí RoBird na 3D tiskárně.....	21
5.2.1	Trup.....	21
5.2.2	Žebrování.....	22
5.2.3	Křídla.....	23
5.2.4	Ocasní plochy	24
5.2.5	Převodovka pohonu křídel.....	25
5.3	Náklady na pořízení	27
5.4	Možnost budoucí inovace	28
6	Závěr.....	30
7	Seznam použité literatury	31
8	Seznam obrázků a tabulek	34

1 Úvod

RoBird je velmi zajímavé konstrukční řešení uměle vytvořeného ptáka, které nejen svým vzhledem ale i autentickým pohybem připomíná reálné zvíře. Realistické modely ptáků jsou zatím využívány jako služba především pro plašení ptáků a nejsou určeny k přímému prodeji.

Na současném trhu lze objednat služby s využitím RoBird u firmy Clear Flight Solutions, která je v popředí s velikým náskokem vývoje. Další firmou, která vyrobila jeden z nejpropracovanějších modelů této technologie, je firma Festo, která ale neplánuje pokračovat ve výzkumu a inovaci. Svůj model využívá k čistě prezentačním účelům a svoje konstrukční řešení zatím nemá v plánu prodat či s ním nějak jinak nakládat. [1, 2]

Pro propracovanost a možnosti použití vzniká prostor pro komerční využití. Proto se začíná rozšiřovat trh s podobnými modely, které jsou tak upraveny a prodávány jako RC modely pro širokou veřejnost. Zároveň vzniká prostor pro využití technologie 3D tisku, který se v současnosti stává dostupným i pro soukromý sektor. Pro tyto zjednodušené modely se technologie RoBird průmyslových dronů stala výchozí předlohou.

První zmínky využití ptačího vzoru pro konstrukční účely jsou datovány k roku 1485 Leonardem da Vincim, který vytvořil návrh letadla s ptačími křídly poháněného lidskou silou. Pojmenoval ji Ornitoptera – jméno vytvořil složením latinských výrazů *ornis* – „pták“ a *pteron* – „křídlo“. [3]

Historicky prvním člověkem v české republice, který sestrojil mechanického ptáka, je Ing. Václav Kadeřávek (1835-1881). Ten sestrojil ptáčka vážícího pouhých 5,6 g poháněného dvěma elektromagnety. Zkonstruovaný model se dokázal ve vzduchu udržet několik minut, ale nebyl konstruován tak, aby se mohl pohybovat různými směry. Pokus o výrobu většího prototypu, který by mohl využívat člověk k přepravě, se nezdařil. V té době nebyl k dispozici hnací mechanismus, který by poskytl dostatečný pohon pro pohyb křídel. [4]

Prvního umělého ptáka typu RoBird sestrojil v roce 2006 ornitolog Robert Musters z USA. V roce 2008 jej vyzkoušel na rozhánění ptáků na letišti Schiphol v Amsterdamu. Svůj vynález podrobil testům ve větrném tunelu na univerzitě v Twente, kde získané výsledky potvrdily kvalitní konstrukci RoBirdu. Bohužel se po nějaké době ukázalo, že student podílející se na testech, zkopíroval technologii RoBird od Roberta Mustersa, a založil firmu Clear Flight Solutions, která poskytuje konstrukční řešení jako službu. [5]

2 Cíl práce

Cíle bakalářské práce je možno shrnout do několika bodů.

- ✚ Obeznamení se s technologií RoBird a jejím současným využitím.
- ✚ Porovnání RoBird s živou předlohou, jejich výhody a nevýhody.
- ✚ Využití a výroba na 3D tiskárně.
- ✚ Výběr vhodných elektrických komponentů a jejich popis.
- ✚ Výrobní řešení částí RoBird na 3D tiskárně.
- ✚ Náklady na pořízení v osobní rovině.
- ✚ Možnosti budoucí inovace.
- ✚ Výskyt technologie v České republice a zahraničí.

3 Metodika práce

V přehledu řešené problematiky bude vysvětleno, co je to RoBird, jeho ovládání a současné využití. Dále bude provedeno jeho porovnání s biologickou předlohou v oblasti výhod, nevýhod a ekonomickou náročností na provoz. Následně budou popsány modely dostupné na trhu provozované firmou Clear Flight solutions z jejich veřejných online materiálů. Bude vysvětleno využití 3D tiskárny a princip výroby s jejím použitím. Dále bude zaměřena na rozbor materiálů PLA a ABS používaných při konstrukci na 3D tiskárně, přehled jejich vlastností s porovnáním. V posledním bodě bude uveden důvod a postup testování aerodynamiky RoBird v softwarovém prostředí a větrném tunelu.

Náplní vlastního řešení bude:

1. popis elektrických částí RoBird, jejich umístění a výběr vhodného komponentu, který lze zakoupit na tuzemském trhu
2. uvedeno výrobní řešení jednotlivých částí RoBird s využitím 3D tiskárny a jejich optimální tisk
3. odhad nákladů na pořízení RoBirdu v nekomerční osobní rovině
4. zpracování nákladů na pořízení všech elektro součástí a materiálu nutného ke kompletaci RoBirdu

Z důvodu více možností pořízení plastového modelu budou vyhotoveny možné varianty pořízení v kombinaci s náklady na elektro součásti a materiál. Jako poslední bod bude z dostupných informací vytvořen odhad vývoje a možnost budoucí inovace technologie RoBird a jeho využití v inovované formě.

Závěrem práce bude uvedeno shrnutí.

Informace a data využita při tvorbě bakalářské práce jsou čerpána převážně z dostupných elektronických publikací, internetových zdrojů a odborných časopisů, které se zabíraly touto problematikou.

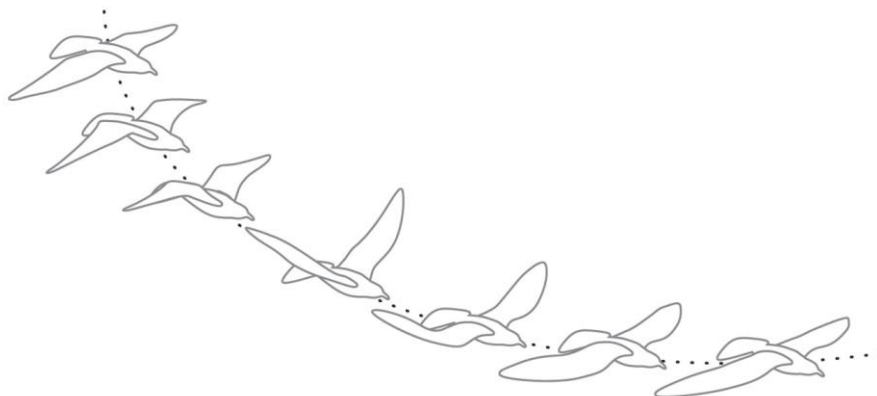
4 Přehled řešené problematiky

4.1 Co je to Robird

RoBird je uměle navržená konstrukce, která nejen že tvarově připomíná reálného ptáka, ale využívá i jeho biologickou stavbu vytvarovanou mnohaletou evolucí k dokonalosti. Díky jeho stavbě a proporcionalitě, vycházející z biologické předlohy, je možné maximalizovat účinnost pohybu křídel a dosáhnout tak potřebného vztlaku pod nimi. Tento vztlak je dostatečně velký na to, aby konstrukci udržel ve vzduchu a působil jako motor.

Maximální účinnost pohybu RoBirdu je zaručena různým úhlem naklopení křídla - viz *Obrázek č.1*, při jednotlivých fázích pohybu. Jednotlivé fáze natočení křídla jsou konfigurovány tak, aby při pohybu směrem vzhůru profil křídla kladl co nejmenší odpor vzduchu a mohl se tak co nejrychleji a s co nejmenší energetickou zátěží dostat do maximální horní výchylky křídel. Při druhé fázi, pohybu křídel dolů, se křídlo natočí tak, aby kladlo co největší odpor na co největší plochu vzduchu a tím získalo maximální vztlak. [5]

Pohyb v různých směrech, který je nutný pro řízený RoBird, je zajišťován hned několika prvky. Pohyb vpřed či stoj na místě je zajišťován již zmíněným úhlem naklápění profilu křídla. Pro dosažení pohybu do stran je nutný naklápěcí systém hlavy a zadních ocasních ploch. Zvláštností tohoto naklopení přední a zadní části je, že se obě tyto části naklápějí stejným směrem, ale každá vychyluje trup na jinou stranu. Pokud přední část nakloníme směrem doprava, bude přední část trupu vychylována doprava. Při naklonění zadní části stejným směrem jako přední, bude však zadní část trupu vychylována doleva. Tím se řízení stává mnohem efektivnější. [5]



Obrázek č. 1 - Grafické natočení křídel [35]

4.2 Současné využití

Současné využití RoBird je ještě ve stádiu rozvoje. Vše je prozatím ve fázi testování a hledání co nejširšího využití v reálném nasazení. Dosavadní výsledky zájmů o technologii RoBird z různých odvětví výzkumu a poskytování služeb (Ornitologické výzkumy reakcí ptactva v přírodě, ochrana polí v zemědělství atd.) však ukazují, že využití může být výrazně větší, než byla jen původně plánovaná ochrana vzdušného prostoru u letišť.

Jednou z možných oblastí využití je plašení zvířat, která by mohla způsobit nějakou škodu na majetku nebo dokonce přímo ohrozit život člověka. Největší uplatnění nachází RoBird při hlídání vzdušného prostoru letišť, kde hrozí střet ptáků s letadlem a v případě poškození motorů může dojít k ohrožení lidí na palubě. Dohled nad vzdušným prostorem je vyžadován také v prostoru větrných elektráren, kde by mohlo při střetu ptáka s mechanismem větrné elektrárny dojít ke značným škodám na majetku. [6]

Vzrůstající poptávka je i v oblasti zemědělství, kde ptáci způsobují škody na majetku farmářů. Většina plašících metod (strašáci, třaskavé plašičky, střelba na hejno, atd.) jsou neúčinné, protože ptáci si postupně na tyto typy rušení zvyknou. Tento problém řeší právě RoBird. Zvolením vhodného modelu (viz Modely) je docíleno vyhnání ptáků z oblasti na delší dobu. Vše funguje na principu vrozeného instinktu a pudu sebezáchovy. Ptáci zpozorují predátora a v obavě o svůj život se přemístí z tohoto prostoru, který původně obývali. Pro větší efektivnost se tento let několikrát opakuje, aby si ptáci zafixovali, že tuto oblast obývá predátor ohrožující jejich život. Účinnost této metody je téměř 75 %. [7]

Další z oblastí je vojenský průmysl. U.S. Army již delší dobu využívá robotických modelů, které vypadají jako reálný pták. Na rozdíl od RoBird technologie vojenský pták využívá k pohonu elektrické turbínové dmychadlo a skládá se pouze z lehké uhlíkové konstrukce. Turbínového dmychadla se využívá pro lepší výkon, při kterém dokáže model dosáhnout vyšší rychlosti než RoBird, a větší výšky. Dalším důvodem využití je klidný a tichý chod, což je důležité zejména při pořizování videozáznamu z nepřátelské zóny, aby byl záznam z kamery umístěné uvnitř modelu dostatečně kvalitní. [8]

4.3 Porovnání s živým predátorem

Využití služby RoBird je mechanizovanou možností využití živých predátorů. Obě služby fungují na stejném principu s totožnými výsledky, ale každá má jiné výhody/nevýhody - viz *Tabulka 2 a 3.*, rozdílné náklady na pořízení a provoz služby - viz *Tabulka 1.*

Porovnání RoBird a živého predátora.

