



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV PŘÍSTROJOVÉ A ŘÍDICÍ TECHNIKY

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Realizace mechaniky, elektroniky a řízení modelu vznášedla

ZPRACOVAL: Jan Benda

E-MAIL: [jan.benda@fs.cvut.cz](mailto:jan.benda@fs.cvut.cz)

ROČNÍK: III.

AKADEMICKÝ ROK: 2020/2021

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

**Zadání práce:****ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE****I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE**

Příjmení: **Benda** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **484733**  
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
 Zadávající katedra/ústav: **Ústav přístrojové a řídicí techniky**  
 Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
 Studijní obor: **bez oboru**

**II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI**

Název bakalářské práce:

**Realizace mechaniky, elektroniky a řízení modelu vznášedla**

Název bakalářské práce anglicky:

**Design of mechanics, electronics and control for a Hovercraft**

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je navrhnout model vznášedla včetně elektroniky a jednoduchého řízení.  
 1) Návrh mechanické části, nejlépe s využitím 3D tisku, vyberte vhodné komponenty  
 2) Výběr řídicí elektroniky  
 3) Elektroniku a řídicí systém zapojte a oživte.  
 4) Experimentálně ověřte

Seznam doporučené literatury:

Gottlieb, I. Electric Motors and Control Techniques, 1994, McGraw-Hill Education, ISBN 9780070240124 [2] Voda, Z a kol.: Arduino - Průvodce světem Arduina, 2015, Nakladatelství Martin Stříž, Bučovice, ISBN 978-80-87106-90-7  
 HOFREITER, Milan. Základy automatického řízení: příklady. 4. přepracované vydání. V Praze: České vysoké učení technické v Praze, 2016. 123 stran. ISBN 978-80-01-05899-2.  
 UHLÍŘ, Ivan a kol. Elektrické stroje a pohony. Vyd. 2. přeprac. Praha: ČVUT, 2007. 137 s. ISBN 978-80-01-03730-0.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Martin Novák, Ph.D., odbor elektrotechniky FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2021**Termín odevzdání bakalářské práce: **10.06.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
 doc. Ing. Martin Novák, Ph.D.  
 podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
 podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
 prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
 podpis děkana(ky)

**III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ**

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
 Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
 Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
 Podpis studenta

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

Dne:

Podpis:

**Obsah:**

Zadání práce: .....	2
Prohlášení: .....	3
Anotace:.....	6
Klíčová slova: .....	6
Abstract: .....	7
Key words:.....	7
1. Úvod.....	8
1.1. Cíl práce.....	8
1.2. Volba tématu.....	8
2. Rešerše .....	9
2.1. Co je to vznášedlo?.....	9
2.2. Historie .....	9
2.3. Použití.....	10
2.3.1. Armáda.....	10
2.3.2. Rekordy.....	11
2.3.3. Současnost .....	11
2.4. RC (radio-controlled) model.....	12
3. Vlastní konstrukce.....	14
3.1. Inspirace mechaniky .....	14
3.1.1. Spodní platforma.....	14
3.1.2. Paluba.....	15
3.1.3. Kryt na vrtuli.....	17
3.1.4. Celé vznášedlo .....	20
3.2. Inspirace elektroniky .....	21
3.2.1. Motory .....	21
3.2.2. Regulátory.....	22

3.2.3.	Akumulátor .....	22
3.2.4.	Servo motor.....	23
3.2.5.	Přijímač.....	23
3.2.6.	Arduino mega .....	23
3.3.	Problémy s konstrukcí .....	24
3.4.	Poslední úpravy konstrukce.....	27
3.5.	Finální rozpad celé sestavy vznášedla .....	30
4.	Elektronika a řízení .....	31
4.1.	Začátky .....	31
4.2.	Testy servo motoru .....	31
4.3.	Testy motorů.....	32
4.4.	Testy Bluetooth modulu .....	33
4.5.	Finální řízení.....	33
4.5.1.	Bezpečnost .....	35
4.5.2.	Ukázka finálního kódu řízení s vysvětlivkami .....	36
5.	Experiment .....	37
5.1.	První experiment.....	37
5.1.1.	Zrychlení a rychlost .....	37
5.1.2.	Manévrování v prostoru.....	39
5.2.	Druhý experiment .....	41
6.	Závěr.....	44
6.1.	Shrnutí důležitých parametrů vznášedla a výstupů práce.....	45
	Bibliografie.....	46

## **Anotace:**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací mechaniky, elektroniky a řízení modelu vznášedla. Průběh této realizace začíná prvotní rešerší, při které je nutné zjistit, jak takový model vznášedla vypadá, a jakým způsobem je nutné se rozhodnout při tvorbě celkové mechaniky modelu. V rešerši je také důležité projít více možností realizace mechaniky modelu vznášedla a ve všech se z části inspirovat pro návržení vlastního modelu.

Dále je nutné model navrhnout a nechat jeho jednotlivé části vytisknout na 3D tiskárně, vybrat příslušnou elektroniku a zakoupit díly, které není nutné samostatně vyrábět.

Po vyřešení těchto všech důležitých náležitostí přichází na řadu praktická část, která se týká samostatné montáže a zapojení elektroniky. V průběhu zapojování elektroniky také probíhá vymýšlení příslušného způsobu řízení. Řízení je vytvářeno pomocí mini počítače Arduino mega a jeho propojení s příslušnou elektronikou (2 motory, 1 servo motor, Bluetooth modul). Je potřeba napsat správný program pro ovládání těchto všech elektronických komponent, aby se vznášedlo bylo schopno dostat do pohybu.

Výsledkem mé práce je test (experiment), kdy je vznášedlo uvedeno do pohybu a je měřena jeho rychlost. Dále je testována jízda po různých typech povrchů a schopnost měnit směr přesně podle potřeb řidiče.

## **Klíčová slova:**

vznášedlo, arduino, řízení, RC model, 3D tisk, model, motor, servo motor

**Abstract:**

This bachelor thesis deals with design and realization of mechanics, electronics and controlling of a hovercraft model. Realization begins with the first research in which is important to find out how the model of hovercraft looks like and which way to decide during construction part of creating mechanics of the model. In the research part it is important to go through more options of how to create the model of hovercraft and get little inspiration from all of them for creating my own model.

Then it is necessary to design my own hovercraft model and print its parts on 3D printer, choose appropriate electronics and buy parts which are not necessary to produce.

After solving these all necessities, it is time for practical part of bachelor thesis which concerns montage of the hovercraft and connecting all electronics. Research of hovercraft controlling type goes along with connecting electronics. Whole controlling is created with a mini computer Arduino mega and its connection with other electronics (2 engines, 1 servo motor, Bluetooth module). It is necessary to write a good code and create a program for controlling every electronic component to set the hovercraft in motion.

Output of my bachelor thesis is the test (experiment) when the hovercraft is set in motion, and its speed is measured. In addition, its driving on different types of surfaces and ability to change direction how the driver wants are tested.

**Key words:**

hovercraft, Arduino, controlling, RC model, 3D printing, engine, servo motor

# 1. Úvod

## 1.1. Cíl práce

Cílem této práce je vyřešit mechaniku, elektroniku a řízení modelu vznášedla tak, aby člověk, který chce vznášedlo ovládat byl schopný vznášedlo zvednout nad zem a dostat ho do pohybu. O zvednutí nad zem o určitou vzdálenost se postará první motor. Druhý motor je určený k pohybu vznášedla. Dále je součástí modelu servo motor, díky kterému může vznášedlo manévrovat v prostoru. Pokud všechny elektronické komponenty vznášedla budou fungovat správně díky naprogramovanému řízení a jeho celková mechanika bude navržena tak, aby vše drželo jako komplet, bude vznášedlo schopné pohybu a splní požadovaný cíl bakalářské práce.

## 1.2. Volba tématu

Toto téma jsem si zvolil primárně z toho důvodu, že jsem jako malý chtěl vytvořit nějaký model auta, letadla, lodě a podobných věcí a chtěl ho dostat do pohybu. Používal jsem pro tvorbu modelů například stavebnici značky LEGO, ke které jsem přidělával akumulátory s motory pro uvedení modelu do pohybu. Vždy jsem se snažil o to, abych si tyto modely mohl sám upravovat nebo abych si je mohl celé sám postavit.

Nikdy mě zcela neuspokojovala koupě již předem vytvořeného modelu na ovládání nebo koupě modelu, který jsem si mohl sice sám sestavit, ale nebyla možnost uvést jej do pohybu. Zkrátka sériově vyráběné modely jako hračky pro děti nikdy nebyly přesně to, co jsem potřeboval.

Toto téma závěrečné práce se jeví jako perfektní příležitost si moje dávné sny splnit a zároveň se naučit, jak navrhnout funkční RC model s naprogramovaným řízením pomocí vývojového prostředí Arduino.

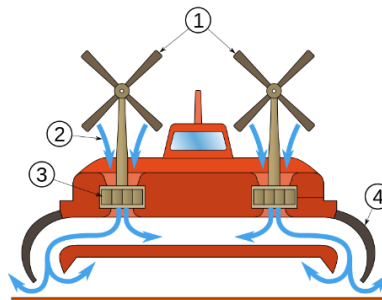


## 2. Rešerše

### 2.1. Co je to vznášedlo?

V prvotních začátcích mého rozmýšlení nad konstrukcí modelu bylo nutné si uvědomit, jak vlastně takové vznášedlo vypadá a funguje doopravdy.

Vznášedlo je dopravní prostředek pohybující se na vzduchovém polštáři těsně nad vodní hladinou nebo nad povrchem Země. Vzduchový polštář je vytvářen proudem vzduchu, který je dmychadly vháněn pod vznášedlo otvory ve dně trupu. Většina vznášedel má po celém obvodu pružnou manžetu, která se naplňuje vzduchem a brání rychlému unikání vzduchu vháněného pod vznášedlo. Díky tomu vzniká pod vznášedlem trvalý přetlak, který udržuje celý stroj nad hladinou či pevninou. Pohyb vznášedlům zajišťují mohutné vrtule, které bývají instalovány v zadní části stroje. [1]



Obrázek 1 Schéma fungování vznášedla [1]

### 2.2. Historie

Patent na konstrukci revolučního dopravního prostředku, pohybujícího se na vzduchovém polštáři, byl udělen před 65 lety anglickému vynálezci Christopheru Cockerellovi. [2] Když pak první vznášedlo přeplulo kanál La Manche, psalo se o automobilech bez kol i o expresech klouzajících se na tenké vzdušné vrstvičce rychlostí letadel. Velká Británie byla na Cockerella velmi hrdá, a tak ho královna Alžběta II. povýšila do šlechtického stavu a jeho zvláštní mosazný čajník, na kterém téměř deset let zkoušel vlastnosti vzduchového polštáře, je vystaven v Námořním muzeu v Londýně. Cockerell měl v minulosti mnoho předchůdců, kteří se snažili zmenšit odpor plavidel vzdušným polštářem, například G. Laval, který je vynálezcem parní turbíny. Dalším byl K. E. Ciolkovskij, který podložil aerodynamickými výpočty svou práci Odpor vzduchu a rychlovlak a o vývoj na vzduchu klouzajících člunů se pokoušely školy A. N. Tupoleva a B. N. Jurjeva. Praktické výsledky však vážly na neúměrné ztrátě vzduchu z vytvářeného polštáře. Teprve Cockerell je dokázal snížit pomocí pryžových manžet pod trupem plavidla či jiného dopravního

prostředku bez kol. U nejmenších vznášedel jsou sektory manžet ovladatelné a reaktivní síla vypouštěného vzduchu je využita k dopřednému pohybu, nebo k libovolnému směru "jízdy" vznášedla. První Cockerelova vznášedla, označovaná dodnes jako "hovercrafty" vyjížděla z loděnice Saunders-Roe na ostrově Wight, což byla divize letecké společnosti Westland Aircraft. Ověřovací prototyp SROV.N-1 (SR.N-1) byl po celé týdny předváděn na Temži v Londýně. Při hmotnosti 27 tun, poháněn vrtulí letecké turbíny o výkonu 750 kW, mohl vzít do společné kabiny až padesát osm cestujících. Dne 25. července 1959 rychlostí až 120 km/h překonal SR.N-1 vlny lamanšského průlivu mezi Doverem a Calais. [2]



Obrázek 2 SR.N-1 [3]

### 2.3.Použití

Westland rozběhl jejich sériovou výrobu v Anglii i v Kanadě. Většinou byly nasazovány jako převozní rychlé čluny v zátokách ve Skotsku., Itálii a Kanadě. Menší sedmitunové typy SR.N-5 pro cestující získaly oblibu jako pobřežní hlídkové nebo záchranné rychlé čluny. Jejich vysokou průchodnost i v močálech a na sněhu začali využívat geologové i lékařské služby v řídké obydlených nehostinných oblastech severských krajů. Rychlost až 110 km/h byla vykoupena spotřebou 330 litrů leteckého petroleje na sto kilometrů. [2]



Obrázek 3 SR.N-5 [4]

#### 2.3.1. Armáda

US. Navy a Britské královské námořnictvo má flotilu přepadových a transportních (nákladních) vznášedel. Vysadková vznášedla LCAC (Landing Craft Air Cushion) jsou

schopná přepravovat až šedesáti tunové náklady do těžce přístupných oblastí s močály, sněhem, a ledem. Naprostou prioritu si vojenská vznášedla vysloužila v roli minolovek (válečná loď, která je určena k odklizení námořních min, ničení minových zátarasů a k ochraně bojových lodí a konvojů [5]). Jsou nezranitelná torpédy, a protože nemají žádnou část ponořenou pod hladinu, mohou odhalovat a zneškodňovat akustické či magnetické miny. [2]



