

# **STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST**

**Obor č. 9: Strojírenství, hutnictví a doprava**

## **Stavba potápěčského skútru**

**Adam Žák**  
**Jihomoravský kraj**

**Brno 2025**

# STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 9: Strojírenství, hutnictví a doprava

## Stavba potápěčského skútru

## Building a diving scooter

**Autor:** Adam Žák

**Škola:** Gymnázium Brno-Řečkovice, příspěvková organizace, Terezy  
Novákové 2, 621 00, Brno

**Kraj:** Jihomoravský kraj

**Konzultant:** Ing. Aleš Žák; Mgr. Zdeněk Votava

Brno 2025

# Prohlášení

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

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

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Brně dne 28. 1. 2025 .....

Adam Žák

# Poděkování

Rád bych vyjádřil své upřímné poděkování všem, kteří mě podporovali a pomáhali mi při realizaci mé práce SOČ.

Především děkuji Ing. Samuelu Liptákovi, který mi poskytl důležité rady při výběru a řízení motoru, což bylo klíčovým aspektem mé práce. Jeho zkušenosti a technická doporučení mi výrazně pomohly nalézt řešení několika složitých úkolů.

Velmi si vážím pomoci mého táty Ing. Aleše Žáka za jeho odborné vedení, cenné rady a za finanční podporu mé práce. Jeho zkušenosti byly pro mě přínosné zejména při zajištění vodotěsnosti těla skútru a řešení technických detailů.

Rovněž bych chtěl poděkovat svému internímu konzultantovi, Mgr. Zdeňku Votavovi, za jeho vedení, trpělivost a ochotu poskytovat mi zpětnou vazbu.

Mé poděkování patří také mému bratranci Jakubu Žákovi za jeho práci při obrábění hřídele na soustruhu. Jeho dovednosti a přístup měly zásadní vliv na funkčnost výsledného zařízení.

Poděkování si zaslouží i můj prostřední bratr David Žák, který mi asistoval při 3D tisku jednotlivých dílů skútru a ten následně testoval, protože já jsem byl v době testování nemocen.

Rád bych také poděkoval firmě ABBAS, a. s. za možnost využívat její nástroje a prostory.

Všem jmenovaným děkuji za jejich čas, ochotu a podporu, bez nichž by tato práce nemohla být úspěšně dokončena.

## **Anotace**

Ve své práci SOČ jsem se zabýval stavbou vodního potápěčského skútru. Hlavním cílem bylo vytvořit funkční zařízení, které splňuje specifické technické parametry, jako je vodotěsnost, rychlost alespoň 2 m/s a hmotnost pod 7 kilogramů. Součástí práce byl také výběr a implementace vhodného motoru, optimalizace konstrukce a využití moderních výrobních metod, jako je 3D tisk.

Během realizace projektu byly využity technologie pro modelování ve Fusion 360 a programování platformy Arduino, které bylo použito k řízení elektronických součástí skútru. Výsledný prototyp byl testován a splňuje stanovené technické požadavky.

Práce zahrnuje nejen technický návrh ale i samotnou stavbu. Projekt poskytuje základy pro další rozvoj, například rozšíření funkcí skútru.

## **Klíčová slova**

potápěčský skútr; Arduino; elektromotor; elektrický regulátor rychlosti; 3D tisk; lodní šroub;

## **Annotation**

In my SOČ project, I focused on constructing a water diver scooter. The main goal was to create a functional device that meets specific technical parameters, such as waterproofing, a speed of at least 2 m/s, and a reduction in weight to under 7 kilograms. The project also included the selection and implementation of a suitable motor, optimization of the design, and the use of modern manufacturing methods, such as 3D printing.

During the realization of the project, technologies for modeling in Fusion 360 and programming the Arduino platform were utilized. Arduino was used to control the scooter's electronic components. The final prototype was tested and meets the specified technical requirements.

The project encompasses not only the technical design but also the actual construction. It provides a foundation for further development, such as expanding the scooter's functionality.

## **Keywords**

dive scooter; Arduino; electric motor; electronic speed controller; 3D printing; propeller;