Parametr porovnání	RoBird	Živí predátor
Cena pořízení	Cca 12 000 Kč	Sokol stěhovavý cca 10 000 Kč
Nároky na provoz	Cena nabití baterií na jeden let cca <u>0,05 Kč</u> (450 mAh; 11,1 V; 4,8 Kč/1 kWh)	Krmení 6 jednodenními kuřaty za den <u>108 Kč</u> (18 Kč/1 ks)
Nároky na chov	Teplé a suché prostředí	Klec s podestýlkou, teplo, světlo, dostatek tekutin, časová náročnost na výcvik a péči.

Tabulka č. 1 - porovnání RoBird a živého dravce na provoz [vlastní zpracování, 9]

Výhody a nevýhody

RoBird	
Výhody	Nevýhody
Minimální nároky na uskladnění (teplé, suché prostředí)	Pomalá reakce na změnu pohybu hejna
Malá cena za let (1 let - 0,05Kč nabití baterie)	Menší letová rychlost oproti živému predátorovi
Možnost výměny poškozených komponent	Menší obratnost oproti živému predátorovi
Lze určit směr letu a oblast létání	Horší přehled o situaci oproti živému predátorovi
Možnost inovace a budoucí rozvoj technologie	Vícečlenný tým při provozu služby
Snadná přeprava	Možnost poškození ostatními ptáky
Minimální nároky na údržbu	Vliv povětrnostních podmínek
Prakticky neomezená životnost bez havárie	Možnost technické závady
Není nutnost skládat jakékoliv zkoušky	Vysoká pořizovací cena (cca 12 000 Kč)

Tabulka č. 2 - výhody a nevýhody RoBird [vlastní zpracování]

Živý predátor	
Výhody	Nevýhody
Vyšší letová rychlost oproti RoBird	Vysoká pořizovací cena (cca 10 000 Kč)
Větší obratnost oproti RoBird	Omezená životnost (průměrně 8 let)
Lepší přehled o situaci	Nároky na chov
Okamžitá reakce na změnu směru hejna	Nutnost licence a zkoušek pro provozování služby s živým predátorem
Žádný vliv povětrnostních podmínek	Časové nároky na výcvik
Větší věrohodnost oproti RoBird	Náklady na provoz (cca 108 Kč/1den)
Možnost redukce hejna	Nelze učti směr letu a oblast určenou k letu
Vlastní inteligence (téměř nulová nehodovost)	Možnost ztráty zvířete (pokud uletí)
Možnost reprodukce	Nároky na přepravu (upravený automobil)

Tabulka č. 3 - výhody a nevýhody živého predátora [vlastní zpracování, 9]

Z tabulek 1, 2 a 3 vyplývá, že i přes určité výhody živého predátora zejména v pohybových aspektech je výhodnější využívání mechanických dravců jako je RoBird. Náklady na pořízení RoBird jsou vyšší než u pořízení živého dravce, ale s přihlédnutím do budoucích nákladů na chov a provoz je výhodnější využití mechanického predátora. Technologie RoBird má navíc nespornou výhodu v její možnosti budoucí inovace.

Za roky 1870-1970 se snížil výskyt dravců v Evropské unii o 90 %, proto jsou zpřísněny požadavky na jejich chov a využití formou poskytovaných služeb. Technologie RoBird může v budoucnu nabídnout příležitost útlumu využívání živých zvířat. Ptáci by tak mohli být využíváni jako nástroj pro obnovení biologické rovnováhy v přírodě a RoBird by tak významně přispěl návratu ptáků do jejich přirozeného prostředí. [10]

4.4 Modely

Pro maximalizování efektu věrohodnosti je RoBird konstruován zatím ve dvou typech modelů, které jsou svou konstrukcí a vzhledem věrnou kopií biologického originálu.

Jedním ze dvou modelů je Sokol stěhovavý. Tento druh ptáka je nejrozšířenějším dravcem na světě. Při střemhlavém letu na kořist je schopný dosáhnout rychlosti až 320 km/h. Tento model - viz *Obrázek č. 2* je volen zejména při plašení ptáků velikosti holubů až racků. Není doporučován na větší ptáky, protože by mohli dojít k opačné reakci, a to, že budou bránit své teritorium. Tím by mohlo dojít jak ke zranění zvířete, tak k poničení modelu. Model vážící 650 gramů s rozpětím 108 cm a délkou trupu včetně ocasních ploch 55 cm se řadí mezi nejmenší modely RoBird. Nosnost modelu s přibližnou vahou 150 gramů poskytuje možnost upevnění kamery typu GoPro na trup, která by snímala průběh letu z ptačí perspektivy. [5]



Obrázek č. 2 - RoBird model Sokol stěhovavý [1]

Druhým modelem je Orel bělohlavý. Vzhledem k jeho umístění na přední příčce potravního řetězce je tento model nasazován na větší ptáky. Plašení je možné od nejmenších ptáků až po velké ptáky velikosti jestřába či volavky. Tento model - viz *Obrázek č. 3* poskytuje i možnost zahánění dravých ptáků jako je například sokol či poštolka. Model o hmotnosti 1 800 gramů je schopen unést náklad o hmotnosti až 1,5 kg. [5]



Obrázek č. 3 - RoBird model Orel bělohlavý [1]

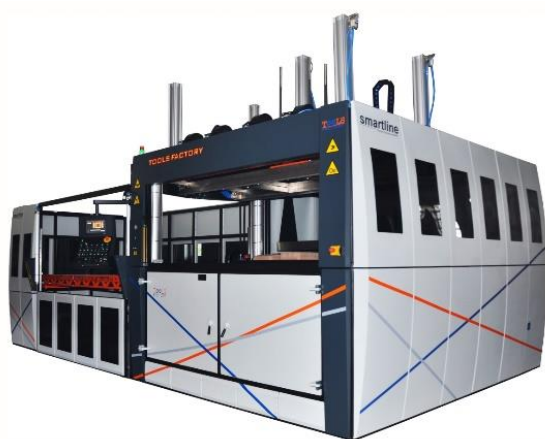
Účelem všech těchto modelů je pouze zastrašit ptactvo v dané oblasti a působit na jejich vrozené instinkty. Nejsou uzpůsobeny a používány k usmrcení či zranění jakéhokoliv živého zvířete.

V současné době je na trhu s touto technologií a službou pouze firma Clear Flight solutions, která vlastní tyto modely. Firma poskytuje výhradně službu, kdy několikačlenný tým přijede na určené místo a vybraným modelem zahání ptactvo. Firma modely neprodává a zatím jejich distribuci neplánuje. [1]

4.5 Využití 3D tiskárny

3D tiskárna - viz obrázek č. 4 je v dnešní době dostupnou a levnější variantou průmyslových výrobků plastových návrhů. Díky její všestrannosti je využívána především ve vývoji. Konstrukce vytvořené v modelovacím prostředí je možno převést do fyzické podoby. Časová náročnost 3D tisku je zanedbatelná v porovnání s dobou, kdy konstruktér musel návrh zaslat firmě specializující se na výrobu prototypů. Ta nejdříve musela vyrobit formu nebo připravit model, podle kterého mohla prototyp vytvořit. Tato doba byla v rádech dní až měsíců.

Náklady na produkci a čas výroby jsou při 3D tisku menší, ale jen do výroby určitého množství. Protože na 3D tiskárně je čas neměnný a stejný výrobek trvá vyrobit stejnou dobu, při větší kapacitě výroby je tento způsob výroby produktu neekonomický. Každý výtisk stejného modelu na 3D tiskárně je stejně cenově náročný, kdežto v průmyslové výrobě - viz Obrázek č. 5 cena s větším počtem vyrobených kusů klesá.



Obrázek č. 5 - Průmyslová tvářička plastů [22]



Obrázek č. 4 - 3D tiskárna [22]

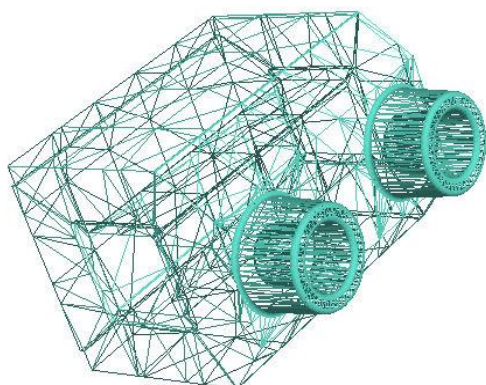
Na trhu jsou zatím dostupné jen tříosé 3D tiskárny. Možnosti tisku jsou tím omezené a při složitějších tvarech se musí využívat různých konstrukčních řešení a pomocného materiálu (viz *Výroba na 3D tiskárně*), který znamená vyšší náklady na tisk a časovou náročnost. Inovace tiskáren jde však rychle kupředu a dnes jsou již vyrobeny prototypy tiskáren, které poskytují pětiosou možnost natočení tiskové plochy, a tím lze dosáhnout kvalitnějšího tisku a možnosti tisku složitých předmětů bez jakéhokoliv pomocného materiálu se stejnou časovou náročností jako u předešlých verzí 3D tiskáren. [11]

4.6 Výroba na 3D tiskárně

Před výrobou prototypu (a v případě výroby několika kusů produktu) na 3D tiskárně je nejdříve nezbytné vymodelovat požadovanou konstrukci v odpovídajícím softwaru podporujícím tisk z 3D tiskárny. Nejvhodnějším návrhovým softwarem je takový, který se zaměřuje na technickou oblast s 3D podporou návrhu například: AutoCAD, VariCAD, Pro/Engineer, Creo a další. Nedoporučovanými programy jsou například: Cinema 4D, Mech Designer, ZW3D a další, které se zabývají především designem, protože jejich použité výstupní formáty jsou nevhodné pro 3D tisk. [12]