Obrázek 4 Americké vojenské výsadkové vznášedlo třídy LCAC [1]

### 2.3.2. Rekordy

Na přelomu 60. a 70. let probíhaly ve Francii pokusy s vlakem pohybujícím se na vzduchovém polštáři. Osobní vůz projektu Aerotrain, vyvíjený pod vedením Jeana Bertina, dosáhl průměrné rychlosti 417,6 km/h a maximální 430 km/h. To je dosud rychlostní rekord vozidel pohybujících se na vzduchovém polštáři. [1]



Obrázek 5 Aerotrain 02 [6]

### 2.3.3. Současnost

Vznášedla momentálně nejsou rozšířeným dopravním prostředkem. Většímu rozšíření vznášedel v minulosti bránily jejich vysoké provozní náklady (obrovská spotřeba paliva) a často dost omezený dosah. Vývoj moderních pohonných jednotek o vysokém výkonu při nižší spotřebě paliva a rozsáhlé využití lehkých materiálů (hlavně kompozitů) při jejich výrobě ovšem vede ke snižování celkových provozních nákladů. [1] Tyto výhody ale převažují pouze u vznášedel menších rozměrů a také u takových, které nejsou využívány ve

velkém množství v průmyslu. Dále se totiž projekty velkých vznášedel v podobě "plovoucích měst" nebo gigantických nákladních plavidel schopných rychlostí až 200 km/h konkurovat zaoceánským lodím, sice občas objevují, ale vzhledem k celosvětovému trendu zdražování leteckého paliva pro turbíny, ztrácejí jakékoli naděje na realizaci. [2]

#### 2.4. RC (radio-controlled) model

Po prostudování příslušných podkladů o tom, jak funguje a vypadá opravdové vznášedlo jsem se mohl pustit do rešerše RC modelu samotného. Primární inspirací této práce byl internet. V průběhu rešerše jsem prošel velké množství zdrojů, abych byl schopný představit si a vymyslet, jak bude můj model finálně vypadat. Narazil jsem převážně na modely vznášedel zkonstruované z plastu, ale někdy také obsahovaly dřevěné součásti viz obrázky níže.



Obrázek 6 Vznášedlo inspirace [7]

Tento typ vznášedla obsahuje dřevěnou součást, mimo těch plastových (polystyrenových). Zřejmě zde bylo výhodnější použít na uchycení vrtule pro nafukování spodního vaku dřevěnou součást, kvůli menší pružnosti, než má plast, pro zajištění lepší stability vrtule. Zjistil jsem také, že toto vznášedlo bylo řízeno rádiově. Ovladač, který byl použit pro řízení vznášedla byl stejný jako ten, který se používá při hraní her na konzoli Playstation 3. Pro zpracování signálu a zprostředkování celkového řízení byl použit počítač Arduino.

Už při nalezení tohoto zdroje inspirace mi bylo jasnější, jak model vznášedla bude fungovat a jakým způsobem ho zvednout nad zem. Zde je použit spodní nafukovací vak pod celým vznášedlem bez přerušení. Tudíž paluba vznášedla leží celá na nafukovacím vaku.

Mou další inspirací bylo vznášedlo typu viz obrázek níže.



Obrázek 7 Vznášedlo inspirace [8]

Toto vznášedlo je zkonstruováno z polyethylenové pěny a z termoplastů, takže je tento model celý zkonstruovaný pouze z plastu. Plastová konstrukce může být velkou výhodou, díky malé váze celého vznášedla po sestavení. Pro motor je poté jednodušší nafouknout celý vak pod vznášedlem a vznášedlo zvednout nad zem. Tento fakt jsem zařadil mezi rozhodující ve volbě materiálu všech součástí vznášedla. Dále zde [8] bylo uvedeno mnoho konkrétních údajů o vznášedle, například jeho délka, hmotnost, typy motorů, rychlost, a tak dále. Tyto konkrétní hodnoty také napomohly k tomu, abych přibližně věděl, jak vznášedlo navrhnout.

Jako finální inspiraci jsem použil model vznášedla, opět viz obrázek níže.



Obrázek 8 Vznášedlo inspirace [9]

Poté, co jsem objevil tento zdroj, jsem věděl, že mé vznášedlo bude vypadat určitě velmi podobně. Na této stránce je kompletně vypsán seznam všech potřebných elektronických komponent, a dokonce i spojovacího materiálu (šroubů). Celé vznášedlo bylo navrženo podle autora pro jednoduchý 3D tisk a také celkovou montáž. Není zde potřeba žádného lepidla, vše drží pomocí šroubových spojů a zámečků ("zacvaknutí"). Všechny elektronické komponenty jsou na vznášedle uloženy tak, aby je při případné opravě nebo náhradě bylo možné jednoduše odebrat z modelu vznášedla.

Vzhledem k stabilitě smontovaného kompletu se autor vyjádřil následovně: „As you can see from the photos I have flown it quite a bit to test out it's capabilities and strength. I've flipped it a few times on pavement, rolled it a dozen or so and have run into many hard objects at a reasonable speed without sustaining major damage (a few scratches and dings so far), but a solid hit at full speed is likely to do a bit more damage.“ [9]. Lze tedy jednoduše konstatovat, že model je po smontování celkem bytelný a je schopný vydržet i menší nárazy bez jakéhokoli fatálního poškození. Až při nárazu v plné rychlosti může dojít k většímu poškození modelu vznášedla. Vznášedlo je prý možno použít i na nerovném povrchu, což je velkou výhodou, pokud nechceme vznášedlo používat jen v uzavřených prostorách (budovách) na rovném povrchu, ale chceme se vznášedlem vyrazit také do terénu. Jediné, co tomuto modelu chybí je kryt na elektroniku, která se nachází převážně na palubě. Kryt by mohl chránit elektroniku před vnějšími vlivy, které by způsobily její poškození. Tyto vlivy jsou například voda nebo prach s nečistotami z okolního prostředí.

Model se stal mou finální inspirací už jen z toho důvodu, že je celý z plastu a všechny jeho hlavní součásti, ze kterých je zkonstruovaný jsou vytisknuté na 3D tiskárně. Takový typ výroby jsem zvolil také, protože strojní fakulta ČVUT v Praze, kterou navštěvuji 3D tiskárny vlastní. 3D tiskárny jsou tedy pro mou práci dobře dostupné.

### **3. Vlastní konstrukce**

#### **3.1. Inspirace mechaniky**

V průběhu promýšlení mechaniky modelu vznášedla je v první řadě nejdůležitější navrhnout největší součásti, které následně tvoří základní tvar celého vznášedla. Tyto součásti jsou spodní platforma a paluba, na které leží zbytek ostatních součástí a veškerá elektronika. Vzhledem k tomu, že mou primární inspirací bylo vznášedlo, jehož součásti jsou vytisknuty na 3D tiskárně, zvolil jsem si pro tyto 2 hlavní komponenty velmi podobný vzhled a tvar.

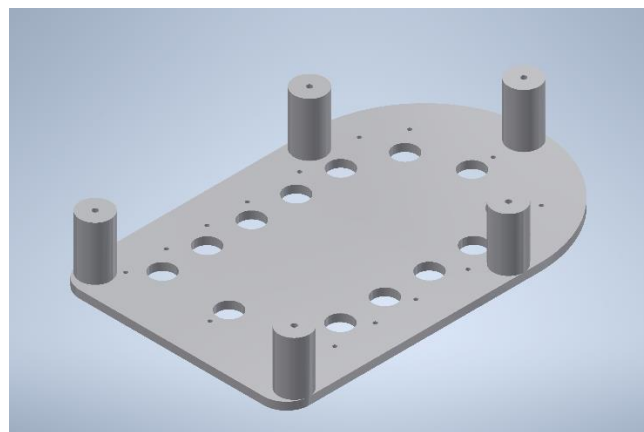
##### **3.1.1. Spodní platforma**

Tato součást je navržena takovým způsobem, že se skládá z pěti sloupků, které slouží k přišroubování paluby vznášedla. Uprostřed platformy se nachází určité množství děr, díky nimž se při procházejícím vzduchu v prostoru mezi palubou a spodní platformou vznášedlo může zvedat nad zem a vznášet pouze na nafouknutém vaku. Vznášedlo se zvedne díky odraženému vzduchu od povrchu, kde se vznášedlo právě nachází. Je nutné, aby se vznášedlo nacházelo na převážně rovném povrchu kvůli rovnoměrnému odrazu vzduchu. Když se

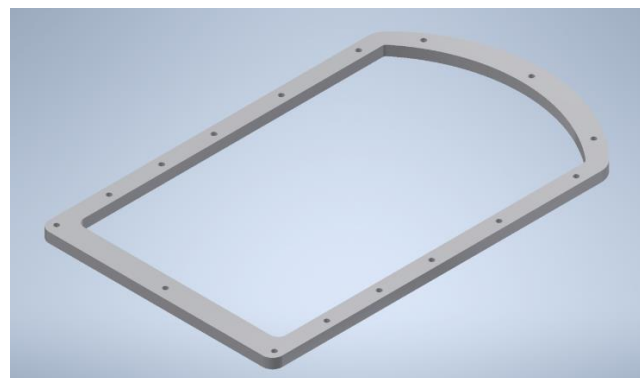
například vznášedlo nachází na hladině vody, je možnost, že se za nějaký čas překloupí a potopí se. Na vodní hladině je to způsobeno tím, že povrch hladiny je nerovnoměrný kvůli menším vlnkám, a tak se vzduch neodráží rovnoměrným způsobem a vznášedlo se následně překloupí. Vybral jsem si tento typ nafukování vaku mezi palubou a spodní platformou, který tedy zároveň zvedá vznášedlo nad zem a nafukuje vak, který následně izoluje vzduch, který proudí dírami o povrch země tak, aby se vznášedlo zvedlo nad zem a vzduch hnaný pod vznášedlo neunikal tolik do okolí.

V poslední řadě se na spodní platformě nachází otvory pro našroubování spodního úchytu vaku, který jsem také navrhl.

Podobný typ spodní platformy byl použit i u mého primárního zdroje inspirace. Názorné foto, mnou navržené spodní platformy viz níže.



Obrázek 9 Vlastní návrh (spodní platforma)



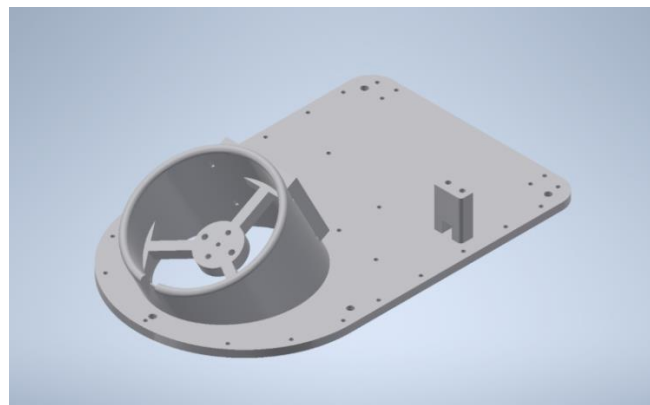
Obrázek 10 Vlastní návrh (spodní úchyt vaku)

### 3.1.2. Paluba

Druhou nejdůležitější součástí je paluba. Paluba slouží k uložení a propojení všech ostatních součástí a elektroniky. Její tvar a konstrukce je navržena tak, že obsahuje v přední části kruhovitý otvor nakloněný pod 62 stupni. Tento otvor slouží k uchycení motoru s vrtulí,

kteřá díky svému tahu vzduchu nafukuje spodní vak a zvedá samotné vznášedlo nad zem. Na palubě se dále nachází sloupek pro správné uchycení servo motoru v zadní části, ke kterému se následně připojí i kryt pro zadní vrtulí. Dále je zde připravena plošina pro uchycení přijímače. Z důvodu ušetření místa na palubě byla zvolena zadní strana tubusu s vrtulí, kde bude přijímač uchycen stahovacími pásky. V poslední řadě jsou na palubě všude, kde je potřeba, připravené díry pro připojení dalších součástí vznášedla. Jedná se o tyto součásti: spodní platforma, horní úchyt vaku, kryt vrtule a Arduino Mega (počítač).

Mnou vytvořený návrh paluby viz obrázek.



Obrázek 11 Vlastní návrh (paluba)

Jedna z věcí, které byly nejsložitější pro promyšlení bylo uložení motoru s vrtulí. Nejdříve jsem přišel s návrhem pouze I profilů, které v kruhovitém otvoru drží prostřední pošinu pro připojení motoru. Po následném prokonzultování s vedoucím práce jsem si uvědomil, že bude pro pevnost celé vnitřní konstrukce kruhovitého otvoru lepší, když bude zvolený T profil. Po 3D tisku by se totiž samotný I profil mohl zlomit nebo poničit, a tak by nebyla zajištěna jeho správná pevnost a funkčnost.

Jakož tomu bylo i u spodní platformy, i zde je nutný úchyt vaku, který bude zaujímat místo po většině obvodu paluby. Tento úchyt bude zajišťovat vrchní neprodyšnost vaku, aby nebyl možný únik vzduchu a vak vznášedla se správně a rovnoměrně nafoukl.