## Obsah

|       |                                                   |    |
|-------|---------------------------------------------------|----|
| 1     | Úvod.....                                         | 7  |
| 2     | Výběr dílů ke stavbě .....                        | 8  |
| 2.1   | Motor.....                                        | 8  |
| 2.1.1 | Teorie elektromotoru .....                        | 8  |
| 2.1.2 | Výběr elektromotoru.....                          | 8  |
| 2.2   | Řídící jednotka .....                             | 10 |
| 2.2.1 | Elektrický regulátor rychlosti (ESC) .....        | 10 |
| 2.2.2 | Arduino .....                                     | 11 |
| 2.2.3 | Ovládání Arduina.....                             | 12 |
| 2.3   | Baterie .....                                     | 12 |
| 2.4   | Lodní šroub .....                                 | 14 |
| 2.5   | Tělo potápěčského skútru.....                     | 15 |
| 3     | Stavba potápěčského skútru.....                   | 16 |
| 3.1   | Kalibrace elektrického regulátoru rychlosti ..... | 16 |
| 3.2   | Programování Arduina .....                        | 18 |
| 3.3   | Modelace těla potápěčského skútru .....           | 21 |
| 3.3.1 | Modelace motorového prostoru .....                | 21 |
| 3.3.2 | Modelace trupu .....                              | 23 |
| 3.3.3 | Aerodynamická přední část (špička).....           | 26 |
| 3.3.4 | Horní část ochranného koše .....                  | 27 |
| 3.3.5 | Dolní část ochranného koše .....                  | 28 |
| 3.3.6 | Skříň spojky .....                                | 29 |
| 3.3.7 | Víko a aretační držák .....                       | 29 |
| 3.4   | 3D tisk .....                                     | 30 |
| 3.5   | Opravná modelace.....                             | 30 |
| 3.5.1 | Oprava motorové části .....                       | 30 |
| 3.5.2 | Oprava skříně spojky .....                        | 31 |
| 3.5.3 | Úprava hlavního těla .....                        | 31 |
| 3.6   | Opravný 3D tisk .....                             | 32 |
| 3.7   | Pájení.....                                       | 33 |
| 3.8   | Zapuštění závitových vložek.....                  | 33 |
| 3.9   | Obrábění hřídele.....                             | 34 |

|      |                                           |    |
|------|-------------------------------------------|----|
| 3.10 | Řídítka .....                             | 35 |
| 3.11 | Táhla .....                               | 35 |
| 3.12 | Vymezovací a aerodynamický prstenec ..... | 36 |
| 3.13 | Kompletace .....                          | 36 |
| 4    | Testování .....                           | 39 |
| 5    | Cena .....                                | 41 |
| 6    | Závěr .....                               | 42 |
| 7    | Použitá literatura .....                  | 43 |
| 8    | Seznam obrázků .....                      | 45 |
| 9    | Seznam tabulek .....                      | 46 |
| 10   | Příloha 1: Modelace .....                 | 47 |

# 1 ÚVOD

Když mi bylo šest roků, táta nám s bráchou koupil u moře oranžový potápěčský skútr. Byl to skvělý vodní přístroj, který člověk chytne do rukou a nechá se táhnout pod vodou. Od té doby jsme s ním trávili hodiny ve vodě, zkoumali jsme podmořský svět a bavili se tím, jak nás skútr táhne, zatímco jsme se cítili jako opravdoví potápěči.

Později, když jsem vyrostl, začal mít skútr problémy. Už neměl potřebný výkon, aby se s ním dalo potápět tak jako dřív. Musel jsem si nasazovat ploutve a aktivně skútru pomáhat, abych se s ním vůbec mohl pohybovat. I tak to ale byla zábava a užíval jsem si každou chvíli, kterou jsem s ním strávil. Nakonec však skútr přestal fungovat. Pravděpodobně se přes zteřelé těsnění dostala slaná mořská voda do skútru a to skútr zničilo.

Když jsem si vybíral téma své práce SOČ, žádné z předem vypsanych témat mě neoslovilo, a tak jsem si musel vybrat svoje vlastní. Chtěl jsem něco postavit, vždycky mě bavilo něco vyrábět v elektrotechnice. Po nějaké době mě napadlo, že bych sestrojil nový potápěčský skútr.

Cílem mé práce bylo vytvořit mnohem výkonnější, rychlejší, lehčí a spolehlivější potápěčský skútr, který by vyhovoval mým potřebám a překonal nedostatky staršího modelu. Mým prvním cílem bylo především zajistit, aby skútr vůbec fungoval. Bylo nezbytné, aby jeho základní funkce, jako je pohyb pod vodou a ovládání, byly spolehlivé a plně funkční.

Druhým klíčovým cílem bylo zajistit vodotěsnost skútru. Tento požadavek byl naprosto zásadní, protože jakýkoliv průnik vody by mohl poškodit elektroniku a motor a znemožnit jeho používání. Vytvořit konstrukci, která by byla odolná vůči vodě i při dlouhodobém ponoření, představovalo technickou výzvu, na kterou jsem se chtěl soustředit.

Dalším cílem, který jsem si stanovil, bylo dosáhnout toho, aby skútr dokázal vyvinout rychlost alespoň 2 m/s, což jsem považoval za optimální hodnotu pro efektivní a zábavné používání. Bylo nutné zvolit dostatečně výkonný motor a zároveň navrhnout konstrukci, která by minimalizovala odpor vody.

Čtvrtým a neméně důležitým cílem bylo snížit hmotnost skútru. Starý skútr, který jsme kdysi používali, měl velkou nevýhodu v podobě těžkých olověných baterií a jeho celková hmotnost byla přes 8 kilogramů, při kapacitě baterie 6 Ah. To ztěžovalo manipulaci a přenášení. Mým cílem bylo dostat se s hmotností pod 7 kilogramů, což by učinilo skútr praktičtější a přívětivějším pro uživatele a to při vyšší kapacitě baterie.