Po vyrobení 3D modelu je nutné jej vygenerovat ve vhodném formátu. Nejčastěji používaným formátem je STL. Tento formát se využívá hned z několika důvodů. Jedním z nich je jeho rozšířenost a podporuje jej téměř každý program pro tisk 3D modelů. Tento formát popisuje pouze povrch trojrozměrného objektu - viz *Obrázek č. 7*, je zde zanedbána barva, textury a vše co není důležité pro tisk. [12]

Datový obsah formátu STL se tak zjednoduší na skupinu binárních čísel či ASCII znaků - viz *Obrázek č. 6*, které prezentují umístění jednotlivých bodů v modelu. Model musí být tvořen tak, aby vyhovoval požadavkům tiskárny. Při návrhu musí být zohledněn především maximální rozměr, který tiskárna dokáže vytisknout. Další z parametrů, na který se musí brát ohled, je parametr tloušťky stěn modelu. Není možné tisknout stěnu modelu tenčí, než je velikost trysky tiskárny. [13]



Obrázek č. 7 - STL model [23]

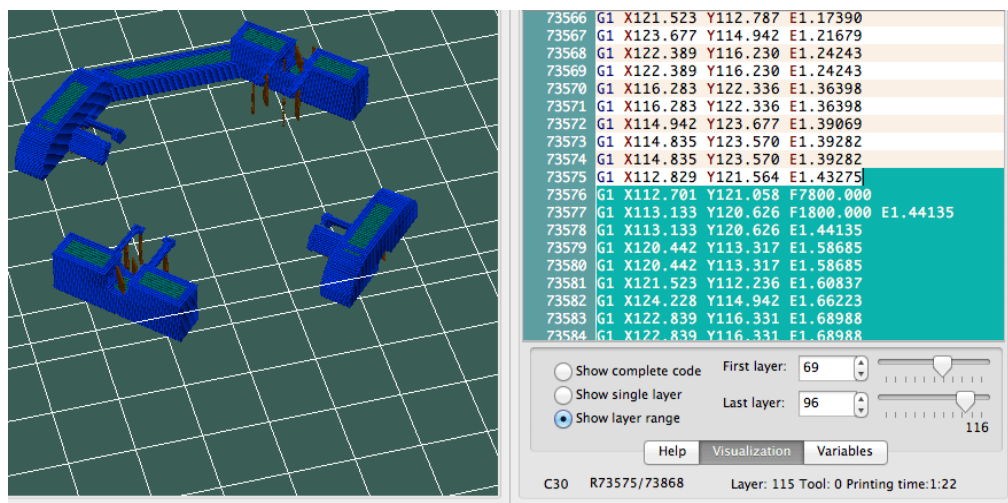
```

solid ascii
Facet normal 9.461808e-017 -0.000000e+000 1.000000e+000
outer loop
vertex 1.443618e+000 -5.518407e+000 1.280603e+000
vertex 1.443618e+000 0.000000e+000 1.280603e+000
vertex -1.443618e+000 0.000000e+000 1.280603e+000
endloop
endfacet
Facet normal 9.461808e-017 0.000000e+000 1.000000e+000
outer loop
vertex -1.443618e+000 0.000000e+000 1.280603e+000
vertex -1.443618e+000 -5.518407e+000 1.280603e+000
vertex 1.443618e+000 -5.518407e+000 1.280603e+000
endloop
endfacet
Facet normal 1.000000e+000 0.000000e+000 -1.066625e-016
outer loop
vertex 1.443618e+000 -5.518407e+000 -1.280603e+000
vertex 1.443618e+000 0.000000e+000 -1.280603e+000
vertex 1.443618e+000 0.000000e+000 1.280603e+000
endloop
endfacet
Facet normal 1.000000e+000 0.000000e+000 -1.066625e-016

```

Obrázek č. 6 - STL popsaný model [24]

Po vytvoření modelu a vygenerování souboru v STL formátu se softwarový model vloží do softwarového prostředí 3D tiskárny. Toto prostředí z vloženého modelu vytvoří model pro 3D tisk. Tento model je rozložen na jednotlivé vrstvy. Každá vrstva je rozložena na body, kde každý bod je popsán v souřadnicích XYZ viz Obrázek č. 8. Tyto souřadnice jsou doplněny informací, zda je tento bod místem určeným pro aplikaci materiálu nebo je to jen pomocná trasa při přejíždění trysky nad modelem. Takto je popsán celý model. [14]



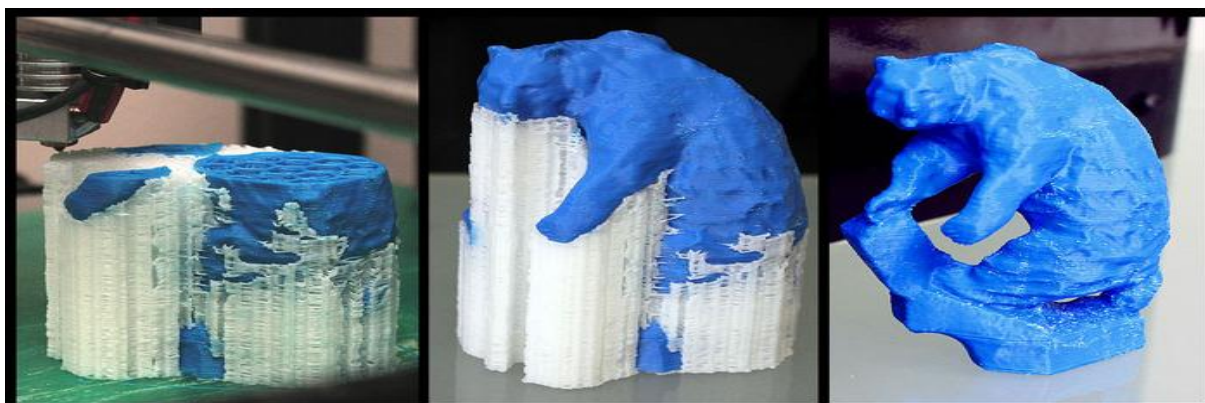
Obrázek č. 8 - modelové souřadnice (g-code) [14]

Pokud je model konstruován tak, že nějaká jeho část je ve vzduchu, či je použit úhel zakřivení modelu větší než 70° od svislé osy, je nutné doplnit model o pomocné vzpěry, na které je model tisknut - viz Obrázek č. 9. Nastavení velikosti a použití materiálu je možné přímo v prostředí 3D tiskárny a není nutné předělávat již hotový model. [15]

Doba tisku je závislá na několika parametrech. Tyto parametry je možné rozdělit na statické a dynamické podle jejich možnosti nastavení, které ve velké míře ovlivňují čas tisku.

Mezi statické parametry se řadí vlastnosti modelu a neměnné parametry 3D tiskárny, které není možné ovlivnit. U tištěného modelu se jedná především o jeho rozměry, které ve většině případů z konstrukčního hlediska nelze měnit. Záleží zde především na tloušťce stran. Pokud se hovoří o neměnných parametrech 3D tiskárny, jedná se zde především o parametry dané její konstrukcí. Například dobou nutnou k zahřátí podložky, aby bylo zaručeno, že se tištěný model v průběhu tisku neuvolní. Nebo dobou nutnou k zahřátí trysky, aby docházelo k roztavení vytlačovaného materiálu. Posledním statickým parametrem, který ovlivňuje délku tištění, je pojezdová maximální rychlost. Tato rychlost vychází z vlastností krokových motorů, které se starají o posun v osách XYZ. [15]

Pokud se hovoří o dynamických parametrech, jedná se o nastavení průběhu tisku. Řadí se do něj plnost vnitřních prostor modelu, jestli má být model vyplněn celý materiálem, či jen nějakými proklady. Nastavení rychlosti pojezdů při tištění a přejíždění nad modelem. Tloušťkou jednotlivých vrstev a rychlostí vytlačování materiálu. Vhodným nastavením je možné délku času tisku ovlivnit nejvíce a správnou kombinací samotný tisk zkrátit až o několik hodin. Prvním krokem u výběru nastavení je definice konečného výrobku. Je možné zkrátit dobu tisku na minimum, ale tím se do značné míry ovlivní kvalita povrchu a je velká pravděpodobnost, že dojde také k ovlivnění celkové pevnosti tištěného výrobku. Pokud je kladen důraz na vysokou kvalitu, musí se počítat s větší časovou náročností na proces tisku. [15]



Obrázek č. 9 - 3D tisk s použitím pomocného materiálu [25]

4.7 Konstrukční materiály

Materiál použitý ke konstrukci komponentů RoBird se skládá z 90 % z plastové hmoty. Pro 3D tisk se používá především plastová hmota PLA nebo ABS. Protože pro zbylých 10 % se z konstrukčního hlediska počítá s velkou zátěží na tlak a tah, jsou tyto části vyrobeny z duralových či uhlíkových dutých tyček.

4.7.1 Materiál PLA

PLA – polylactid acid (kyselina polymléčná), je jedním z nejpoužívanějších materiálů pro 3D tiskárny. Vyrábí se z především ze škrobu kukuřice nebo cukrové třtiny. Díky tomu je ekologicky rozložitelný a pro přírodu lehce odbouratelný, řadí se mezi bioplasty. Teplota vhodná pro tisk se pohybuje mezi 175-220 °C, rozsah teploty záleží na průměru struny, barvě a požadované rychlosti tisku. Při tisku nevydává téměř žádný zápach, až při vyšších teplotách může být náznak vůně po kukuřičném škrobu. Model vytištěný z materiálu PLA je tužší než při použití materiálu ABS. Povrch z tohoto materiálu se jeví naopak lesklejší než z materiálu ABS. Díky svým vlastnostem má menší teplotní deformaci a je více přilnavý na tištěnou desku. Tento materiál má vyšší součinitel tření, proto je zde požadavek na větší tlak v trysce při aplikaci. PLA je materiál využívaný především ve školním prostředí a pro domácí použití. [16]

4.7.2 Materiál ABS

ABS – akrylonitrilbutadienstyren, je termoplast vyráběný z ropy. Není ekologický, pro přírodu je těžce odbouratelný. Jeho rozklad ve volné přírodě je odhadován na několik stovek let. Je rozpustný v acetonu. Teplota ABS vhodná pro 3D tisk je 210-250 °C, tedy vyšší než jaká je vyžadována u materiálu PLA. Kvůli vyšší teplotě se zrychluje opotřebení tavné trysky a její životnost je tak kratší než při tisku z PLA. Kvůli špatné přilnavosti ABS je nutné desku, na kterou bude výrobek tisknut, předeřhát na teplotu v rozmezí 80-100 °C. Při tavení je cítit zápach spáleného plastu a jsou uvolňovány částice, které mohou dráždit dýchací soustavu člověka, proto je vhodné zajistit dostatečné větrání prostoru, ve kterém je 3D tiskárna umístěna. Vzhledem k nižšímu součiniteli tření materiálu ABS jsou požadavky na tlak v trysce při aplikaci nižší než u materiálu PLA. Materiál ABS je pružnější než PLA a podléhá větším teplotním deformacím než PLA. [17]