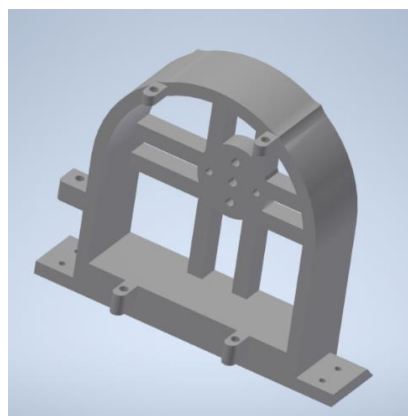


Obrázek 12 Vlastní návrh (vrchní úchyt vaku)

Dalšími velmi důležitými součástmi jsou kryt na vrtuli a zadní klapky pro změnu směru jízdy vznášedla. Poslední dvě součásti vytisknuté na 3D tiskárně budou sloužit k propojení klapky a servo motoru.

### 3.1.3. Kryt na vrtuli

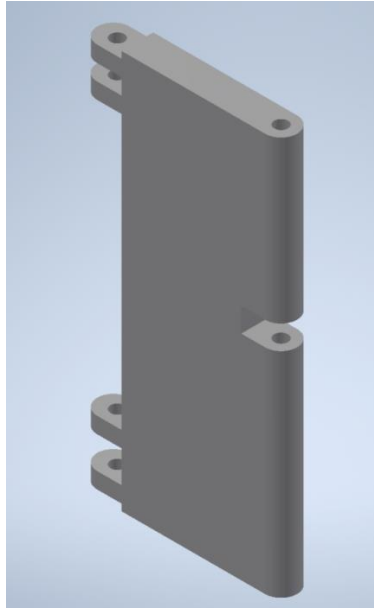
Díky krytu na vrtuli je vznášedlo schopno pohybu. Je to z toho důvodu, že v této součásti je uchycený druhý motor s vrtulí. Dále jsou zde přidělané dvě klapky pro změnu směru proudu vzduchu, který vrtule nasává z okolí. Tato součást bude přišroubována na zadní straně paluby, kde bude uchycena čtyřmi šrouby. Vzhledem k této součásti jsem její tvar a uchycení k palubě řešil vlastním způsobem s minimální inspirací, protože jak je vidět na obrázku 3 *Vznášedlo inspirace [3]*, zde je tato součást připojena pouze zacvaknutím určitých drážek do paluby.



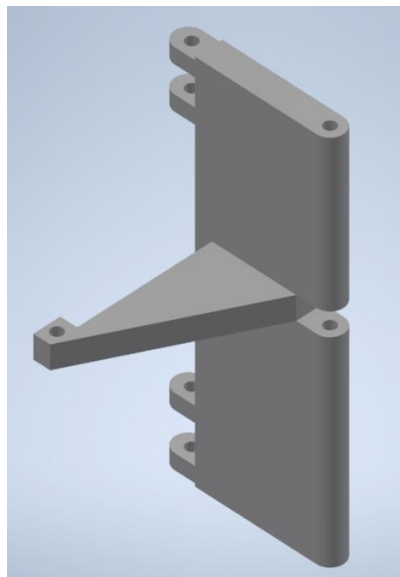
Obrázek 13 Vlastní návrh (kryt vrtule)

Klapky jsou navrženy velmi podobně, jako model, kterým jsem se inspiroval. Klapky jsem pojmenoval Klapka samostatná a Klapka pohyb. Klapka samostatná je klasická klapka podélného tvaru bez dalších výstupků. Klapka pohyb je naopak klapkou, která zajišťuje pohyb obou klapky jako celku. Tato klapka je připojena na servo motor přes trojúhelníkovitou

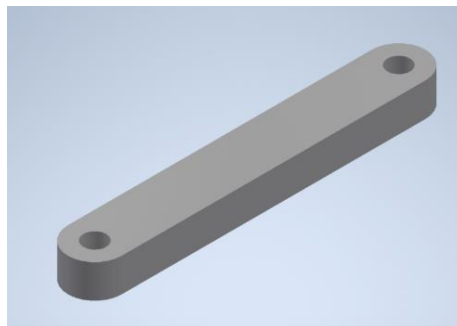
část na boční straně. Trojúhelníkový tvar má z důvodu přenášené tažné síly, která musí být schopna klapku natočit.



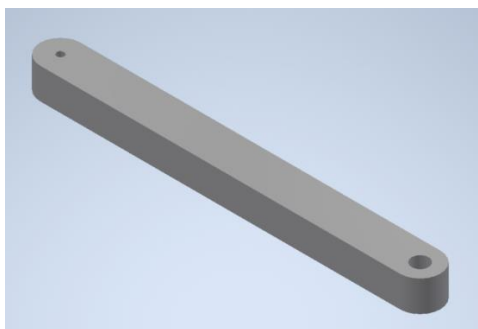
Obrázek 13 Vlastní návrh (Klapka samostatná)



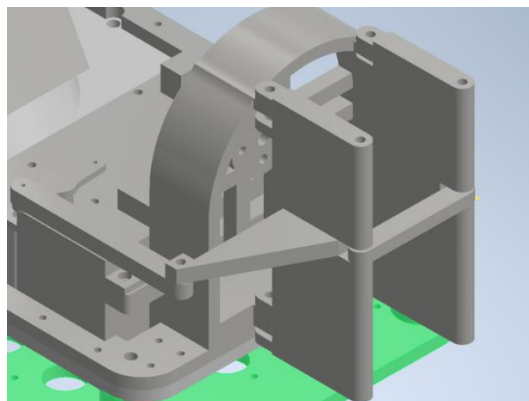
Obrázek 14 Vlastní návrh (Klapka pohyb)



Obrázek 15 Vlastní návrh (spojka klapky)



Obrázek 16 Vlastní návrh (spojka servo)



Obrázek 17 Vlastní návrh (spojení klapky-servo)

Při navrhování krytu vrtule bylo nutné znát průměr vrtule, aby se do krytu bezpečně vešla a nezadrhávala se o stěnu krytu. Jak jsem zjistil, rozměry vrtulí se udávají v palcích. Je tomu vždy tak, že je vrtule popsána dvěma rozměry a označení obsahuje vždy dvě čísla a občas i písmeno, pro upřesnění použití. První číslo představuje hodnotu průměru vrtule. Druhé číslo označuje hodnotu stoupání vrtule, což si můžeme představit jako hloubku zavrtání vrtule do vzduchu o jednu otáčku. Za prvé bylo nutné vědět, jaký je převodní poměr mezi rozměrem palce a klasickou metrickou jednotkou při výběru vhodné vrtule.

- Převod: 1“=2,54cm [10]

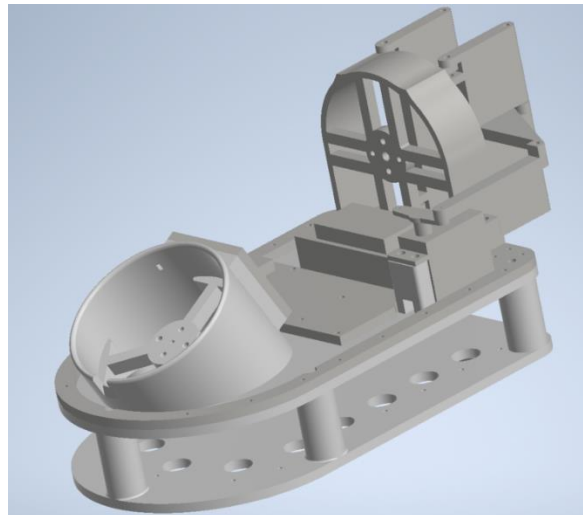
Za druhé bylo potřeba najít takovou vrtuli, která by odpovídala navrženému průměru 8 cm. Průměr 8 cm byl použit, protože je to nejpříjemnější velikost vrtule, která se hodí k celkové velikosti modelu vznášedla. Má volba vrtule je tedy viz tabulka níže.

Vrtule	rozměr [palce]	rozměr [cm]
FOXY Indoor 3x3	3x3	7,62x7,62

Tento rozměr vrtule byl zároveň ten nejmenší, jaký jsem byl schopen nalézt. Tyto nejmenší rozměry vrtulí se mi nejlépe hodily k celkovým rozměrům vznášedla.

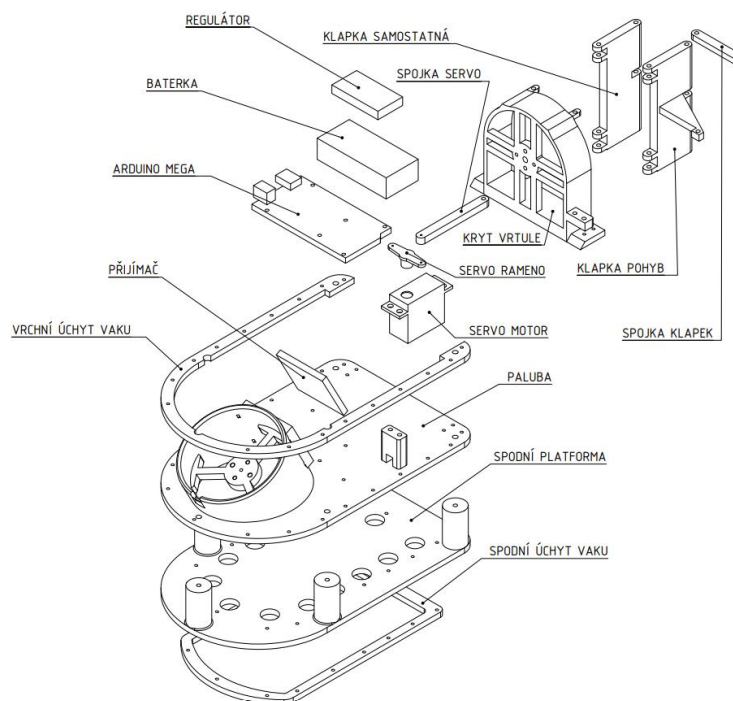
### 3.1.4. Celé vznášedlo

Konečný výstup mého návrhu je model vznášedla poskládaný jako celek. Veškeré mnou navržené komponenty jsem připojil k sobě v programu Autodesk Inventor. Sestavu jsem sestrojil prozatím bez spojovacího materiálu (šrouby, stahovací pásky, suchý zip)



Obrázek 18 Model vznášedla jako komplet

Kvůli správnému rozložení místa všech komponent vznášedla, jsem musel vytvořit tvary některých elektronických součástí, které budu pro můj model používat. Tyto součásti jsou: regulátor, Arduino mega, akumulátor (baterka), servo motor, jeho rameno a přijímač. Detailněji jsou komponenty vidět v rozpadu sestavy níže.



Obrázek 19 Rozpad sestavy vznášedla

## 3.2. Inspirace elektroniky

Základní inspirace toho, jaká elektronika je nutná použít byla čerpána také až z posledního zdroje *3 Vznášedlo inspirace* [9], na který jsem narazil při rešerši. Odtud jsem si odnesl ideu dvou motorů a jednoho servo motoru. Jedná se o motory používané pro nafukování vaku, zvednutí vznášedla nad zem a pro pohyb. Servo motor je následně používán pro pohyb klapky. Zbytek elektroniky jsou akumulátor, dva regulátory, přijímač signálu řízení a mini počítač Arduino mega. Tyto poslední elektronické součástky už nebyly použity v modelu, kterým jsem se inspiroval, ale je to má vlastní přidaná hodnota.

### 3.2.1. Motory

Motory musejí být dostatečně silné na to, aby jeden z nich byl schopný nafouknout vak, zvednout vznášedlo a druhý uvést vznášedlo do pohybu. Motory používané do R/C modelů mají různé hodnoty parametrů, ale pro mě byla nejdůležitější hodnota jejich rychlosti. Hodnota této rychlosti se udává v jednotkách [kV] nebo také [rpm/V]. Například pokud bychom měli motor, který má 1000 kV, znamená to, že jeho rychlost je 1000 otáček na volt. V případě druhého označení jednotek 1000 rpm/V, to znamená totéž. Rpm = round per minute. Takže kdybychom k takovému motoru měli akumulátor s výstupem 12 V, motor by se točil cca na 12000 otáček.

Inspirace, kterou jsem si odnesl je taková, že bude nejlepší mít oba motory stejně rychlé nebo ten nafukující připojený na palubě silnější/rychlejší. Rozdílné rychlosti motorů by byly z toho důvodu, že ten, který nafukuje vak zároveň zvedá celé vznášedlo i s elektronikou nad zem, takže by měl být správně silnější.

Ve videu [11] byly použity motory typu brushless, se stejnými hodnotami rychlostí 2300kV. Já, vzhledem k možnostem a doporučení vedoucího práce jsem použil jeden motor silnější, s rychlostí 4200kV, pro nafukování a jeden motor slabší, s rychlostí 1200kV, pro pohyb. Oba motory zvolené pro můj model jsou stejného typu (brushless).



Obrázek 20 Brushless motor pro nafukování [12]

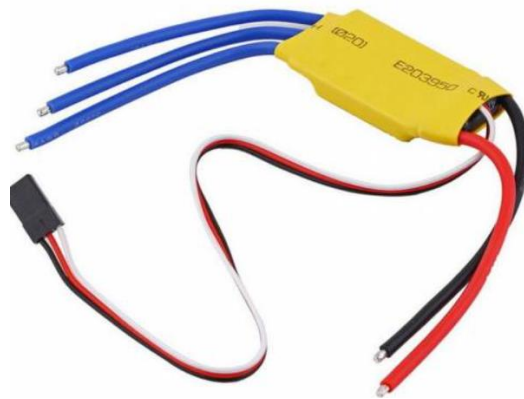


Obrázek 21 Brushless motor pro pohyb [13]

V mém případě je nutné ještě použít pro uchycení vrtule na hřídeli unašeč. Jsou i možnosti, kde se dá použít matice a závit, ale hřídel s unašečem je také přijatelná možnost.