4.7.3 Přehled vlastností PLA a ABS

Vyrobeno z:

- ✚ PLA – Rostlinný původ (kukuřičné škroby, cukrová třtina, sójové fazole atd.)
- ✚ ABS – Ropa

Zápach při tisku:

- ✚ PLA – Nevydává téměř žádný zápach, při vyšších teplotách lehká vůně
- ✚ ABS – Dráždivý zápach po „spáleném plasty“

Teplota při tisku:

- ✚ PLA – 175-220 °C
- ✚ ABS – 210-250 °C

Mechanická pevnost:

- ✚ PLA – Pevný, ale křehký na namáhání v ohybu, při ohybu praská
- ✚ ABS – Pevný, pevnost vůči nárazům, vydrží mírné namáhání v ohybu

Požadavek na vyhřívání tištěné desky:

- ✚ PLA – Není vyžadována
- ✚ ABS – Vyžadováno přehřátí přibližně na 80-110 °C

Požadavek na skladování materiálu:

- ✚ PLA – Skladování ve tmavém prostředí s pohlcovačem vlhkosti
- ✚ ABS – Skladování ve tmavém prostředí

Bod ohybu teplem:

- ✚ PLA – od 60 °C
- ✚ ABS – od 100 °C

Rozpouštědla:

- ✚ PLA – Benzen, Aluminium hydroxide, Potassium hydroxide
- ✚ ABS – Aceton, Tetrahydrofuran

Ekologie:

- ✚ PLA – Řadí se mezi bioplast, recyklace v průmyslových kompostárnách
- ✚ ABS – Recyklační označení 7, špatně recyklovatelný, neekologický [18]

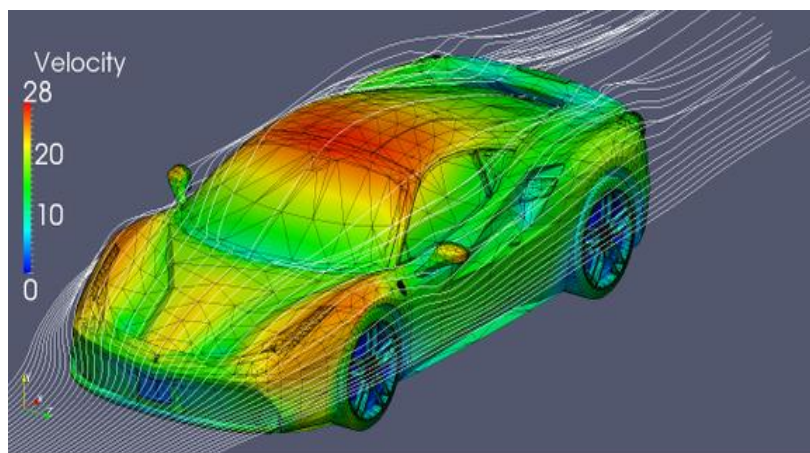
4.8 Testování aerodynamiky

Testování aerodynamiky je jednou z posledních důležitých částí konstrukce RoBird. Aby byla co nejvíce využita ušetřená hmotnost, které se docílilo vhodnou konstrukcí, musí být model v kombinaci s tím aerodynamický. Pokud by nějaká část modelu nebyla vhodně přizpůsobena tak, aby kladla co nejmenší možný odpor obtékanému vzduchu, snížila by se účinnost celé konstrukce. Následkem snížení účinnosti by byla nutnost výměny motoru za silnější, který by dostatečně vykompenzoval ztrátu výkonu aerodynamického odporu.

Výměna motoru by znamenala přírůstek váhy, při jiných rozměrech úpravu uložení motoru a zvýšení odběru proudu, který by znamenal zkrácení doby letu či nutnost výměny baterii za jiné s větší kapacitou mAh.

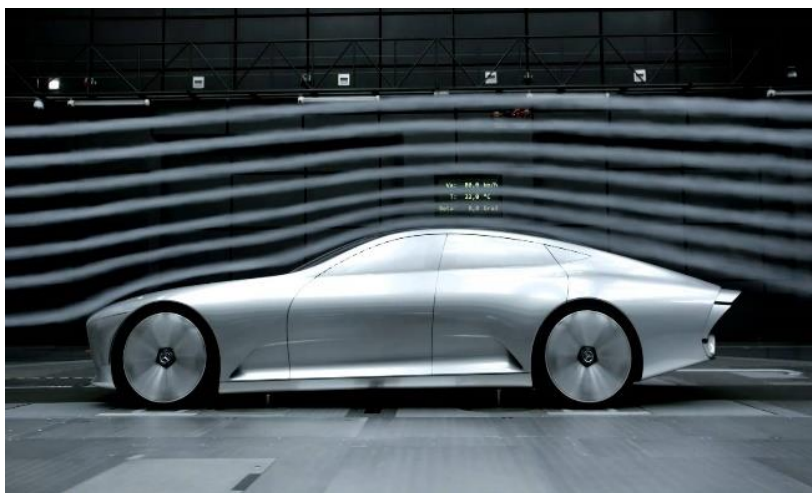
Vzhledem k energetické náročnosti větrného tunelu se cena za hodinu testování pohybuje v rozmezí 5 000 – 10 000 Kč v závislosti na potřebné rychlosti vzduchu a složitosti testovaného modelu. Při zjištění špatného aerodynamického odporu se podle naměřených výsledků udělá oprava a inovace konstrukce. [19]

Aby se co nejvíce snížily náklady na opakované testování ve větrném tunelu, využívá se nejdříve softwarového řešení. Programy s označením CFD (Computational Fluid Dynamics) jsou určeny přímo k testování proudění tekutin a vzduchu pro 2D a 3D modely. Výhodou softwarového řešení je úspora nákladů na větrný tunel a časové náročnosti na testování. Programové měření a úprava konstrukce podle výsledků může probíhat na jednom počítači a tím urychlit proces. Program sám rozpozná problémová místa a vyznačí je barevnou stupnicí dle velikosti odporu - viz *Obrázek č. 10*. [20]



Obrázek č. 10 - CFD simulace obtékání vzduchu [26]

Po testech a opravách v softwarovém prostředí následuje testování ve větrném tunelu. Vyhotovený prototyp je umístěn do větrného tunelu, kde je na něj aplikován vzdušný proud o přibližné rychlosti, které může testovaný subjekt dosáhnout. Pro zviditelnění vzdušného obtékání se využívá kouřových pásem, které jsou po směru proudění vzduchy vypouštěny na objekt - viz *Obrázek č. 11*. Opticky se hodnotí náběh proudu kouře při nárazu na objekt. Dále se hodnotí vytváření vzdušného víru za objektem, který zapříčiňuje vznik vzdušné síly mající tendenci objekt zbrzd'ovat. Hodnotí se také rozpad kouřové linky po průchodu kolem objektu. [21]



Obrázek č. 11 - zkoušky ve větrném tunelu a reálné obtékání vzduchu [27]

5 Vlastní řešení

Z důvodu nedostupnosti technické dokumentace a použitých elektrotechnických součástek, ze kterých se RoBird skládá (výrobní tajemství firem) je nutné najít alternativní řešení. Vlastní řešení je zaměřeno na výběr vhodných elektrotechnických komponent, které technickými vlastnostmi nejvíce odpovídají dostupným informacím. Dále se vlastní řešení zabývá jednotlivými komponenty, ze kterých se RoBird skládá, jejich možnou náhradou za co nejjednodušší konstrukční řešení pro 3D. Vzhledem k existenci několika modelů RoBird a také jejich současným způsobům využití je práce zaměřena na model Sokol firmy Clear Flight Solutions.

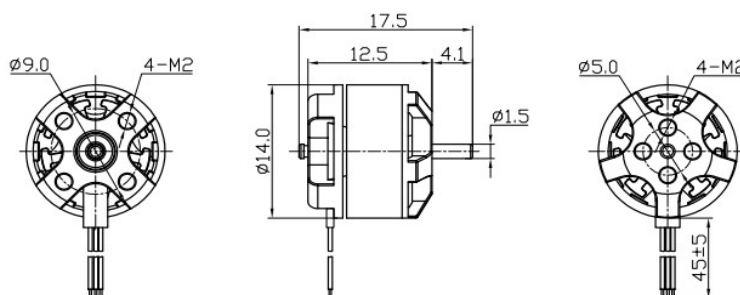
5.1 Elektrické komponenty RoBird

5.1.1 Elektromotor Racerstar Racing BR1104

Největším a nejtěžším komponentem elektrické části RoBird je motor, který zajišťuje pohyb křídel přes soustavu ozubených kol. Motor – viz *Obrázek č. 13* je napájen napětím 7,4 V, při plném výkonu má motor zátěžový proud až 3,1 A. Při výkonu 23 W je dostatečně výkonným motorem pro plynulý pohyb křídel. S tímto pohonem je možné udržovat frekvenci pohybu křídel 6 Hz, což znamená, že RoBird mávne křídly 6x za sekundu. Váha motoru se v průměru pohybuje okolo 5,1 g. Při jeho výšce 12,5 mm a šířce 14 mm - viz *Obrázek č. 12* je ideálním motorem pro použití v alternativě k RoBirdu.



Obrázek č. 13 - Motor BR1104 [28]



Obrázek č. 12 - technický výkres s rozměry [28]

5.1.2 Regulátor otáček Emax BLHeli serie 6A

Podstatným prvkom ovládání RoBird je regulátor otáček motoru – viz *Obrázek č. 14*, který je vřazen mezi napájecí baterie a motor. Má dva vstupní vodiče, barevně označené – červený plus a černý mínus, které jsou připojeny na zdrojovou baterii. Tři černé výstupní vodiče jsou určeny k napájení motoru, a jeden tří žilový s konektorem na konci je určen pro připojení k přijímači. Tím se řeší napájení, protože přes něj budou napájeny servomotory. Regulátor je konstruován na zatížení maximálním trvalým proudem 6 A. V nárazovém zatížení proudem je schopen krátkodobě odolat proudu o hodnotě 8 A. Je možné jej naprogramovat tak, aby při vypnutí plynu působil jako brzda, a tím zamezil samovolnému pohybu křídel, na které působí tlak. Přívodní kabely jsou opatřené připojovacím konektorem Deans XT60 koncovkou samice. Jeho hmotnost činí 6 g a s rozměry 22 x 13 x 5,5 mm je vhodnou úsporou váhy a dobrým prostorovým řešením.