### 3.2.2. Regulátory

K oběma motorům bylo nutno použít regulátory. Regulátory jsou potřeba, protože motory fungují na střídavý proud a regulátory nám umožňují měnit (regulovat) otáčky motoru. Funguje to tak, že se regulátor připojí do přijímače a jsme schopni přes ovladač řídit oba motory. Další možností může být připojení regulátoru do mini počítače Arduino mega a přes něj motory ovládat.



Obrázek 22 Regulátor [14]

### 3.2.3. Akumulátor

Akumulátor, který je použitý u modelu ve videu [11] je akumulátor, který má čtyři články a 1800 mAh. Po konzultaci s vedoucím práce jsem usoudil, že pro můj model a správné fungování vznášedla bude stačit akumulátor tří článkový s 1300mAh. Akumulátor napájí veškerou elektroniku, která se v modelu vyskytuje. Akumulátor musí být tedy schopný napájet motory tak, aby dosáhly potřebných hodnot otáček pro celkový pohyb vznášedla. Dále napájí servo motor pro pohyb klapek, Arduino mega a přijímač.



Obrázek 23 Akumulátor XW 1300mAh [15]

### 3.2.4. Servo motor

Pro pohyb klapky byl použit servo motor. Tento způsob pohybu klapky je ten nejpříjemnější, který se dal použít. Vlastně mě ani nenapadají žádné jiné takhle přijatelné možnosti pohybu klapky. Je mnoho typů servomotorů různých velikostí. V mém případě jsem použil servo motor větších rozměrů, než je použito ve videu [11]. Je to servo motor, který je přímo určený pro Arduino počítače.



Obrázek 24 Servo motor [16]

Krouticí momenty pro servo motor viz tabulka níže.

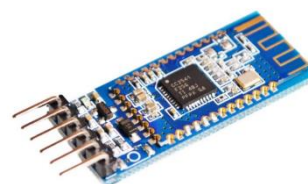
Napájení [V]	4,8	6
Krouticí moment [kg·cm]	13	15

### 3.2.5. Přijímač

Jako přijímač, který přijímá signál například z ovladače, počítače nebo mobilního telefonu jsem použil Bluetooth přijímač. K tomuto přijímači se stačí připojit pomocí Bluetooth a díky předem definovaným příkazům v programovém prostředí Arduino lze ovládat elektronické komponenty na vzdálenosti přibližně deseti metrů.



Obrázek 25 BLE V1.0, první testovaný přijímač [17]



Obrázek 26 Bluetooth 4.0 modul AT-09 BLE [18]

### 3.2.6. Arduino mega

Pro propojení a ovládání již zmíněné elektroniky jsem zvolil mini počítač Arduino mega. Tato vývojová programovací platforma slouží k nahrání programu řízení vznášedla a zprostředkovává ovládání elektrických komponent. Na vznášedle je napájena z akumulátoru

a přes USB 2.0 kabel se do ní nahrává řídicí program. Všechny elektrické komponenty jsou propojeny originálními kabely od Arduina a napojeny do příslušných pinů na platformě.



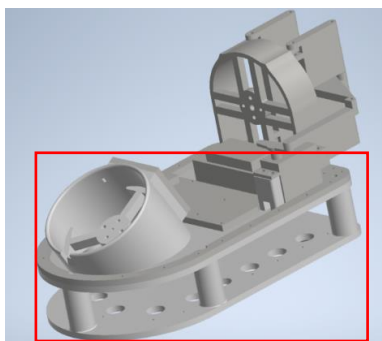
27 Arduino Mega [19]

### 3.3. Problémy s konstrukcí

Až po prvním smontování celé sestavy vznášedla a po započítí prvních testů jsem zjistil, jak bude navržený koncept fungovat a jestli jeho funkčnost bude dostatečná pro provedení veškerých testů. Mé největší obavy se týkaly samotného odlepení se vznášedla od země, aby se mohlo dále pohybovat. Bez této funkce by bylo vznášedlo nepoužitelné.

Skutečnost, že by se vznášedlo ze země nezvedlo mohla zapříčinit například jeho velká hmotnost nebo špatná konstrukce paluby a jeho spodní části. Mezi palubou a spodní částí je totiž prostor, v kterém se akumuluje vzduch a nafoukne se celý vzduchový vak kolem a pod vznášedlem.

V průběhu montáže a prvního pokusu o nafouknutí vaku jsem zjistil, že hmotnost nebude problém, ale problémem bude můj návrh konstrukce vznášedla. Musel jsem tedy promyslet změnu paluby a spodní části a přišel jsem na zásadní věc. Chybou byla stejná šířka i délka paluby a spodní platformy, respektive stejný celkový tvar paluby a spodní platformy vznášedla viz obrázek.



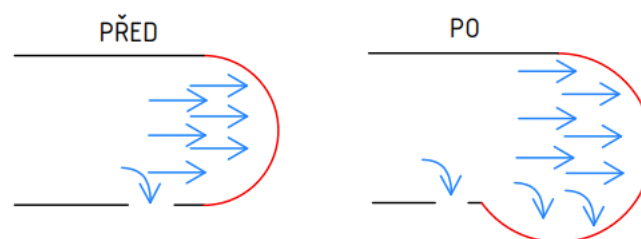
Obrázek 28 Porovnání spodní a vrchní platformy



Obrázek 29 Porovnání spodní a vrchní platformy (skutečnost)

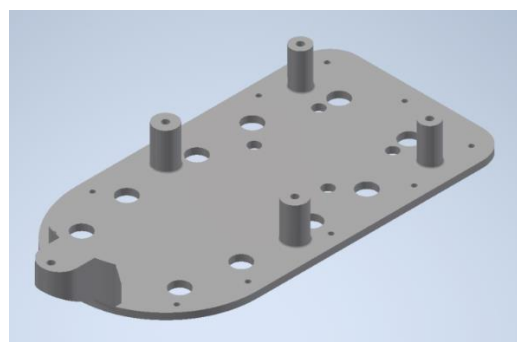


V červeném rámečku je jasně vidět, že plochy jsou vzhledem k jejich obvodu naprosto totožné. Při takové konstrukci dochází k problému koncentrace hnaného vzduchu mezi platformami. Což v daném případě znamená, že se vzduch nekonzcentruje pod vznášedlo, aby vznášedlo mohl zvednout, ale dostává se pouze do stran a tvoří kolem vznášedla takový “prsteneček“. Tento vzduchový “prsteneček“ je pouze akumulovaný vzduch kolem vznášedla a vznášedlo tím pádem pořád pevně stojí na podlaze. Bylo tedy nutné celou spodní platformu zmenšit tak, aby paluba na každém místě svého obvodu měla určitý přesah oproti obvodu spodní platformy. Na následujícím obrázku je vidět jakým způsobem se vzduch akumuluje ve staré verzi vznášedla a jak v nové.

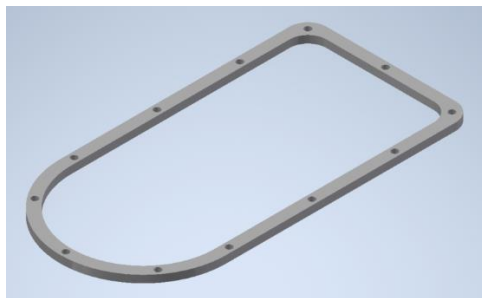


Obrázek 30 Akumulace vzduchu

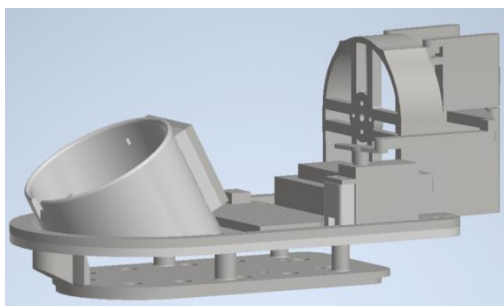
Po navržení nového tvaru spodní platformy se problém zvedání vznášedla nad zem vyřešil, protože se vzduch ve vaku správně naakumuloval pod vznášedlo. Změna velikosti spodní platformy ale nebylo to jediné, co bylo potřeba upravit. Nutné bylo také redukovat počet vypouštěcích děr na vzduch a změnit jejich rozmístění. Největší koncentrace vypouštěcích děr se nachází v zadní části tohoto podvozku. Je tomu tak z toho důvodu, že zadní část je ta nejtěžší na celém vznášedle kvůli akumulátoru, motoru s vrtulí a celému jejímu krytu na vrtuli s klapkami. V této zadní části je potřeba většího proudění vzduchu. Pro lepší představu těchto úprav jsou umístěny obrázky nových dílů viz níže.



Obrázek 31 Nová spodní platforma (podvozek)

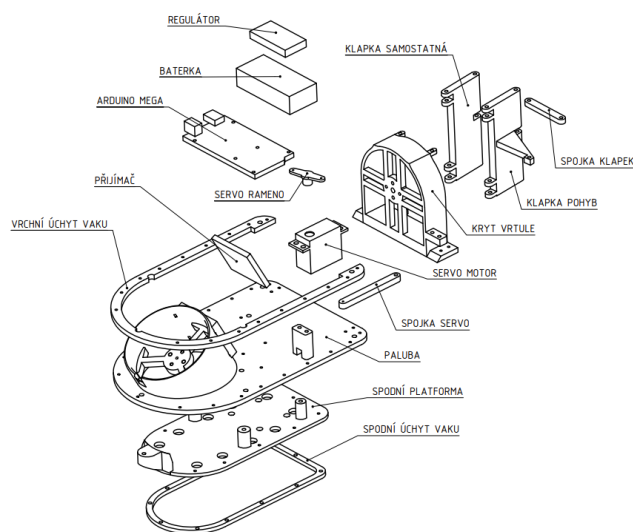


Obrázek 32 Nový spodní úchyt vaku



Obrázek 33 Vznášedlo jako komplet (nový)

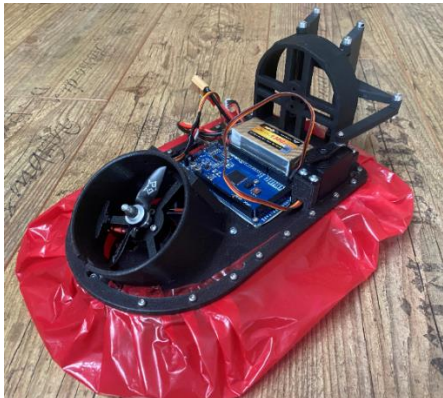
Pro úplnost zde příkládám i celkový rozpad nové sestavy vznášedla.



Obrázek 34 Finální rozpad sestavy vznášedla

S touto úpravou je již celková mechanika vznášedla kompletně hotová, až na umístění některé elektroniky (motory a regulátory). Pro novou spodní platformu jsem díry do paluby vyvrtal ručně, abych zamezil dalšímu zbytečnému tisku jen kvůli pěti otvorům. Jednou z posledních věcí, kterou bylo nutno vyřešit je z čeho bude vytvořen vzduchový vak vznášedla. Pro vak byl použit plastový antistatický pytel na odpadky. Tento vak by měl vydržet i pohyb na nerovném povrchu bez protržení.

V závěru kapitoly, která se týká vlastní konstrukce doplním fotografie smontovaného modelu vznášedla i s vakem pro nafukování.



Obrázek 35 Smontované vznášedlo (1)



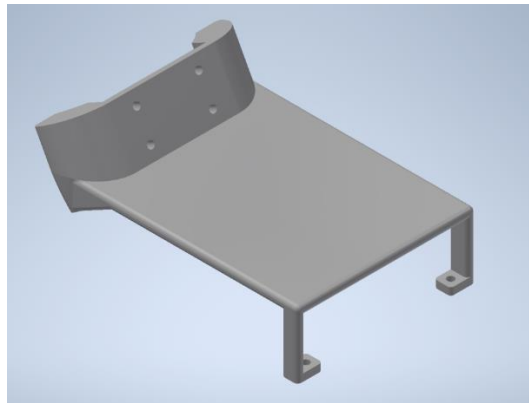
Obrázek 36 Smontované vznášedlo (2)

### 3.4. Poslední úpravy konstrukce

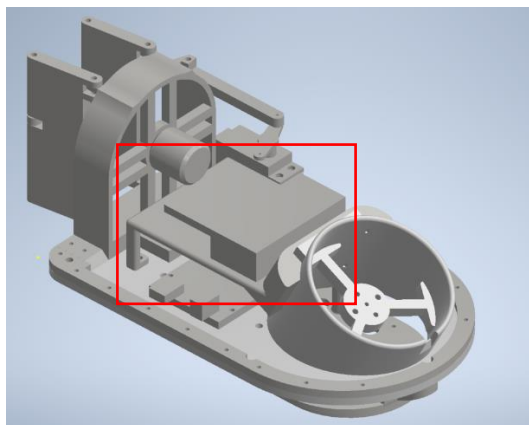
V poslední řadě jsem se rozhodl pro finální úpravy konstrukce vznášedla. Vzhledem k momentálnímu rozložení váhy samotného vznášedla s konstrukcí viz předešlá kapitola jsem usoudil, že by bylo potřeba akumulátor přesunout blíže k přední části celé paluby. Při testech s nafukováním vaku pod vznášedlem bylo patrné, že je zadní část o mnohem těžší než ta přední. Po zapnutí motoru pro nafukování vaku se nejdříve nafoukla přední část a až při zvýšení otáček motoru se zvedla část zadní. Abych tedy částečně předešel takovému nerovnoměrnému nafukování vaku, bylo nutné změnit polohu těžiště (posunout ho blíže do přední části vznášedla) a upravit celkovou hmotnost.