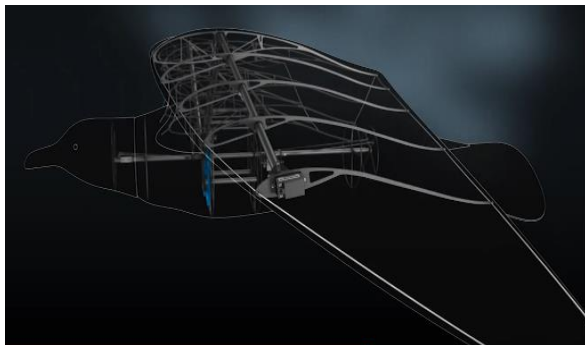
Obrázek č. 14 - regulátor otáček Emax BLHeli 6A [34]

5.1.3 Servomotor Sub Micro SD100

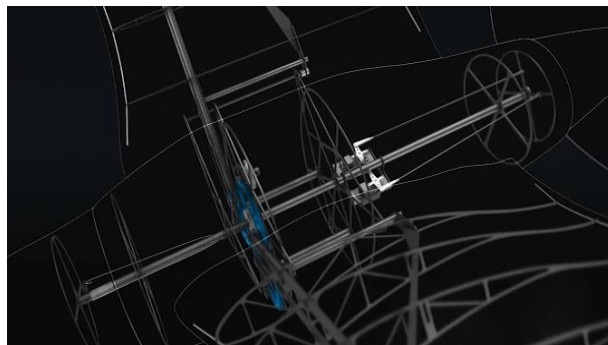
Pro možnost ovládání směru letu je volen systém čtyř nezávislých servomotorů. Dva z nich jsou uloženy v zadní části trupu a může se jimi ovládat natáčení ocasních ploch a hlavy modelu – viz *Obrázek č. 15*. Přenos síly mezi servomotorem a ovládanou částí je realizován plastovým vedením (bovdenem) s železným drátem (táhlem) v něm uloženém.

Další dva servomotory jsou uloženy na koncích křídel a jsou využívány k naklápění koncové části křídla – viz *Obrázek č. 16*. Nejvhodnější jsou micro servomotory s hmotností 4,7 g. Při napájení servomotorů napětím 4,8 V jsou schopny změnit úhel natočení 60° za 0,20 s, při napájení 6,0 V se změní úhel natočení 60° za 0,18 s, což zaručuje velice rychlou odezvu při potřebné změně letu.

Proudový odběr při klidovém stavu činí průměrně 30 mA, v zatížení se odběrový proud pohybuje v průměru 350 mA. Se zatížením křídla až 1,1 kg/cm² jsou tyto micro servomotory schopny udržet natočení výchytky i při prudkém zatočení. S rozměry 17 x 22 x 8 mm jsou velice vhodným řešením.



Obrázek č. 16 – umístění servomotoru v křídle [29]



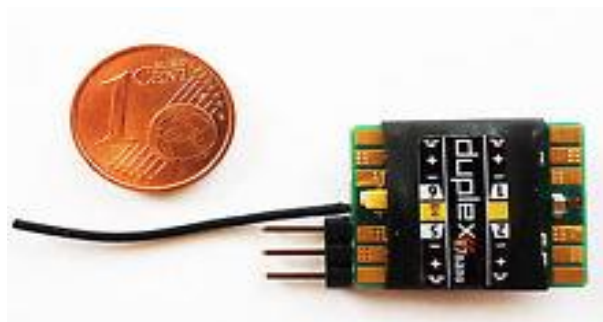
Obrázek č. 15 – umístění servomotoru v křídle [29]

5.1.4 Přijímač DUPLEX R7 NANO EX 2,4 GHz 7k

Pro komunikaci mezi pilotem a dronem je využíván přijímač, který je napájen z regulátoru otáček. Pro komunikaci se využíváno pásma 2,4 GHz, které díky svému kódovanému signálu mezi vysílačem a přijímačem dovolují možnost využít více stejných zařízení v jednu chvíli bez zarušení signálu. Sedmi kanálový přijímač dovoluje připojení všech elektrotechnických součástí, aby mohly nezávisle na sobě pracovat. Přijímač je vybaven hlídáním poklesu napětí, který zaznamená a vyšle informaci pilotovi o nízkém napětí baterie, a ten může ihned reagovat a zaměřit se na fázi přistání. S rozměry 20 x 12 x 7 mm je vhodným pro uložení do trupu mezi přední pohyblivou část a ozubeným převodem pro pohon křídel – viz *Obrázek č. 17*. Hmotnost přijímače je 1 g s gumovou izolací 2,5 g – jedná se o nejlehčí přijímač na trhu. Proudový odběr při zatížení servomotory činí 110 mA. Anténa s délkou 32 mm zaručuje dosah až 1 200 m.



Obrázek č. 18 - telemetrická ústředna [30]



Obrázek č. 17- přijímač Duplex Nano [31]

Na volný slot přijímače je možno připojit telemetrickou ústřednu pro přenos telemetrie (výška, rychlost, teplota, gps poloha) do pilotova vysílače – viz *Obrázek č. 18*. Z důvodu navýšení váhy a prostorové nekompaktnosti není nezbytné, aby byla telemetrie vybavením RoBird.

5.1.5 Baterie Ray G3 Li-Pol 450 mAh 11,1 V

Lithium-polymerový akumulátor (Li-Pol, LiPo) je zdroj elektrické energie pro napájení všech elektrických součástí RoBird. Baterie je složena ze 3 samostatných článků a opatřena připojovacím konektorem Deans XT60 koncovkou samec. Konektory jsou pro lepší vodivost pozlacené a opatřené speciálním tvarem, aby nedošlo ke špatnému zapojení polarit. Akumulátor je dále opatřen dobíjecím balančním konektorem, kterým je možné řídit dobíjení každého článku akumulátoru zvlášť. To je výhodné z hlediska vybíjení baterie, pokud jsou články baterie nabitě na rozdílné hodnoty. Článek nabitý na menší hodnotu se bude vybíjet rychleji a tím se i zkrátí doba letu. Konstrukce baterie dovoluje vybíjecí proud až 13,5 A. S hmotností 45 g a rozměry 63 x 32 x 14,5 mm je největší a nejtěžší elektro součástkou umístěnou v trupu RoBird. Přibližná doba nabíjení baterie doporučeným dobíjecím proudem 450 mA je v průměru 1,1 hodiny. Reálná doba nabíjení je v průměru 45 minut z důvodu neúplného vybití článků, které není doporučováno. Baterie o kapacitě 450 mAh je schopna při maximálním odběru - viz *Tabulka č. 4* dle výpočtu viz *Vzorec č. 1* teoreticky zásobovat elektrické součástky po dobu 5,85 minut. Při reálném letu součástky nemají po celou dobu maximální odběr proudu, proto reálná doba letu je přibližně 8 minut. Doba letu se odvíjí od povětrnostních podmínek a stylu létání pilota.

Součástka	Odběr [mA]
Servomotor 4x	1 400
Motor	3 100
Přijímač	110
Celkem	4 610

Tabulka č. 4 - odběr elektro součástek

$$t = \frac{\text{kapacita baterie [mAh]} * 60 \text{ minut}}{\text{celkový maximální odběr proudu [mA]} } = [\text{min}]$$

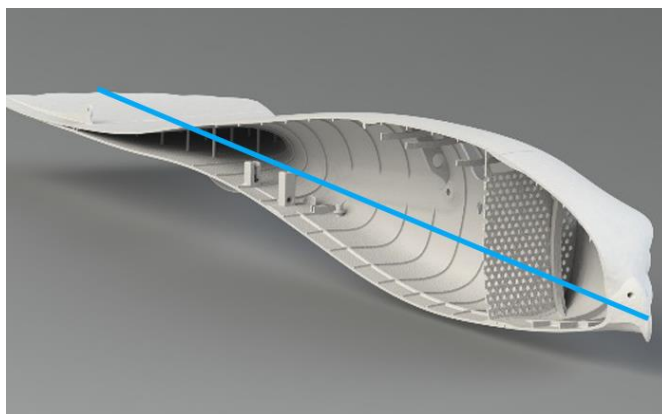
Vzorec č. 1 - Teoretický vzorec pro výpočet délky zásobování baterie [vlastní zpracování]

5.2 Výrobní řešení jednotlivých částí RoBird na 3D tiskárně

5.2.1 Trup

Trup dlouhý 450 mm je konstruován tak, aby kladl co nejmenší odpor vzduchu. Při výrobě na 3D tiskárně je rozdělen na 3 samostatné části. Jedním z výhod této volby je snazší kompletace a rozmístění součástek uvnitř trupu. Další výhodou je nejjednodušší a nejrychlejší tisk bez použití přídavných vzpěr, které zvyšují spotřebu materiálu a prodlužují dobu tisku.

První tištěná část je spodek trupu po vodorovném řezu – viz *Obrázek č. 19*. Tato část je tištěna tak, že vodorovná strana je tištěna jako první a zaoblená strana je orientována směrem vzhůru pro jednoduchost tisku. Pokud by tato část byla tištěna opačnou orientací otočenou kolem vodorovné osy, její časová a materiálová náročnost na tisk by byla značně navýšena. Součástí spodní části je konstrukční řešení pro přichycení servomotorů a jedna polovina přední přepážky pro oddělení baterií a přijímače, které by se mohly za letu uvolnit a poničit převodovou část motoru.

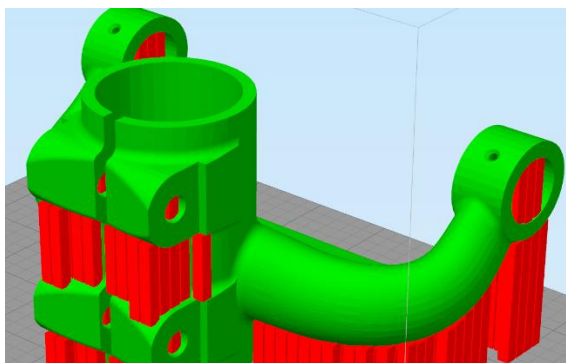


Obrázek č. 19 - RoBird trup s naznačením vodorovného řezu [32]

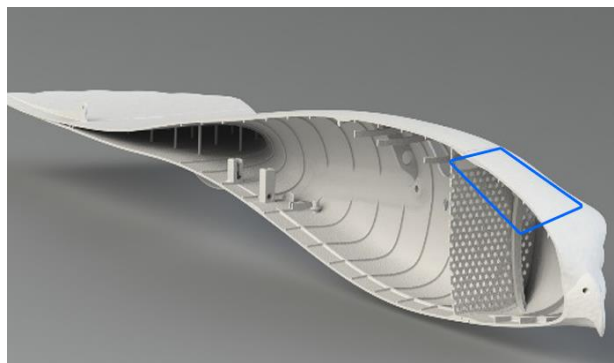
Druhá tištěná část je horní polovina trupu po vodorovném řezu – viz *Obrázek č. 21*. Ta je rozdělena na dvě části, které se tisknou odděleně. První část je samotný horní díl trupu, druhá část je výřez horní části trupu na hlavě modelu před přepážkou (obrázek). Ta slouží k snadnému přístupu do přední části při výměně baterií.

Horní část trupu se tiskne stejným způsobem jako dolní. Horní výřez z trupu se kvůli jeho zaoblení musí tisknout s použitím tzv. raftu – viz *Obrázek č. 20*. To znamená, že se nejdříve

z pomocného materiálu vytiskne klenba, na kterou se tiskne požadovaný tvar a zachová se tak jeho požadovaný tvar a povrch. Toto řešení se používá, pokud není možné umístit model na vodorovnou podložku bez deformace jeho tvaru.



Obrázek č. 20 - využití pomocného materiálu [18]



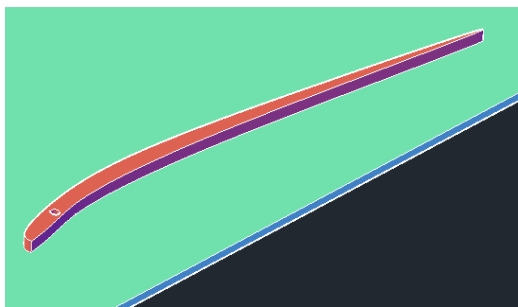
Obrázek č. 21 - RoBird označení umístění předního otvoru [33]

5.2.2 Žebrování

Žebrování je důležitým konstrukčním prvkem celého křídla. Žebra uvnitř křídla udržují jeho profil při namáhání odporem vzduchu a tím zajišťují jeho požadovaný aerodynamický účinek. Další výhodou využití žeberních podpor křídla je menší nárok na pevnost potahu křídla. Ten může být tenčí a tím lehčí při zachování požadavků na průhyb při určitém tlaku za letu. Každé žebro v křídle je originál, protože čím dále jsme od trupu, tím se jeho hloubka zmenšuje a má specifický profil.

Při tisku na 3D tiskárně je jeho optimální poloha vodorovnou a největší plochou orientovanou směrem vzhůru - viz *Obrázek č. 23*. Zlepšení jeho vlastností na namáhání při tlaku a průhybu můžeme dosáhnout optimálním nastavením drah při tisku. Je možné nastavit tloušťku obrysu při tisku. 3D tiskárna nejdříve vytiskne obrys modelu a poté do něj vnáší výplň. Pokud se změní tloušťka obrysu při zachování jeho rozměrů, výsledné žebro bude odolnější při zachování stejné váhy a rozměrů. Kulatý otvor umístěný v žebře je určen pro vložení uhlíkové duté trubky. Ta zajišťuje rovnoměrné rozložení síly při pohybu řídkla. Absence této součástky by zapříčinila vysoké namáhání kraje křídla u trupu, kde je uchyceno k pohonu v trupu. Docházelo by tak k většímu a nesouměrnému namáhání kraje křídla, a to by bylo náchylnější na únavu a opotřebení materiálu. V těchto místech by nejčastěji docházelo k prasklinám či jiné deformaci. Pokud by došlo k této deformaci za letu a křídlo by se oddělilo od trupu, RoBird by se stal neovladatelným a mohl by zapříčinit újmu na majetku či zdraví.

Profil žebra RoBird a profil žebra křídla letadla je zcela odlišný z důvodu jiného nároku na obtékání profilu křídla – viz *Obrázek č. 22*. Profil křídla letadla vytváří princip různých tlaků nad a pod křídlem (vztlak) při proudění vzduchu okolo něj. Profil křídla RoBird je konstruován na vytváření dynamického vztlaku, který vzniká při pohybu ptačích křídel nahoru a dolů.



Obrázek č. 23 - naznačení pozice žebra při tisku [vlastní zpracování]



Obrázek č. 22 - porovnání profilů křídel [vlastní zpracování]

Křídla jsou největší a zároveň nejnáročnější na výrobu při použití 3D tiskárny. Jejich konstrukce je rozdělena na samostatně konstruované prvky. Jedním z nich jsou vnitřní podpory (žebrování) a vnější plášť křídla. Díky žebrování, které zaručí dostatečnou pevnost křídla, může být plášť křídla tenčí než 1 mm se zachováním požadavků na pevnost. Další z výhod této konstrukce je úspora hmotnosti, které při velikosti obou křídel tvoří největší možnost úspory váhy celého modelu.

Křídla – viz *Obrázek č. 25*, jsou rozdělena na několik segmentů, kdy každý se tiskne odděleně. Konstrukce segmentů je přizpůsobena 3D tisku tak, že se dají tisknout čistě bez použití podpůrného materiálu. Každý segment má originální profil a velikost, jedna jeho strana má vodorovnou základnu, která je při tisku umístěna na desku tiskárny. Segment je při tisku orientován profilem vzhůru. Při tištění je tisknut pouze plášť bez jakékoliv výplně. Nastavení tisku při tištění křídel je upraveno o tenčí přírůstek další kladené vrstvy. Tím se zaručí kvalitnější povrch, který je důležitý pro co nejmenší odpor vzduchu.

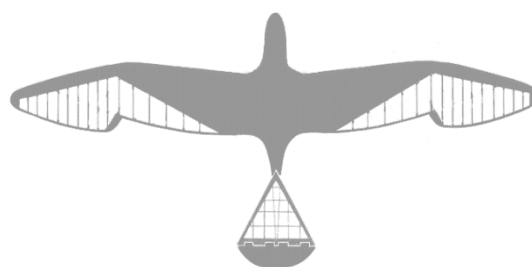
Segmenty jsou konstruovány tak, aby navazovaly jeden na druhý, a při kompletaci celého křídla do sebe zapadnou jako skládačka – viz *Obrázek č. 24*. Při sestavování křídla se vždy vloží určité žebro mezi dva určité segmenty a vše se zkušebně složí bez použití lepidla. Po vizuální kontrole složeného křídla se křídlo opět rozebere. Každý segment se následně ošetří lepidlem a křídlo se poté znovu složí. Celé složené křídlo je umístěno do speciálních svorek, které křídlo stlačí k sobě, aby došlo k co nejlepšímu přilnutí lepidla. Křídlo je zde ponecháno

určenou dobu, která je potřeba k vytvrzení lepidla, která se pohybuje v rozmezí 2-24 hodin. V konečné fázi je křídlo opatřeno uhlíkovou dutou trubkou pro lepší rozložení sil v křídle.

Pro lepení plastů jsou nejvhodnější rozpouštědlová lepidla, která naleptají tenkou vrstvu plastu, a tím dojde ke zvýšení přilnavosti lepidla s povrchem. Vhodná jsou také polyuretanová reaktivní lepidla. Lepidlo se aplikuje vždy na očištěný a suchý povrch.



Obrázek č. 25 - RoBird Sokol stěhovavý [1]



Obrázek č. 24 - rozmístění žeber [33]

5.2.4 Ocasní plochy

Ocasní plochy jsou při tisku rozděleny na tři samostatné části. Vrchní a spodní část slouží jako plášť ocasní plochy. V porovnání s prostřední částí jsou tenčí a nemají tak velkou odolnost proti namáhání. Střední část je využívána jako vnitřní podpora. Je konstruována obdobně jako křídlo s rozdílem jejich profilů. Zadní ocasní plocha nemá žádný profil, je konstruována jako vodorovný lineární útvar.

Každá z částí je tištěna samostatně. Při tisku takto veliké jedolité plochy jako jsou vrchní a spodní části ocasních ploch je vysoký požadavek na jejich rovnost. Tento požadavek je závislý na dvou parametrech.

Prvním z parametrů je tepelná roztažnost, která zapříčiní při chladnutí zmenšení vytištěného objektu, a při nedostatečné přilnavosti povrchu může dojít k jeho průhybu. Tento parametr nelze ovlivnit. Jediné, co lze ovlivnit, je výběr vhodného materiálu s co nejmenší tepelnou roztažností. Vhodnějším materiálem k použití je materiál PLA, který má oproti ABS menší tepelnou roztažnost a nižší bod tání.

Druhým z parametrů je přilnavost plochy tisku, který lze ovlivnit v hodným výběrem lepidla 3DGLUE, nebo namícháním tzv. Juice mixu (rozmícháním materiálu ABS s acetonovým rozpouštědlem). Juice mix má výhodu v možnosti určitého poměru ABS a acetonového rozpouštědla. Tím lze namíchat lepidlo s určitou přilnavostí a pevností. Tento

mix se nanese na předeřátou tiskovou plochu. Po natištění prvních pár vrstev objektu se vyhřívání plochy vypne a s chladnutím plochy a tím i lepidla se dosáhne jeho zatvrdnutí a přilepení objektu, aby se neodlepil při tisku. Použití ABS Juice mixu v kombinaci s tištěným PLA materiálem získává možnost odstranění zaschlého lepidla ponořením do acetonového rozpouštědla. To rozpustí pouze ABS materiál a očistí tak vytištěný objekt.

Po vytištění se křídlo nejdříve zkompletuje bez použití lepidla a vizuálně se zkontroluje. Dalším krokem je nanesení vhodného lepidla na spojované části. Spojené části se umístí mezi svorky, které přitlačí všechny části určitou silou k sobě a jsou zde ponechány po dobu nutnou k vytvrzení lepidla.

Doba nutná k vytvrzení lepidla se liší dle druhu použitého lepidla, rozsah časového rozmezí se pohybuje mezi 2-24 hodinami, kdy po 24 hodinách je zaručeno 100% vytvrzení.

5.2.5 Převodovka pohonu křídel

Převodovka pohonu křídel je nejsložitější konstrukční částí RoBird. Skládá se z pěti různých konstrukčních prvků, které se tisknou samostatně.

První z prvků jsou ozubená kola převodu, která jsou poháněna přes pastorek přidělaný k poháněné hřídelce motoru. Ozubená kola jsou opatřena kruhovými otvory, které snižují hmotnost celého ústrojí, a zároveň slouží pro připevnění plastových táhel přenášejících pohybovou sílu. Ozubená kola jsou tištěna v poloze, ve které jsou kruhové tvory orientovány směrem vzhůru a ozubený obvod směřuje jen do stran. Vzhledem k jejich vodorovnému tvaru, není zapotřebí využít speciálních metod tisku. Po vytištění jsou nalisována na železnou hřídelku a zafixována lepidlem.