Na základě předpokladu, že se akumulátor musí přesunout do přední části vznášedla, jsem navrhl plošinu, která ponese akumulátor, Bluetooth přijímač a přesune polohu těžiště blíže k již zmiňované přední části. Tato plošina bude sloužit zároveň jako kryt pro počítač Arduino a regulátor připojený k motoru pro pohyb vznášedla. Zároveň se přiděláním plošiny na vznášedlo vytvoří dodatečná plocha pro lepší uspořádání a montáž veškeré elektroniky, která se nachází na palubě.

Ukázka tvaru a přidělení plošiny k vznášedlu viz další strana (27).



Obrázek 37 Plošina pro elektroniku



Obrázek 38 Plošina pro elektroniku na sestavě vznášedla

V druhé finální úpravě vznášedla bylo nutné znovu navrhnout a změnit kryt na vrtuli, obě klapky a jejich spojku. Navíc jsem také změnil celý servo motor. Vyměnil jsem ho za menší typ.

Zjistil jsem totiž, že takto navržený kryt na vrtuli s ostatními komponenty mají příliš malé rozměry. V prvotním koncepčním návrhu byla použita stejně velká vrtule jako u motoru pro nafukování vaku pod vznášedlem. Tento fakt ale způsoboval to, že vrtule pokrývala malou část celkové šířky paluby vznášedla. Díky tomu vrtule nemohla se vznášedlem po nafouknutí vzduchového vaku pohnout. Vrtule totiž nehnala vzduch po dostatečné ploše. Její rozměry byly zkrátka moc malé. Dalším faktorem nejspíše ovlivňujícím pohyb vznášedla bylo to, že vrtule byla z plastového materiálu. Při vysokých otáčkách motoru mohlo také dojít ke zkroucení vrtule, které zapříčinilo změnu množství a směru hnaného vzduchu. Došel jsem tedy k závěru, že bylo potřeba zvětšit průměr vrtule a v lepším případě změnit i hnací motor za silnější.

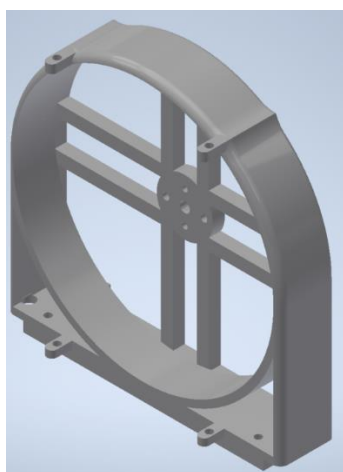
Součástí této finální změny bylo tedy to, že jsem slabší motor v zadní části vyměnil za silnější, respektive úplně stejný jako je ten, co nafukuje vak pod vznášedlem. Novou vrtuli

jsem vybral i s ohledem na to, aby byla vyrobena z jiného materiálu než je plast a byla uzpůsobena k použití na motorech s vysokými otáčkami. Původní vrtule byla tedy vyměněna za vrtuli s rozměry viz tabulka níže.

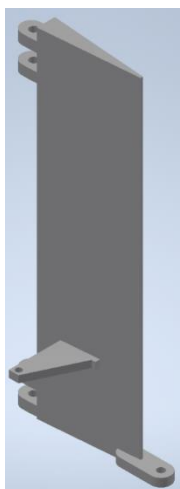
Vrtule	rozměr (palce)	rozměr (cm)
FOXY Carbon Speed	4,7x4	12x10

Velikost, o kterou jsem zvětšil průměr zadní vrtule oproti přední, jsou čtyři centimetry. Tato úprava zapříčinila tedy to, že díky větší vrtuli zadním krytem proudí více vzduchu a vznášedlo uvede do pohybu.

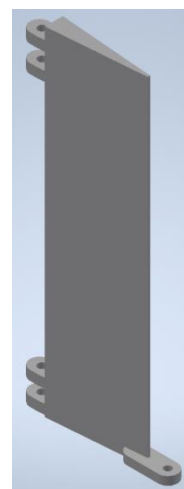
Obrázky změněných/vyměněných komponent viz níže.



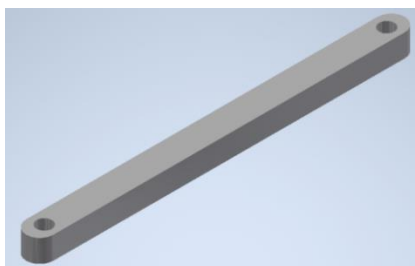
Obrázek 39 Nový kryt na vrtuli



Obrázek 40 Nová zadní klapka pro pohyb



Obrázek 41 Nová klapka samostatná



Obrázek 42 Nová spojka klapek

Jakožto nový servo motor byl použit Servo SG90 9g micro motor. Tento servo motor je výrazně menší než ten, který byl použit při prvním návrhu vznášedla. Navíc má menší krouticí moment, ale to v případě mého použití nepředstavuje žádný problém. Kvůli zvětšení průměru zadní vrtule bylo nutné starý servo motor vyměnit. Menší servo motor bude s klapkami spojený tenkým kovovým drátem. Takovýto spoj je zvolený z důvodu ušetření místa pro pohyb ramena servo motoru a pro umožnění dosáhnout větší úhel při rotaci klapek.

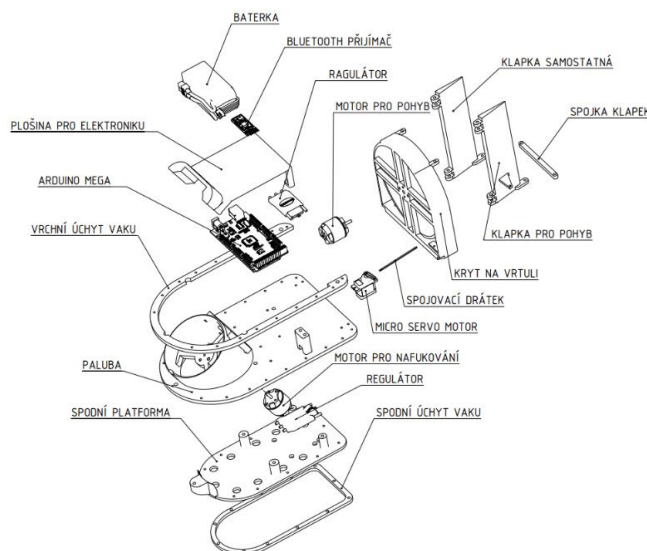


Obrázek 43 Servo SG90 9g micro motor [20]

Krouticí momenty pro servo motor viz tabulka níže.

Napájení [V]	4,8	6
Krouticí moment [kg·cm]	1,2	1,6

### 3.5.Finální rozpad celé sestavy vznášedla



Obrázek 44 Finální rozpad celé sestavy vznášedla

## 4. Elektronika a řízení

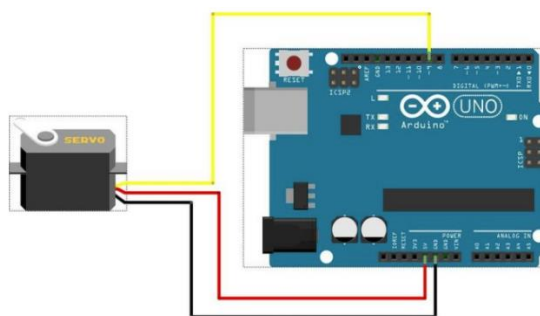
Jak jsem již zmiňoval v předešlé kapitole, pohyb vznášedla je zajištěn dvěma brushless elektro motory. Jedním s větším výkonem pro nafouknutí vaku a druhým s menším výkonem pro pohyb. Motory jsou poháněny tříčlánkovým lithiovým akumulátorem s 1300 mAh a pro pohyb klapky je použit servo motor. Všechny tyto elektronické komponenty jsou řízené mini počítačem Arduino MEGA. Arduino zprostředkovává veškeré řízení elektroniky, které je nejprve nutné naprogramovat v programovacím jazyce, který je specifický přímo pro Arduino počítače.

### 4.1. Začátky

Z počátku jsem neměl k dispozici Bluetooth přijímač, a tak jsem nemohl začít s úplným testováním řízení vznášedla. Musel jsem najít jiný způsob, kterým bych zjistil, že elektrické komponenty na vznášedle správně fungují a všechny správně plní svou funkci na vznášedle. Takže vznášedlo nešlo otestovat jako celek, nýbrž vždy jen jeho některá část.

### 4.2. Testy servo motoru

Servo motor je umístěn v zadní části vznášedla a spojen s klapkami. Byl první elektronickou součástí, kterou jsem měl k dispozici, a tak jsem se s ní mohl co nejdříve naučit. Ze servo motoru jsou vyvedené tři kabely. Jeden kabel je červený a ten je pro 5V napájení. Druhý kabel je hnědý a ten slouží k uzemnění. Poslední kabel je žlutý a tento kabel slouží k řízení. Servo motor se k Arduino počítači připojuje podle následujícího schématu.



Obrázek 45 Schéma zapojení servo motoru [21]

Žlutý kabel se připojí do požadovaného pinu na počítači Arduino, přes který chceme servo řídit. Červený kabel se v případě napájení z akumulátoru připojí do pinu, který je označený 5V vstupem/výstupem. V případě, že Arduino nenapájíme z akumulátoru, ale pouze přes USB z počítače, tak je nutné připojit k servo motoru jiný zdroj napětí. Poslední hnědý kabel se připojí na uzemnění. Tento pin je označený zkratkou GND.

V programu, který následně slouží pro ovládání servo motoru stačí načíst knihovnu, která je pro ovládání servo motorů vytvořená. Definovat pin, na kterém je připojený žlutý kabel od servo motoru, a pak přes loop a for cyklus řídit pozici jeho ramena od 0° do 180°.

V lepším případě se také dá použít pro řízení servo motoru malý potenciometr. V mém případě jsem zvolil potenciometr, který má proměnný odpor v rozsahu 10kΩ. Díky této součástce jsem byl schopný polohovat rameno servo motoru na úhel, který jsem v daný moment potřeboval.

### 4.3. Testy motorů

Pro motory se dá použít stejná knihovna v programovatelném prostředí Arduino jako pro servo motory. Stačí zde pouze definovat převodník mezi maximální a minimální hodnotou otáček motoru. To znamená, že pro hodnotu 0° se motor nebude točit vůbec a pro hodnotu 180° se bude točit na maximální hodnotu otáček. Vzhledem k zapojení je to také velmi podobné jako u servo motoru. Liší se zde napájení, a to takovým způsobem, že motory musí mít připojené regulátory, aby bylo možné je řídit. Tyto motory jsou totiž bez regulátoru na střídavý proud.

Regulátor se tedy připojí vodiči s větším průměrem k akumulátoru a zbytek pinů se zapojí do Arduina stejně jako u servo motoru. Červený tenký vodič do Arduina zapojit můžeme i nemusíme. Tento vodič se používá proto, abychom mohli Arduino napájet přímo z akumulátoru bez připojení přes USB k počítači.

Oba motory jsem tedy přišrouboval ke konstrukci vznášedla a nasadil na jejich hřídele vrtule. V programovacím prostředí Arduino jsem napsal příslušný kód, kterým jsem oba motory ovládal pomocí potenciometrů. Ukázka kódu programu s vysvětlivkami viz níže.

```
#include <Servo.h>
Servo ESC; // Vytvořme objekt ESC (první motor)
Servo ESA; // Vytvořme objekt ESA (druhý motor)
int potValue; // Hodnota získaná z analogového vstupu Arduino pro první motor
int potValue1; // Hodnota získaná z analogového vstupu Arduino pro první motor
// Definice pinů, do kterých jsou motory připojeny
void setup() {
  // Připojení motoru ESC k pinu 9 a motoru ESA k pinu 8
  ESC.attach(9,1000,2000); // (pin, minimální pulzní rozsah, maximální pulzní rozsah v mikrosekundách)
  ESA.attach(8,1000,2000); // (pin, minimální pulzní rozsah, maximální pulzní rozsah v mikrosekundách)
}
// Nekonečný loop (opakování), to, co chceme opakovat stále dokola
void loop() {
  potValue = analogRead(A0); // Přečtení hodnoty z potenciometru na analogovém pinu A0 (hodnota mezi 0 až 1023)
  potValue = map(potValue, 0, 1023, 0, 180); // definování a propojení maximální a minimální hodnoty otáček pro motor ESC a převod pro servo knihovnu (hodnota mezi 0° až 180°)
  ESC.write(potValue); // Poslání signálu do motoru ESC
  potValue1 = analogRead(A1); // Přečtení hodnoty z potenciometru na analogovém pinu A1 (hodnota mezi 0 až 1023)
  potValue1 = map(potValue1, 0, 1023, 0, 180); // definování a propojení maximální a minimální hodnoty otáček pro motor ESC a převod pro servo knihovnu (hodnota mezi 0° až 180°)
  ESA.write(potValue1); // Poslání signálu do motoru ESA
```

Obrázek 46 Ukázka kódu s vysvětlivkami pro analogové řízení motorů

Tento program mi pomohl zjistit, jestli jsem vznášedlo navrhl tak, aby se nafoukl vak pod palubou a následně druhý motor celé vznášedlo rozpohyboval. Po tomto testu bylo jasné, jak moc odpovídá konstrukce vznášedla správné funkčnosti vznášedla. Jak jsem zmínil



v podkapitole **3.3.Problémy s konstrukcí**, tak bylo nutné změnit tvar a celkovou konstrukci spodní platformy vznášedla, protože se vak nenafukoval pod vznášedlo, nýbrž pouze okolo něj. Po této úpravě jsem test s motory zopakoval a při větším výkonu předního motoru jsem vznášedlo dostal nad zem, kde se vznášelo na vzduchovém vaku.