Druhý z prvků je pastorek, který je nalisován na poháněnou hřídelku motoru a je využíván k přenosu otáčivé síly z motoru na ozubená kola. Jeho pozice při tisku je stejná jako u ozubených kol převodu. Vzhledem k jeho malé styčné ploše s plochou tiskárny je vhodné využít možnost lepidla, například Juice mix, aby nedošlo k jeho odlepení, které by způsobilo špatný výtisk součástky, či v nejhorším případně poškození 3D tiskárny. Po vytištění je pastorek nalisován na hřídelku motoru a zajištěn lepidlem, které brání prokluzu hřídelky v pastorku při zátěži.

Třetí z prvků jsou pohybová táhla, která přenášejí sílu z ozubených kol na uchycení křídel. Táhlo má tvar dvou mezikruží spojených mezi sebou podlouhlým kvádrem. Táhla jsou

umístěna při tisku na desku vodorovně otvorem mezikruží orientovaným vzhůru. Po vytištění jsou táhla uchycena k ozubeným kolům a uchycení křídla přes pohyblivý čep s koncovým zajištěním.

Čtvrtý z prvků je uchycení křídel. Jedná se o propojení křídel s převodovou soustavou pohonu a zajištění otočného pohybu na čepu pro obě křídla. Uchycení je konstruováno jako dva spojené tvary. Jedním z tvarů je mezikruží, které je použito pro připojení k celé soustavě přes otočný čep. Druhý tvar je kvádr, který má uvnitř sebe dutinu se závitem. Ten je využíván na kovové propojení křídel a uchycení křídel. Součástka je při tisku orientována dutinou se závitem k podložce a její vodorovná část u konce závitu je tištěna jako první. I přes její složitý tvar při tomto polohování součásti není potřeba užití tištěných podpor či jiného pomocného materiálu. Jediný kladený požadavek je na kvalitu vnitřního závitu. Ta je docílena tiskem jemných vrstev.

Pátý a poslední prvek je uchycení motoru a přichycení všech ostatních prvků. Součástka je kvůli lepší možnosti tisku rozdělena na tři samostatné součásti.

První částí je součást, která je určena k vymezení prostoru pro uchycení křídel na otočném čepu, aby nedocházelo k jejich posunu. Posun by znamenal namáhání součásti na krut v jeho nejslabším místě, kterým je přechod mezi mezikružím a obdélníkovou částí. V této části by mohlo dojít k deformaci, křídlo by se mohlo za letu oddělit od trupu a způsobit újmu na majetku či na zdraví. Tato součást se skládá z mezikruží, které je použito na uchycení čepu, a L profilu, který svou vodorovnou částí vymezuje mezeru pro uchycení křídel. Část je tisknuta ve vodorovné poloze s otvorem v mezikruží orientovaným vzhůru.

Druhou hlavní součástí je střední část, která se využívá k uchycení motoru a také jako místo na uchycení ostatních součástí. Horní část s otvorem pro čep je konstruována k uchycení čepu pro úchyty křídel. Celý prvek je konstruován tak, aby se dal vytisknout bez nutnosti použití pomocného materiálu či jiných podpor. V poloze, kdy je přední strana, na které jsou umístěny ozubená kola, orientována kolmo k podložce tiskárny.

Třetí součást je spodní část, která je určena k uchycení celku k trupu. Je tištěna bez použití podpůrných prostředků. Součást je při tisku orientována přichytávacím ústrojím kolmo k podložce tiskárny a je tisknuta jako první.

5.3 Náklady na pořízení

Náklady na pořízení se skládají z několika složek, které se mění v závislosti na využívané technologii. Složka, která je v každé situaci stejná, je nákup elektrotechnických součástek a materiálu nutného ke konstrukci RoBirdu. Jejich náklady na pořízení se mohou měnit jen vlivem trhu - viz *Tabulka č. 5*.

Další složkou, která ovlivňuje výsledné náklady, je cena pořízení RC vysílače nutného k ovládání RoBirdu. Pokud je již vlastněna a je kompatibilní s přijímačem umístěným v modelu, není tato složka zahrnuta ve výsledné kalkulaci nákladů - viz *Tabulka č. 6*.

Následnou ovlivňující složkou je možnost konstrukce plastových částí, kterou lze řešit více variantami. Jednou z variant je využití 3D tisku formou služby, kterou poskytují specializované firmy. Cenová relace nákladů na vyhotovení modelu je široká z důvodu použití různých metod a využití jiných 3D tiskáren viz *Tabulka 7*.

Další variantou je zakoupení 3D tiskárny, která je v hobby provedení cenově dostupná a lze na ní vyhotovit model v dostatečné kvalitě. Pokud je tiskárna již vlastněna, tato složka navyšuje rozpočet jen o koupi potřebného materiálu viz *Tabulka č. 7*.

Typ	Popis	Kusů	Průměrná cena /1ks
Racerstar BR1104	Elektromotor 23 W	1	230 Kč
BLHeli serie 6 A	Regulátor otáček 6 A	1	260 Kč
Sub Mucro SD100	Servomotor 4,7 g	4	830 Kč
Duplex R7 Nano	Přijímač 2,4 GHz 7 kanál	1	1 520 Kč
Uhlíková trubka	Uhlíková trubka Ø6x4 mm, 1 m	2	104 Kč
Duralová tyčka	Duralová tyčka Ø5 mm, 1 m	1	86 Kč
Lepidlo Bisoni 65 ml	Dvousložkové polyuretanové lepidlo	1	250 Kč
Celkem			5 892 Kč

Tabulka č. 5 - náklady na pořízení elektro součástek a potřebného materiálu

Flash 7 2,4GHz	RC vysílač 2,4 GHz, sedmi kanálový	1	3 400 Kč
----------------	------------------------------------	---	----------

Tabulka č. 6 - částka vynaložená na pořízení kompatibilního RC vysílače

Služba 3D tisku	Cena tisku 150 – 290 Kč/h + materiál	-	1 850 Kč
3D tiskárna	Anet A8 stolní / stavebnice	1	8 000 Kč
Materiál PLA / ABS	3D World PLA / ABS 1.75 mm 1 kg	1	499 Kč

Tabulka č. 7 - částky vynaložené na možnosti pořízení plastového modelu

Kombinace č.	Popis kombinace	Cena
1	Celkem Tab.2, RC vysílač, Služba 3D tisku	11 124 Kč
2	Celkem Tab.2, RC vysílač, 3D tiskárna, Materiál PLA / ABS	17 774 Kč
3	Celkem Tab.2, Služba 3D tisku	7 724 Kč
4	Celkem Tab.2, 3D tiskárna, Materiál PLA / ABS	14 374 Kč
5	Celkem Tab.2, Materiál PLA / ABS	6 374 Kč

Tabulka č. 8 - výpočet částek vynaložených na pořízení RoBird v osobní rovině

Z Tabulky č. 8. vyplívají ceny kombinací při různých situacích možnosti vyhotovení plastového modelu, jeho kompletací s elektrosoučástkami a nezbytným materiálem. Nejdražší variantou je kombinace číslo 2 - viz Tabulka č. 8, ve které se počítá se zakoupením potřebného RC vysílače kompatibilního s přijímačem, elektrosoučástkami na osazení RoBird, materiálem potřebným pro jeho zkompletování a 3D tiskárnou modelu hobby s materiálem pro tisk.

Nejlevnější variantou jsou kombinace číslo 3 a 5 viz Tabulka č. 8. Kombinace číslo 3 počítá s vlastnictvím kompatibilního RC vysílače, vyhotovení plastového modelu využitím služby 3D tisku, elektrosoučástkami na osazení RoBird a materiálem potřebným pro jeho zkompletování. Kombinace číslo 5 vychází oproti kombinaci číslo 3 levněji, protože navíc počítá s aktuálním vlastněním 3D tiskárny.

5.4 Možnost budoucí inovace

Z hlediska časové prodlevy mezi nutností zásahu a doby reálného zásahu klesá účinnost používané technologie. Pro zvýšení její účinnosti je třeba zkrátit tuto prodlevu na co nejkratší dobu. Jednou z možností, která by zkrátila časovou prodlevu až na nulovou hodnotu, je snaha o zcela autonomní systém. Plně automatizovaný RoBird by poskytl širší možnosti využití a zvýšil by účinnost zásahu, který by byl téměř okamžitý při narušení sledovaného prostoru.

Autonomní systém RoBird v kombinaci s Robin Radar systems (radarový systém na detekci a sledování ptáků s možností jejich přesné lokalizace) by se stal jednou z nejúčinnějších možností dohledu a plašení ptáků. Při detekci narušení prostoru ptákem či hejnem by radar začal sledovat jejich pohyb a pomocí GPS souřadnic určil trasu letu RoBird. Trasa letu by v jeho průběhu byla aktualizována v závislosti na změně pozice a směru hejna. Při využití na letištích či jiných místech, kde je důležité dbát na dodržení vzdušného prostoru nebo odstupu od objektů, které by mohly způsobit při blízkém kontaktu s RoBird jeho poškození (pohyb větrné elektrárny, vysoké vedení elektrické energie, antény vyzařující rušivé frekvence), by bylo možné vymežit oblasti, ve kterých by se nesměl RoBird pohybovat vůbec nebo pouze v rámci určeného časového omezení, případně v časových intervalech.

RoBird by byl umístěn v nebo poblíž hlídané oblasti, v tzv. RoNest (Robotic Nest – Robotické hnízdo), kde by byl chráněn před vlivy počasí a přímým slunečním svitem. RoNest by obsahoval bezdrátový dobíjecí modul, přes který by se baterie RoBirdu dobíjely přes dobíjecí modul umístěný ve spodní části trupu. RoNest opatřený solárními panely by zajišťoval nabíjení i při výpadku elektrické energie, aby nedošlo k vybití baterií a jejich zničení. Tím by také přispíval k ekonomickému a ekologickému provozu.

Při zjištění narušení oblasti by byl RoBird vypuštěn z RoNest a podle Robin Radar system by začal plánovaně a cíleně kroužit okolo ptáků. Když by došlo k poklesu napětí baterií nebo dosažení přednastaveného časového limitu, RoBird by se vrátil zpět do RoNest, kde by se opět dobil a připravil na další let. Vše by probíhalo v reálném čase v závislosti na situaci bez jakékoliv prodlevy a bez potřeby zásahu člověka, který by prováděl pouze preventivní prohlídky s diagnostikou a nutný servis.

6 Závěr

Cílem přehledu řešeného problému bylo vysvětlení rozvíjející se technologie RoBird s jejím využitím v praxi. Porovnání s živým predátorem a srovnání používaných modelů s živými ptáky. Objasnění funkce 3D tiskárny, její vlastnosti, možnosti využití a používaný materiál.