Když už bylo vznášedlo nad zemí, byla možnost otestovat druhý motor. Druhý motor měl vznášedlo uvést do pohybu, když se vznášelo na vzduchovém vaku. Tento test se ale nezdařil. Zkusil jsem použít motor s větším výkonem na nejvyšší otáčky, ale s vznášedlem nepohnul. Proto jsem se uchýlil k dalším finálním úpravám konstrukce. Tyto finální úpravy se týkaly krytu na vrtuli, klapek a jejich spojky. Všechny tyto komponenty jsem upravil a znovu vytisknul tak, jak jsem popsal v podkapitole **3.4.Poslední úpravy konstrukce**.

Po následném pokusu o uvedení vznášedla do pohybu s potenciometry jsem zjistil, že se vznášedlo konečně pohybuje a problém s velikostí vrtule byl vyřešen. V poslední řadě jsem mohl přejít k testům s Bluetooth modulem.

#### **4.4.Testy Bluetooth modulu**

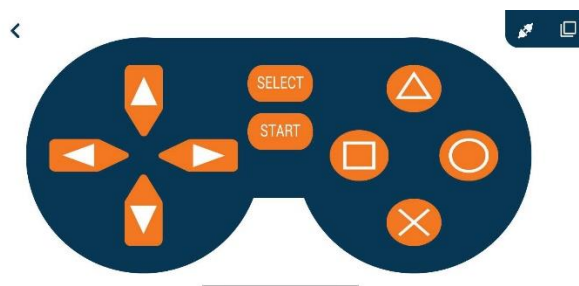
Poté, co už jsem měl k dispozici Bluetooth přijímač, jsem mohl otestovat řízení vznášedla z dálky. Bluetooth přijímač se k Arduino připojí přes pěti voltový vodič, vodič pro zemnění GND a dva vodiče pro řízení (RX, TX). Nejdříve jsem se pokoušel řídit vznášedlo pouze pomocí příkazů, kde v naprogramovaném kódu je nutné definovat dříve zmíněné vstupní piny RX a TX. Přes tyto piny Arduino získává vstupní informace, díky kterým řídí zbytek elektroniky na palubě vznášedla. Dále je nutné definovat jednotlivé elektronické komponenty. Tyto komponenty se v kódu programu definují obdobně jako v programování samotného servo motoru nebo jednotlivých střídavých motorů. Jediný rozdíl je v tom, že je potřeba zahrnout tyto definice pod vstupní hodnoty Bluetooth modulu.

Například: Když je v Bluetooth terminálu zadán znak "A", tak spustí motor 1 na maximální otáčky. Tento typ řízení se mi ale zdál velmi pomalý a nespolehlivý. V terminálu trvá příliš moc času než člověk napíše nějaký příkaz na malé klávesnici dotykového mobilního telefonu nebo se například nemusí trefit prstem a nestihne tak dostatečně rychle zareagovat na chování vznášedla.

#### **4.5.Finální řízení**

V průběhu testování řízení vznášedla přes terminál s příkazy jsem se rozhodl pro změnu. Tato změna spočívala v tom, že se mi podařilo najít aplikaci, ve které je k dispozici ovladač s tlačítky, ke kterým jde vždy přiřadit jejich funkce pomocí programovatelného

prostředí Arduino. Tato aplikace se jmenuje Dabble a komunikuje přímo s Bluetooth modulem pomocí Bluetooth. Obrázek tohoto ovladače z aplikace Dabble viz níže.



Obrázek 47 Screenshot ovladače z aplikace Dabble

Jednotlivá tlačítka ovladače jsem tedy naprogramoval pro řízení mého vznášedla. Pro stlačení šipky vzhůru jsem definoval start poháněcího motoru na určité otáčky (tyto otáčky byly předem otestovány tak, aby vznášedlo uvedly do pohybu). Šipku, která směřuje směrem dolů jsem definoval jako takovou, která poháněcí motor úplně vypne. Rotaci vznášedla v prostoru zajišťují šipky, které směřují doleva a doprava. Tyto šipky hýbou ramenem servo motoru, takže pohybují i samotnými klapkami pro změnu proudění vzduchu od hnacího motoru. To způsobí změnu směru pohybu vznášedla. Dvě z tlačítek na pravé straně ovladače jsem použil pro nafukování a vyfukování vaku pod vznášedlem. Jsou to tlačítko se znakem trojúhelníku a tlačítko se znakem kříže. Tlačítko s trojúhelníkem slouží pro spuštění nafukovacího motoru na určité otáčky tak, aby byl vak správně nafouknutý. Naopak tlačítko s křížem tento motor úplně vypíná. V poslední řadě jsem definoval jedno nouzové tlačítko, které vypne oba motory a vznášedlo se zastaví a klesne k zemi. Vybral jsem si pro tuto funkci tlačítko s nápisem select.

S tvorbou tohoto programu mi pomohl software Pictoblox, díky němu jsem byl schopný napsat celý kód řízení v programovatelném prostředí Arduino. V Pictoblox jsou pro jednotlivé funkce vytvořeny bloky. Tyto bloky se dají přetransformovat v příkazy, které se dají použít pro programování počítače Arduino MEGA. V počítačovém software pro programování počítačů Arduino, bylo hlavně nutné stáhnout příslušné knihovny, které obsahovaly příkazy pro Bluetooth řízení ovladačem. Bez těchto knihoven by Arduino MEGA nebylo schopné komunikovat s mým mobilním telefonem. Příkazy, které jsem pomocí Pictoblox generoval, jsem následně použil a definoval jednotlivá tlačítka.

### 4.5.1. Bezpečnost

Velmi důležitá část kódu je také naprogramování určité bezpečnosti vznášedla. Tato bezpečnost spočívá v nouzovém vypnutí všech komponent například při ztrátě signálu z Bluetooth modulu. Aby se vznášedlo nekontrolovatelně nerozjelo a náhodou se nezničilo.

Bezpečnost jízdy je ve vznášedle vymyšlena tak, že při zapnutí mini počítače Arduino se začne odpočítávat čas. Tato časomíra vždy běží do té doby, než je na ovladači v mobilním telefonu zmáčknuto nějaké tlačítko, které pošle určitý signál do Bluetooth modulu a následně do Arduina. V ten okamžik se časomíra vynuluje a začíná odpočítávat čas od začátku. Jakmile není odeslán žádný signál z mobilního telefonu a časomíra se dostane na hodnotu pěti sekund, tak se všechny elektronické komponenty na vznášedle vypnou a vznášedlo se zastaví.

V ukázce finálního kódu na další straně (36) je vidět, jakým způsobem je bezpečnost naprogramovaná. Je to vždy pomocí funkce millis. Tato funkce počítá čas od zapnutí mini počítače Arduino.

## 4.5.2. Ukázka finálního kódu řízení s vysvětlivkami

```
//Použité knihovny
#include <Dabble.h>
#include <Servo.h>

//Definice komponent: hnací motor, motor pro nafukování, servo motor
Servo BLDC_9; //motor pro nafukování
Servo BLDC_8; //hnací motor
Servo Servo5; //servo motor
const unsigned long konec = 5000; //definovaný čas pro nouzové vypnutí vlnáředla
extern volatile unsigned long timer0_millis;

void setup() { //příslušný k'd pro nastavení jednotlivých komponent a zkouška motorů

  Dabble.begin(9600); //spuštění Bluetooth komunikace
  BLDC_9.attach(9, 1000, 2000); //definice pinu připojeného motoru pro nafukování
  BLDC_8.attach(8, 1000, 2000); //definice pinu připojeného hnacího motoru
  Servo5.attach(5); //definice pinu připojeného servo motoru

  //zkouška funkčnosti motorů, hnací a nafukovací motor se spustí na 5% maximální rychlosti a po dvou vteřinách se vypne
  BLDC_9.write(5 * 1.8);
  BLDC_8.write(5 * 1.8);
  delay(2 * 1000);
  BLDC_9.write(0 * 1.8);
  BLDC_8.write(0 * 1.8);
  delay(2 * 1000);
}

void loop() { // kód, který chci stále opakovat
  // definice jednotlivých tlačítek a jejich příslušných funkcí, vše je řešeno přes podmínky if a else
  //v každé jednotlivé podmínce je maderinovaná bezpečnost pomocí funkce millis()
  //bezpečnost je definována tak, aby se vlnáředlo do pěti vteřin vypnulo, pokud nedostane žádný signál z mobilního telefonu přes Bluetooth modul
  Dabble.processInput();
  if(GamePad.isPressed(2)) {
    Servo5.write(7);
    noInterrupts ();
    timer0_millis = 0;
    interrupts ();
  }
  else {
    if(GamePad.isPressed(3)) {
      Servo5.write(180);
      noInterrupts ();
      timer0_millis = 0;
      interrupts ();
    }
    else {
      if(GamePad.isPressed(6)) {
        BLDC_9.write(19 * 1.8);
        delay(0.5 * 1000);
        noInterrupts ();
        timer0_millis = 0;
        interrupts ();
      }
      else {
        if(GamePad.isPressed(8)) {
          BLDC_9.write(0 * 1.8);
          delay(0.5 * 1000);
          noInterrupts ();
          timer0_millis = 0;
          interrupts ();
        }
        else {
          if(GamePad.isPressed(0)) {
            BLDC_8.write(25 * 1.8);
            delay(0.5 * 1000);
            noInterrupts ();
            timer0_millis = 0;
            interrupts ();
          }
          else {
            if(GamePad.isPressed(1)) {
              BLDC_8.write(0 * 1.8);
              delay(0.5 * 1000);
              noInterrupts ();
              timer0_millis = 0;
              interrupts ();
            }
            else {
              if(GamePad.isPressed(5)) {
                BLDC_9.write(0 * 1.8);
                BLDC_8.write(0 * 1.8);
                delay(0.5 * 1000);
                noInterrupts ();
                timer0_millis = 0;
                interrupts ();
              }
              else {
                if(millis() > konec) {
                  BLDC_9.write(0 * 1.8);
                  BLDC_8.write(0 * 1.8);
                  delay(0.5 * 1000);
                }
                else {
                  Servo5.write(90);
                }
              }
            }
          }
        }
      }
    }
  }
}
}
```

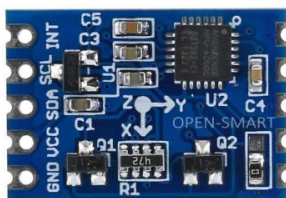
Obrázek 48 Ukázka naprogramovaného finálního kódu řízení s vysvětlivkami

## 5. Experiment

Experiment, který jsem provedl s mým vznášedlem jsem pojal dvěma způsoby. Jeden tento způsob spočíval ve změřeni zrychlení a odezvy na změnu pohybu vznášedla pomocí akcelerometru s gyroskopem. Druhým způsobem provedení experimentálního ověření funkčnosti vznášedla byl test jízdy na různých místech. Tyto místa jsem vybíral podle jejich povrchu. Od míst s nejhladším povrchem po místa s tím nejméně rovným.

### 5.1. První experiment

Pro tento experiment jsem použil měřicí senzor (MPU6050), kterým byl gyroskop a akcelerometr zároveň a modul, který obsahoval slot pro načtení SD karty. Tato SD karta sloužila pro uložení dat, které senzor naměřil.



Obrázek 49 MPU6050 [22]



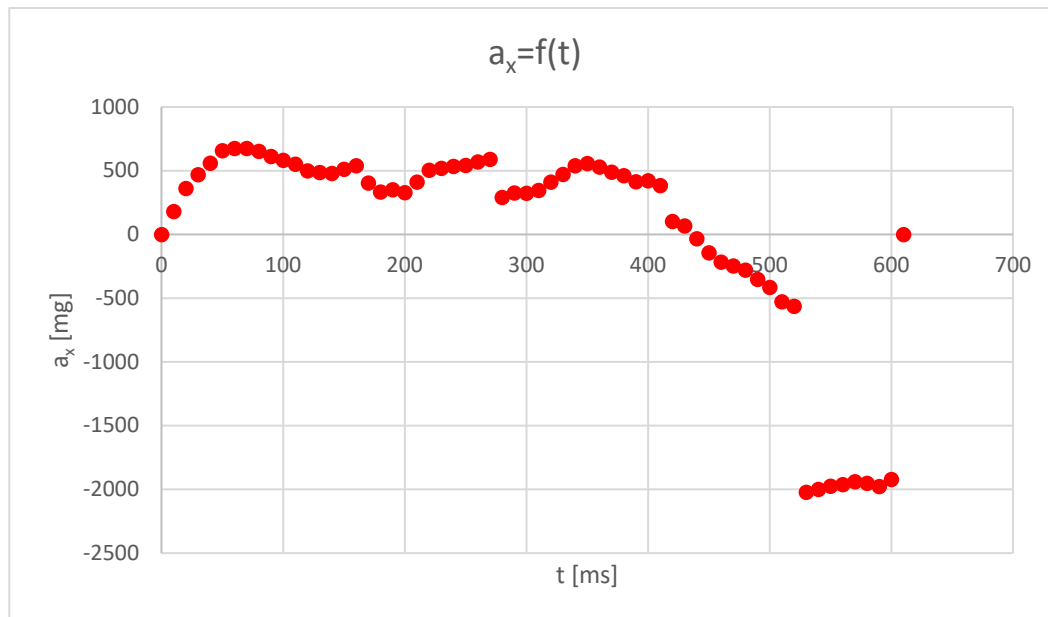
Obrázek 50 Slot na SD kartu [23]

Samotné měření probíhalo tak, že jsem vždy přidal k mému kódu pro řízení vznášedla kód, který ovládal senzor a slot pro SD kartu. Kód se vždy lišil podle toho, co jsem chtěl měřit.

#### 5.1.1. Zrychlení a rychlost

První hodnoty, které jsem měřil byly hodnoty zrychlení vznášedla za čas, jeho nárůst a pokles. Tento experiment jsem prováděl vždy v mém pokoji, protože je zde nejlepší povrch pro pohyb vznášedla, což jsem ověřil v druhé části experimentu. Nejlepší místo pro uskutečnění experimentálního ověření funkčnosti vznášedla by byla například nějaká tělocvična, kde je podlaha tvořena parketami, ale do těchto prostor jsem neměl přístup. Z toho důvodu je experiment prováděn za velmi krátký interval času, což je způsobeno malou rozlohou mého pokoje.

Připojil jsem tedy MPU6050 a slot pro SD kartu k mému vznášedlu, naprogramoval jsem potřebnou část kódu a začal měřit. Vždy jsem se s vznášedlem rozjel vpřed a následně ho zastavil. Těchto měření jsem provedl několik a vybral nejvíce použitelná data a vynesl je do grafu viz další strana (36).

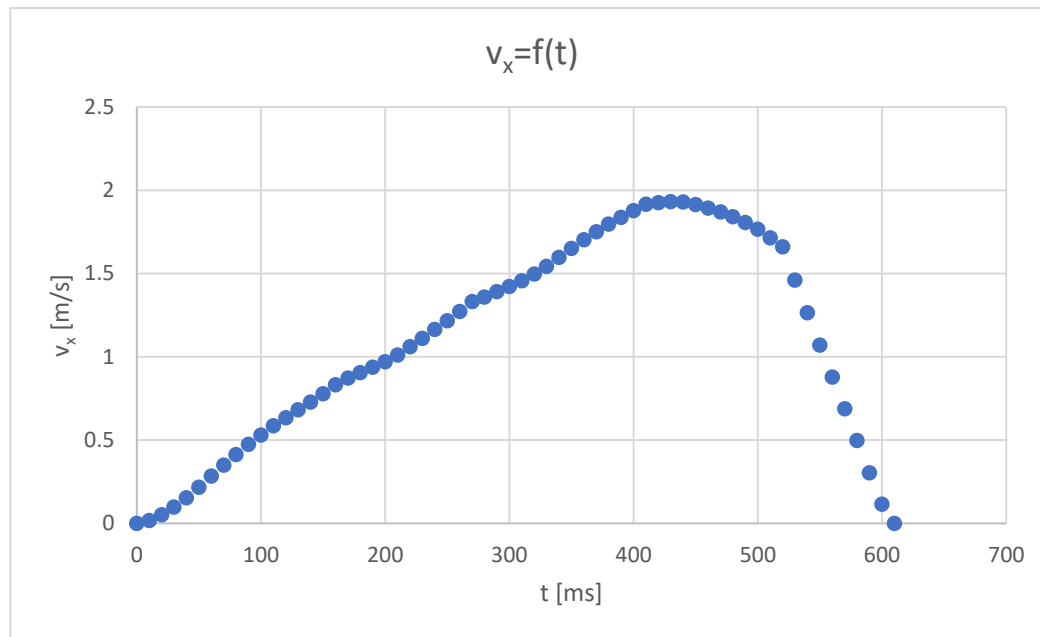


Obrázek 51 Změna zrychlení vznášedla ve směru osy X za čas

Tento graf představuje průběh změny zrychlení vznášedla za čas. Jedná se o zrychlení v ose X, která je předem určena tak, aby se shodovala se směrem pohybu vpřed. Je zde vidět prvotní nárůst při rozjezdu vznášedla a pak kolísavý průběh. Tento kolísavý průběh může být způsoben tím, že se vznášedlo nepohybovalo přesně rovně, ale vždy se částečně vychýlilo ze směru pohybu v ose X. Vzhledem k proudícímu vzduchu vrtulemi, kolem vznášedla a kroutícímu momentu od předního motoru pro nafukování nebylo možné provést delší pohyb vpřed při rostoucím zrychlení. Kdybych se pokusil změřit zrychlení přesně ve směru osy X, tak aby se vznášedlo pohybovalo převážně směrem vpřed delší čas, tak bych musel klapkami vyrovnávat směr pohybu vznášedla, ale to by ubíralo na výkonu zadní vrtule. Z tohoto důvodu bych nebyl schopen změřit největší nárůst zrychlení ve směru osy X.

Po celkovém nárůstu zrychlení je vidět výrazný pokles těchto hodnot. Pokles byl způsoben vyfouknutím vzduchového vaku, na kterém se vznášedlo vznáší a následným bržděním podvozku o podlahu. Poté se vznášedlo zastavilo a zrychlení se ustálilo na hodnotě nula.

Další data, která jsem vynesl do grafu jsou hodnoty změny rychlosti za čas. Tyto hodnoty jsem získal výpočtem z naměřených hodnot zrychlení a času pomocí integrace. Závislost změny rychlosti za čas viz graf na další straně (37).



Obrázek 52 Změna rychlosti vznášedla ve směru osy X za čas

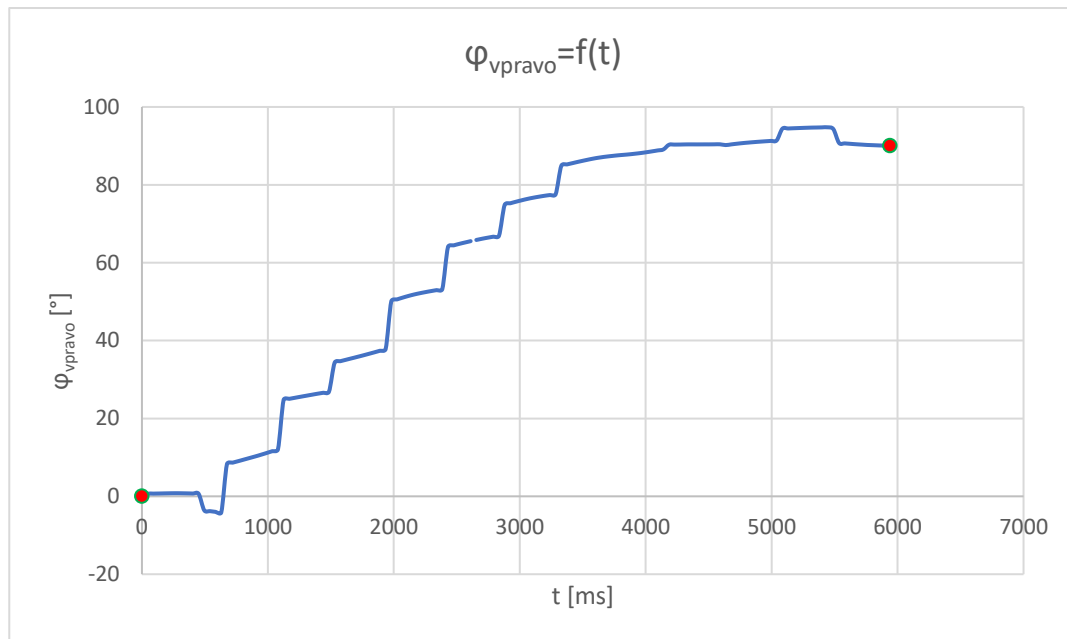
Z grafu je přehledně vidět, že po dobu, kdy zrychlení má kladné hodnoty, se rychlost zvyšuje. Po vyfouknutí vzduchového vaku nastává razantní pokles rychlosti až dojde k celkovému zastavení vznášedla.

### 5.1.2. Manévrování v prostoru

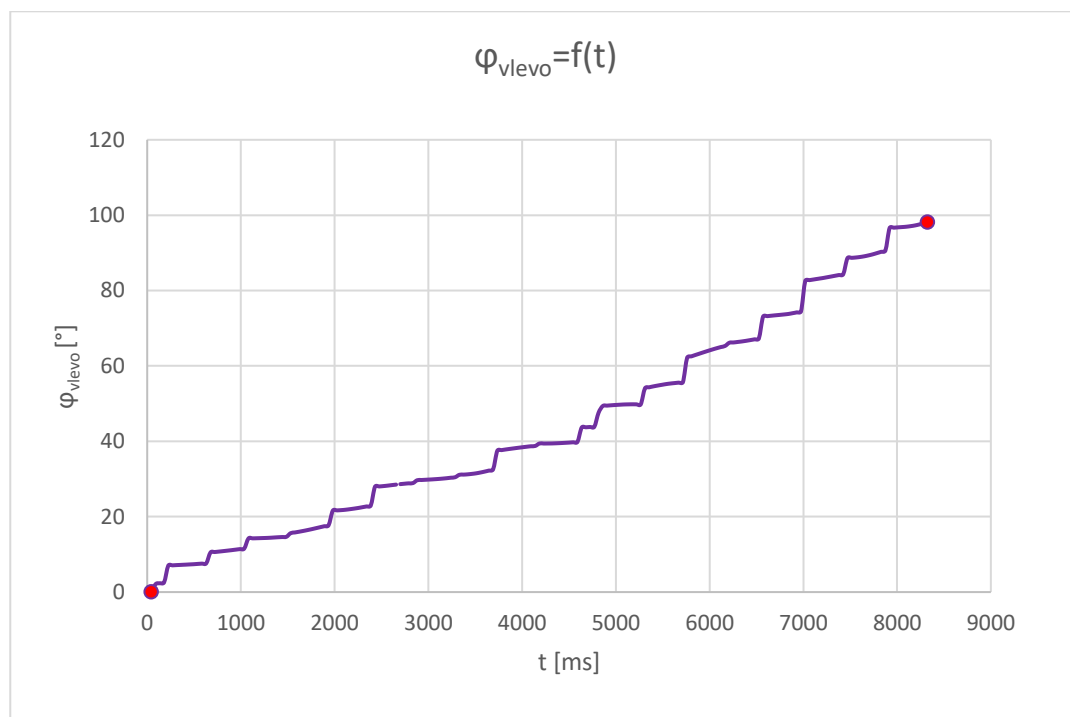
Díky tomu, že použitý sensor obsahuje i gyroskop, mohl jsem změřit změnu úhlu natočení kolem požadované souřadnicové osy X, Y, Z. Zvolil jsem si osu Y. Tato osa je kolmá na osu X (směr jízdy vpřed) a zároveň protíná vznášedlo od podlahy vzhůru. Rotace kolem této osy je ekvivalentní k zatáčení vznášedla vpravo či vlevo.

Zjišťoval jsem tedy za jak dlouhou dobu se vznášedlo ustálí na hodnotě cca  $90^\circ$  při zatočení vpravo a vlevo. Experiment probíhal tak, že jsem vznášedlo zapnul a uvedl ho do pohybu při úhlu  $0^\circ$  (pohybovalo se rovně). Dále jsem klapky stočil vpravo nebo vlevo a sledoval reakci vznášedla. Hodnoty změny úhlu závislého na čase jsem vynesl do grafů a vzájemně je porovnal.

Grafy závislostí viz další strana (38).



Obrázek 53 Změna úhlu za čas při zatočení vpravo



Obrázek 54 Změna úhlu za čas při zatočení vlevo

Jak je z grafů patrné, tak vznášedlo lépe zatáčí vpravo než vlevo. Za kratší čas je schopno ustálit se přibližně na 90° otočení svého směru jízdy. Tento fakt může být způsobený různými faktory. Mezi tyto faktory patří, například “vyosení“ zadního motoru. Toto “vyosení“ jsem provedl kvůli tomu, že si vznášedlo při jízdě pouze vpřed nedrželo rovný směr. Potřeboval jsem tím kompenzovat jeden z dalších faktorů, který by mohl zapříčinit horší manévrování v prostoru. Tímto faktorem je kroutící moment od předního motoru, který



je uchycený v konstrukci vznášedla. Tento kroutící moment stáčí celé vznášedlo opačným směrem, než se otáčí motor, který nafukuje vzduchový vak. Proto bylo nutné zadní motor “vyosít“, abych při jízdě rovně kompenzoval vliv kroutícího momentu od předního motoru.

Dalším a nejspíše posledním faktorem ovlivňujícím manévrování v prostoru může být rozmístění elektronických komponent na palubě, čímž je myšleno rozprostření celkové hmotnosti na vznášedle. Různé nerovnosti v rozmístění elektronických komponent na palubě vznášedla způsobují pohyb těžiště celého vznášedla, a to může způsobit horší manévrování v prostoru.

## 5.2. Druhý experiment

V tomto experimentu jsem se zaměřil na použití vznášedla na různých místech. Tyto místa jsem vybíral z okolí mého obydlí. Jsou zahrnuta místa jako: můj pokoj, zahrada s trávnikem, terasa z dlaždic a beton.

Všechny povrchy seřadím a okomentuji od povrchu, kde se vznášedlo pohybovalo nejlépe až po ty, na kterých se vznášedlo pohybovalo nejhůře až vůbec.