Obsahem praktické části byly popsány a vyhledány elektrické komponenty k ovládání RoBird. Rozbor plastových částí, z kterých se skládá, a návrh jejich optimálního tisku na 3D tiskárně. Vyhotovení nákladů na zařízení s různými variantami a možnostmi vyhotovení plastových dílů. Odhad vývoje dle dostupných informací a možnost inovace.

Konstrukce RoBird je po aerodynamické stránce nejlépe přizpůsobena požadovanému vzhledu, aby co nejvíce odpovídala biologické předloze. Největší nevýhodou konstrukce je její hmotnost, která brání ve zvýšení jeho obratnosti a lepší ovladatelnosti. Pro redukci váhy by bylo vhodné využít uhlíkové konstrukce. Nahrazením těžkého vytisknutého pláště za lehkou vypínací fólii z PVC by se dosáhlo dalšího úbytku váhy a zmenšení tření vzduchu. Elektrické komponenty RoBird jsou svou váhou a výkonem dostačující pro pohon a ovladatelnost.

V České republice se technologie RoBird zatím nevyskytuje, pouze její odnož jako hobby pro osobní využití. Ve světě se vyskytuje převážně v USA, kde sídlí firma Clear Flight Solution, která je největší a téměř jediná na světě. V budoucnu se technologie jistě rozšíří i do Evropské unie a ostatních států, kde bude moci být využívána.

Technologie RoBird je zatím na počátku vzestupu a při intenzivním budoucím rozvoji a inovaci skýtá mnohé možnosti. Jednou z možností je přispění k revitalizaci a obnovy ptačích ohrožených druhů predátorů, kteří by byli využíváni k rozmnožení a umístění do přírody namísto hlídání vzdušného prostoru letišť.

7 Seznam použité literatury

1. **Anonym.** *Clear Flight Solutions*. [Online] [Citace: 15. Březen 2017.] <https://clearflightsolutions.com/>.
2. —. *Festo*. [Online] [Citace: 15. Březen 2017.] <https://www.festo.com>.
3. —. *Wikipedia.org*. [Online] [Citace: 15. Březen 2017.] <https://en.wikipedia.org/wiki/Ornithopter>.
4. —. *Wikipedia.org*. [Online] [Citace: 16. Březen 2017.] https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1clav_Kade%C5%99%C3%A1vek.
5. **Vanžura, Marek.** 19.díl - SmartBird a RoBird aneb ptačí let v robotickém hávu. *Air Spotter*. [Online] [Citace: 17. Březen 2017.] <http://airspotter.eu/Download/SmartBird.pdf>.
6. **Vreeman, Jochem.** *University of Twente*. [Online] [Citace: 17. Březen 2017.] <https://www.utwente.nl/en/news/!/2016/4/504764/twenters-robird-to-make-its-first-flight-at-airports>.
7. **O'Callaghan, Jonathan.** *Mail Online Science & Tech*. [Online] [Citace: 18. Březen 2017.] <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2743272/Is-bird-Is-plane-No-s-ROBIRD-Robotic-falcons-eagles-mimic-real-predators-pests-away-airports-farms.html>.
8. **Anonym.** *RT Question More*. [Online] [Citace: 18. Březen 2017.] <https://www.rt.com/usa/army-maveric-prioria-drone-400/>.
9. **Satrapa, Martin.** Bakalářská práce. *Etologie, bionomie a chov Sokola Stěhovahého v SOF Pavlov*. Brno : Mendelova Univerzita v Brně, 2009/2010.
10. **spol., František Pojer a.** *Ochrana přírody*. [Online] [Citace: 18. Březen 2017.] <http://www.casopis.ochranaprirody.cz/z-nasi-prirody/dravci-v-ceske-republice/>.
11. **Krassenstein, Eddie.** [Online] 30. Červen 2015. [Citace: 19. Březen 2017.] <https://3dprint.com/77400/5-axis-3d-printer/>.
12. **Pagáč, Marek.** [Online] 3. Červen 2015. [Citace: 20. Březen 2017.] <http://www.mujsolidworks.cz/jak-pripravit-kvalitni-a-presny-model-pro-3d-tisk/>.

13. **Vochoomůrka, Jan.** *Makers Lab*. [Online] 26. Květen 2016. [Citace: 22. Březen 2017.] <http://www.makerslab.cz/blog/2016/05/data-pro-3d-tisk/>.
14. **Anonym.** *Repetier Renkforce*. [Online] [Citace: 22. Březen 2017.] <https://www.repetier.com/documentation/repetier-firmware/z-probing/>.
15. **France, Anna Kaziunas.** *Make: 3D Printing*. Providence U.S.A : Maker Media, Inc, 2013. ISBN-13: 978-1457182938.
16. **Anonym.** *Eko-plasty*. [Online] [Citace: 23. Březen 2017.] <http://www.eko-plasty.cz/bioplasty-pla/>.
17. —. *Materiali pro 3D*. [Online] [Citace: 22. Březen 2017.] <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/abs/>.
18. **Verbatin.** *Verbatim*. [Online] [Citace: 22. Březen 2017.] <http://www.verbatim-europe.cz/cz/3D/abs-vs-pla/?con=50>.
19. **William E. Boeing.** *Aeronautics & Astronautics Collage of Engineering*. [Online] [Citace: 23. Březen 2017.] <https://www.aa.washington.edu/AERL/KWT/rateguide>.
20. **Oh, Hyoung Woo.** *Computational Fluid Dynamics*. místo neznámé : InTech, Chapters published , 2010. ISBN 978-953-7619-59-6.
21. **Pope, Alan.** *Low-Speed Wind Tunnel Testing*. Londýn : Her Majesty's Stationery office, 1966. ISBN-13: 978-0471557746.
22. **Homola, Jan.** *Konstruktor*. [Online] [Citace: 24. Březen 2017.] <http://www.konstruktor.cz/2015/03/20/kolik-stoji-3d-tisk/>.
23. **Anonym.** *Field Precision LLC*. [Online] 1998 - 2017. http://www.fieldp.com/stl_information.html.
24. **Miller, Eric.** [Online] 12. Říjen 2012. <http://www.padtinc.com/blog/additive-mfg/a-guide-to-creating-good-stl-files>.
25. **G, Yessica.** *3DP Nexus*. [Online] 3. Květen 2014. <http://3dpnexus.com/hips-3d-printing-filament-explained/>.

26. **Anonym.** [Online] [Citace: 25. Březen 2017.]
<https://www.mech.kth.se/courses/5C1211/extlec04.htm>.
27. —. [Online] Duben 2008. [Citace: 25. Březen 2017.]
<http://ecomodder.com/forum/showthread.php/random-wind-tunnel-smoke-pictures-thread-26678-49.html>.
28. **Racer Star.** *Racer Star.* [Online] <http://www.racerstar.com/Racerstar-Racing-Edition-1104-BR1104-7000KV--Brushless-Motor-p-91.html>.
29. **Had.** *Česká televize.* [Online] 1. Květen 2011.
<http://www.ceskatelevize.cz/ct24/archiv/1269186-racci-uci-nemecke-vedce-letat>.
30. **Anonym.** [Online] <http://hitecrd.com/products/aircraft-radios-receivers-and-accessories/telemetry-systems-components/hts-ss-nitro-telemetry-system-for-nitro-planes/hts-gps-gps-sensor-2/product>.
31. —. [Online] http://shop.rc-electronic.com/Brands/JETI-Duplex/Receiver/Receiver-DUPLEX-R7-nano-EX.htm?shop=k_emcotec_e&a=article&ProdNr=J80001234&p=1209.
32. —. [Online] <https://3dprintingindustry.com/news/airports-dream-3d-printed-birds-33580/>.
33. **Holst, Erich von.** [Online] <http://www.ornithopter.de/english/wings.htm>.
34. **Pecka Modelář.** *Pecka Modelář s.r.o.* [Online] 2017.
<http://www.peckamodel.cz/produkt/rc-modely-a-prislusenstvi/rc-multikoptery-a-prislusenstvi/prislusenstvi-pro-multikoptery/regulatory-pro-multikoptery/2250006-regulator-emax-bl-heli-serie-6a>.
35. **Hadhazy, Adam.** [Online] 8. Únor 2013. [Citace: 18. Březen 2017.]
<http://discovermagazine.com/2013/march/5-airplane-wings>.

8 Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 - Grafické natočení křídel [35]	4
Obrázek č. 2 - RoBird model Sokol Stěhovavý [1]	8
Obrázek č. 3 - RoBird model Orel Bělohlavý [1]	8
Obrázek č. 4 - 3D tiskárna [11]	9
Obrázek č. 5 - Průmyslová tvářečka plastů [11]	9
Obrázek č. 6 - STL popsaný model [16]	11
Obrázek č. 7 - STL model [15]	11
Obrázek č. 8 - modelové souřadnice (g-code) [17]	11
Obrázek č. 9 - 3D tisk s použitím pomocného materiálu [19]	12
Obrázek č. 10 - CFD simulace obtékání vzduchu [25]	15
Obrázek č. 11 - zkoušky ve větrném tunelu a reálné obtékání vzduchu [27]	16
Obrázek č. 12 - technický výkres s rozměry [28]	17
Obrázek č. 13 - Motor BR1104 [28]	17
Obrázek č. 14 - regulátor otáček Emax BLHeli 6A [29]	18
Obrázek č. 15 – umístění servomotoru v křídle [30]	19
Obrázek č. 16 – umístění servomotoru v křídle [30]	19
Obrázek č. 17- přijímač Duplex Nano [32]	19
Obrázek č. 18 - telemetrická ústředna [31]	19
Obrázek č. 19 - RoBird trup s označením vodorovného řezu [33]	21
Obrázek č. 20 - využití pomocného materiálu [18]	22
Obrázek č. 21 - RoBird označení umístění předního otvoru [33]	22
Obrázek č. 22 - porovnání profilů křídel [vlastní zpracování]	23
Obrázek č. 23 - označení pozice žebra při tisku [vlastní zpracování]	23
Obrázek č. 24 - rozmístění žebek [34]	24
Obrázek č. 25 - RoBird Sokol Stěhovavý [1]	24

Seznam tabulek

Tabulka č. 1 - porovnání RoBird a živého dravce na provoz [vlastní zpracování, 9]	6
Tabulka č. 2 - výhody a nevýhody RoBird [vlastní zpracování]	6
Tabulka č. 3 - výhody a nevýhody živého predátora [vlastní zpracování, 9].....	7
Tabulka č. 4 - odběr elektro součástek.....	20
Tabulka č. 5 - náklady na pořízení elektro součástek a potřebného materiálu	27
Tabulka č. 6 - částka vynaložená na pořízení kompatibilního RC vysílače.....	27
Tabulka č. 7 - částky vynaložené na možnosti pořízení plastového modelu	28
Tabulka č. 8 - výpočet částek vynaložených na pořízení RoBird v osobní rovině.....	28