Prvním povrchem je můj pokoj. V pokoji mou podlahu tvoří dřevěné parkety. Tento povrch je zcela rovný a hladký. Takový typ povrchu je pro pohyb vznášedla nejlepší. Je to z toho důvodu, že mezi podlahou a vzduchovým vakem je nejmenší tření a vzduchový vak perfektně těsní vzduch, který zvedá vznášedlo nad zem. Fotografie vznášedla v pohybu viz níže.



Obrázek 55 Jízda po mém pokoji

Dalším povrchem, na kterém jsem vznášedlo testoval byl beton. Zde překvapivě vznášedlo jelo vcelku bez problému, ale o něco pomaleji kvůli většímu tření mezi povrchem

země a vzduchovým vakem. Zároveň se místy lišila kvalita pohybu, protože se například někde vyskytovalo více kamínků nebo spára mezi betonovými plochami.



*Obrázek 56 Jízda po betonu*

Třetí povrch, kde jsem vznášedlo testoval, a jeho pohyb už nebyl tak dobrý, byla terasa vydlážděná z dlaždic. Zde byly nerovnosti více patrné. Bylo to kvůli tomu, že je tato terasa už poměrně stará, řekl bych tak kolem dvaceti let. Dlaždicím se za tu dobu změnila drsnost povrchu, a navíc je zde mnoho míst, které od sebe dlaždice dělí. Když přes ně vznášedlo přejíždělo, tak tudy mohl například unikat vzduch akumulovaný ve vaku a pod vznášedlem, který vznášedlo zvedá nad zem. Tím pádem vznášedlo drhlo svým podvozkem o povrch dlaždic.



*Obrázek 57 Jízda po dlážděné terase*

Posledním místem, které posloužilo pro test mého vznášedla a zároveň dopadlo jako místo, kde se vznášedlo ani nepohnulo, byla zahrada s trávnikem. Zde hraje velkou roli to, jak moc je posekaný trávník nebo jak moc rovný povrch pod trávnikem je. Jedná se samozřejmě o čistou hlínu a ta nikdy nemá přírodně rovný tvar svého povrchu. Když jsem se snažil nafouknout vak pod vznášedlem, tak se vyskytly první komplikace. Povrch trávniku dostatečně netěsnil vzduch zvedající vznášedlo nad zem, protože zde byly různé dlouhé traviny, a navíc povrch hlíny pod nimi nebyl vůbec rovný. Po pokusu pohnout s vznášedlem bylo hned jasné, že to nepůjde. Různě dlouhá tráva zachytila vak a celé vznášedlo a neumožnila mu se rozpohybovat.



*Obrázek 58 Jízda po zahradě s trávnikem*

Díky tomuto experimentu bylo hned jasné, kde se vznášedlo dá i nedá používat. Pro pohyb vznášedla je nejideálnější místo převážně s rovným a hladkým povrchem. Tam, kde bude mezi povrchem a vzduchovým vakem nejmenší tření.

## 6. Závěr

Navrhnul jsem a zkonstruoval funkční model vznášedla ovládaný pomocí Bluetooth modulu. Z počátku konstrukčních návrhů se vyskytly nějaké problémy s prvotním návrhem vzhledu a tvaru vznášedla a jeho následnou funkčností. Tyto problémy jsem vyřešil prostudováním všech faktorů proč původní konstrukční návrh nemohl fungovat a následně jsem navrhl řešení a zkonstruoval nové díly.

Díky testům elektroniky jsem tyto nedostatky předešlých konstrukčních návrhů odhalil. Elektroniku jsem průběžně testoval a došel také k pár zásadním závěrům, které jsou zmíněny v mé práci a byly nutné vyřešit. Nebylo jich naštěstí tolik, jako v případě konstrukce.

Funkčnost tohoto modelu jsem po úspěšné konstrukci a naprogramování řízení otestoval jako finálně smontovaný celek. Provedl jsem dva experimenty. V jednom jsem změnil změnu zrychlení vznášedla za čas pomocí akcelerometru a z těchto hodnot jsem následně vypočítal rychlost pomocí integrace. Druhým experimentem byl test jízdy vznášedla na různých místech. Zjistil jsem, jak moc ovlivňuje plynulou jízdu vznášedla kvalita a rovnost povrchu. Jak jsem zmínil v předešlé kapitole, zjistil jsem, že pro testy a celkové používání vznášedla by byla nejlepší například nějaká velká tělocvična s hladkými parketami. Zde by byl pohyb vznášedla určitě ideální.

V úplném závěru bych chtěl ještě vysvětlit menší úpravu vzhledu a konstrukce vznášedla, která je vidět na fotkách z druhého experimentu. Je to síťovina, která je natažena přes otvor pro nafukování vzduchového vaku. Tato síťovina zde slouží k vylepšení jízdních vlastností a potlačení vlivu kroutícího momentu od motoru pro nafukování. V první řadě překrývá výřez pro šroub v přední části otvoru pro nafukování, který mohl být příčinou nerovnoměrného proudění vzduchu otvorem a zvyšování vlivu kroutícího momentu od motoru. V druhé řadě tato síťovina celkově “rozbije“ proud vzduchu který otvorem prochází. Tento fakt razantně zmírnil větší stáčení vznášedla k jedné straně než k té druhé.

Touto prací a celkově vytvořením modelu vznášedla na ovládání jsem si splnil můj dětský sen a naučil se spoustu nových věcí. Objevil jsem možnosti mini počítače Arduino a zjistil, jak moc kvalitní a užitečný může být 3D tisk. Zároveň jsem získal základní praktické znalosti elektřiny a pájení. Toto téma a celá bakalářská práce byla velmi přínosná jak pro mě aktuálně, tak i do budoucna a utvrdila mě v tom, jakým směrem bych se chtěl dále ubírat.

**6.1. Shrnutí důležitých parametrů vznášedla a výstupů práce**

Hmotnost [g]	805
Otáčky na volt [kV]	4200
Maximální dosažená rychlost [m/s]	1,93
Doba jízdy při měření rychlosti [ms]	610
Doba změny směru jízdy vpravo (90°) [s]	4,185
Doba změny směru jízdy vlevo (90°) [s]	7,83
Jízda po parketách	Ideální
Jízda po betonu	Pomalé
Jízda po dlážděné terase	Téměř bez pohybu
Jízda po trávníku	Bez pohybu

## **Bibliografie**

- [1] Vznášedlo. *Wikipedia* [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Vzn%C3%A1%C5%A1edlo>
- [2] TŮMA, Jan. Padesát let vznášedel. *Technickydenik* [online]. 2006 [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://www.technickydenik.cz/rubriky/archiv/padesat-let-vznasedel\\_11070.html](https://www.technickydenik.cz/rubriky/archiv/padesat-let-vznasedel_11070.html)
- [3] CARTER, Chris. 11 June 1959: the hovercraft makes its debut on the Solent. *Moneyweek* [online]. 2020 [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://moneyweek.com/395450/11-june-1959-hovercraft-makes-its-debut-on-the-solent>
- [4] SK-5 City of Oakland. *Wikipedia* [online]. 2013 [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/SR.N5#/media/File:SFO\\_City\\_of\\_Oakland\\_\(8557964371\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/SR.N5#/media/File:SFO_City_of_Oakland_(8557964371).jpg)
- [5] Minolovka. *Wikipedia* [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Minolovka>
- [6] KÜHN, Stefan. Prototyp číslo 2 v technickém muzeu ve městě Speyer. *Wikipedia* [online]. 2004 [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/A%C3%A9rotrain#/media/Soubor:Aerotrains.jpg>
- [7] INSTRUCTABLES. RC Hovercraft. *Pinterest* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/522628731757181078/>
- [8] 20MT Full Kit. *Universal Hovercraft* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: [https://www.hovercraft.com/content/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=5\\_382&products\\_id=710](https://www.hovercraft.com/content/index.php?main_page=product_info&cPath=5_382&products_id=710)
- [9] JSCAYLOR. Brushless R/C Racing Hovercraft. *Thingiverse* [online]. 2017 [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:2700850>
- [10] Jak se vyznat v označení vrtulí. *RC-zoom* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <https://www.rc-zoom.cz/jak-se-vyznat-v-oznaceni-vrtuli/>
- [11] RCLIFEON. 3D Printed RC Hovercraft on SPEED!. *Youtube* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=rCYRUXrFhZc&ab\\_channel=RCLifeOn&app=desktop](https://www.youtube.com/watch?v=rCYRUXrFhZc&ab_channel=RCLifeOn&app=desktop)

- [12] HTI Mystery D2627. *Amazon* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <https://www.amazon.co.uk/HTI-Mystery-4200Kv-Outrunner-Brushless/dp/B00BYWAISW>
- [13] Mystery 1200KV RC Helicopter Outrunner Brushless Motor. *Miniinthebox* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: [https://www.miniinthebox.com/en/p/mystery-1200kv-rc-helicopter-outrunner-brushless-motor-d2627-1200-\\_p150051.html?prm=2.3.70.0](https://www.miniinthebox.com/en/p/mystery-1200kv-rc-helicopter-outrunner-brushless-motor-d2627-1200-_p150051.html?prm=2.3.70.0)
- [14] ESC Regulátor Otáček pro Bezkartáčové Motory 30A. *Arduino-shop* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: [https://arduino-shop.cz/arduino/1653-esc-regulator-otacek-pro-bezkartacove-motory-30a.html?gclid=Cj0KCQiA5bz-BRD-ARIsABjT4njmp9vfjV75x7v0iS1NP72fBBqO14HSs4sjiWsWzmZK1aUA-d-dsgUaAioPEALw\\_wcB](https://arduino-shop.cz/arduino/1653-esc-regulator-otacek-pro-bezkartacove-motory-30a.html?gclid=Cj0KCQiA5bz-BRD-ARIsABjT4njmp9vfjV75x7v0iS1NP72fBBqO14HSs4sjiWsWzmZK1aUA-d-dsgUaAioPEALw_wcB)
- [15] XW Power 7.4V 11.1V 14.8V 22.2V 1300mAh. *Aliexpress* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/i/32908595091.html>
- [16] Servo motor s kovovými převody MG996R pro RC modely. *Arduino-shop* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1694-servo-motor-s-kovovymi-prevody-mg996r-pro-rc-modely.html>
- [17] WIRELESS SERIAL BLE BLUETOOTH V4.0 TRANSCIVER MODULE FOR ARDUINO. *Pfdeal* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.pfdeal.com/products/wireless-serial-ble-bluetooth-v4-0-transceiver-module-for-arduino>
- [18] Bluetooth 4.0 modul AT-09 BLE CC2540/CC2541. *Laskarduino* [online]. [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: [https://www.laskarduino.cz/bluetooth-4-0-modul-at-09-ble-cc2540-cc2541/?gclid=Cj0KCQjwvr6EBhDOARIsAPpQUPFKexl6BLvDzQjsOAwGKKweOhpRPheNd5j28nNV9Q05mGt-EctrXGoaAqrCEALw\\_wcB](https://www.laskarduino.cz/bluetooth-4-0-modul-at-09-ble-cc2540-cc2541/?gclid=Cj0KCQjwvr6EBhDOARIsAPpQUPFKexl6BLvDzQjsOAwGKKweOhpRPheNd5j28nNV9Q05mGt-EctrXGoaAqrCEALw_wcB)
- [19] Arduino Mega2560-16AU. *Hadex* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: [https://www.hadex.cz/m382-arduino-mega2560-16au-s-usb-prevodnikem-ch340g/?gclid=Cj0KCQiA5bz-BRD-ARIsABjT4njoshenu97Nxvc\\_ENMEkiO0m4xrHvG2JI7dTb1FdIXdy1unxyBUlmAaAm3CEALw\\_wcB](https://www.hadex.cz/m382-arduino-mega2560-16au-s-usb-prevodnikem-ch340g/?gclid=Cj0KCQiA5bz-BRD-ARIsABjT4njoshenu97Nxvc_ENMEkiO0m4xrHvG2JI7dTb1FdIXdy1unxyBUlmAaAm3CEALw_wcB)
- [20] Servo SG90 9g micro motor. *Drátek* [online]. [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/897-eses-servo-motor->

9g.html?gclid=Cj0KCQjwgtWDBhDZARIsADEKwgPRNKjYr8M0eG90GMbYJkiP0xeVhE6d\_XNKhk6Dgv\_go5ZsTj896soaAss6EALw\_wcB

- [21] Arduino Tutorial - Servo Motor Control. *Howtodogood* [online]. 2021 [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://cs.howtodogood.com/60143-Arduino-Tutorial-Servo-Motor-Control-With-Arduino-67>
- [22] OPEN-SMART Gyroskop s akcelerometrem MPU6050 I2C 6-Axis. *Laskarduino* [online]. [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: [https://www.laskarduino.cz/open-smart-gyroskop-s-akcelerometrem--mpu6050--i2c--6-axis/?gclid=Cj0KCQjwvr6EBhDOARIsAPpqUPFPba6G9R8a2K0tdALGONnDDtsxRigZpCtJFsbCwsbUPH3LEbN1b\\_saAIYVEALw\\_wcB](https://www.laskarduino.cz/open-smart-gyroskop-s-akcelerometrem--mpu6050--i2c--6-axis/?gclid=Cj0KCQjwvr6EBhDOARIsAPpqUPFPba6G9R8a2K0tdALGONnDDtsxRigZpCtJFsbCwsbUPH3LEbN1b_saAIYVEALw_wcB)
- [23] Pmod SD: Full-sized SD Card Slot. *Digilent A National Instrument Company* [online]. [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://store.digilentinc.com/pmod-sd-full-sized-sd-card-slot/>