Kromě technických požadavků týkajících se skútru jsem si také stanovil několik osobních cílů. Jedním z nich bylo naučit se ovládat naši domácí 3D tiskárnu, což mi mělo umožnit vyrábět jednotlivé díly skútru přímo podle mých návrhů. S tím souvisel i další cíl a to naučit se modelovat ve Fusion 360. Posledním, ale stále důležitým cílem, bylo naučit se programovat Arduino pro potřeby mé práce.

## 2 VÝBĚR DÍLŮ KE STAVBĚ

### 2.1 Motor

Motor je nejdůležitější součástí celého skútru. Bude vytvářet sílu, která bude táhnout člověka dopředu. Pohon bude elektrický, aby se mohl potopit celý skútr pod vodu, tudíž spalovací motor nepřipadá v úvahu. Elektrický motor je bezúdržbový, což je výhoda. Při výběru elektrického motoru mám na výběr ze dvou velkých skupin. První jsou stejnosměrné motory, takzvané DC motory, a druhá jsou střídavé motory neboli AC motory. Převzaté názvy pochází z angličtiny.

#### 2.1.1 Teorie elektromotoru

Stejnosměrné motory využívají Lorentzovy síly, na vodič, kterým prochází elektrický proud a je v magnetickém poli, buď permanentních magnetů, nebo elektromagnetů, působí tato síla a ta s vodičem pohybuje. Elektromotor se skládá ze dvou hlavních částí rotor a stator. Stator se na rozdíl od rotoru nehýbe a je pevnou částí motoru, vytváří trvalé magnetické pole a to pomocí cívek popřípadě trvalých magnetů. Rotor je část motoru, která se pohybuje a je pevně spojena s hřídelí. Na rotoru jsou umístěny cívky, jelikož pokud by se rotor skládal pouze z jednoho drátu síla by byla velmi slabá, ale zvýšením počtu vodičů zvyšujeme Lorentzovu sílu a tím i sílu motoru. Pro napájení cívek rotoru slouží takzvaný komutátor, jedná se o elektrotechnickou součástku, která zajišťuje pohyblivý přívod napětí a přepólování. Uvnitř motoru je důležité, aby směr a síla Lorentzových sil byly konstantní. K tomu slouží právě komutátor. Komutátor je rozdělen do několika izolovaných lamel, napájeny jsou vždy ty dvě, které jsou nejbližší k magnetu statoru. Tímto bude síla přibližně konstantní a motor bude mít hladký chod a zároveň bude stálý směr Lorentzovy síly, když budeme na lamelu u jednoho pólu statoru přivádět stálý elektrický pól. Kartáčky jsou uhlíkové nebo kovové součástky, které umožňují pohyblivé spojení elektrického obvodu. [1]

Asynchronní střídavé motory mají oproti stejnosměrným motorům jisté odlišnosti. Pracují na střídavém proudu, a k tomu musí být přizpůsobeny. Skládají se opět ze statoru a rotoru. Stator tvoří cívky na jádře z feromagnetického materiálu. Rotorem je tzv. kotva na krátko. Pracují na principu elektromagnetické indukce – do cívek statoru je přiveden střídavý proud. Cívky tvoří rotující magnetické pole, které prochází vodivými smyčkami rotoru (kotvy nakrátko). Ve smyčkách rotoru se indukují napětí, teče jimi indukovaný proud, jehož magnetické pole se snaží „dohnat“ pole vytvářené statorem a dojde k roztočení rotoru.

#### 2.1.2 Výběr elektromotoru

Při stavbě bylo zapotřebí rozhodnout, který typ motoru vybrat, následně zjistit požadovaný výkon. Výkon motoru musí být dostatečný, aby překonal odpor prostředí, v mém případě odpor vody. Pro výpočet odporové síly využiji Newtonův vztah pro odporovou sílu.

$$F = \frac{1}{2} C \rho S v^2$$

V tomto vztahu  $C$  reprezentuje součinitel odporu, který zahrnuje tvar a povrch tělesa, řecké písmeno  $\rho$  představuje hustotu okolního prostředí v kilogramech na metr krychlový,  $S$  je plocha čelního řezu tělesa v metrech čtverečních a  $v$  je rychlost tělesa v metrech za sekundu. [2]

Tyto hodnoty nemohu nijak zjistit nebo vypočítat, jelikož součinitel odporu se zjišťuje experimentálně, průřez tahaného člověka bude různý, jelikož záleží na anatomii člověka a také se bude složitě měřit. Mohu ovšem hodnoty odhadnout a vzít silnější motor, abych měl dostatečnou rezervu. Skútr se bude využívat ve vodě, takže hustota je  $1\,000\text{ kgm}^{-3}$ . Rychlost, kterou bych chtěl dosáhnout, jsem si stanovil minimálně  $2\text{ ms}^{-1}$ . Největší průřez bude zjevně člověk. Abych měl dostatečnou rezervu, hodnotu jsem určil na  $0,2\text{ m}^2$ . Činitel odporu nebylo možné nijak stanovit přesněji, a tak můj odhad byl 1.

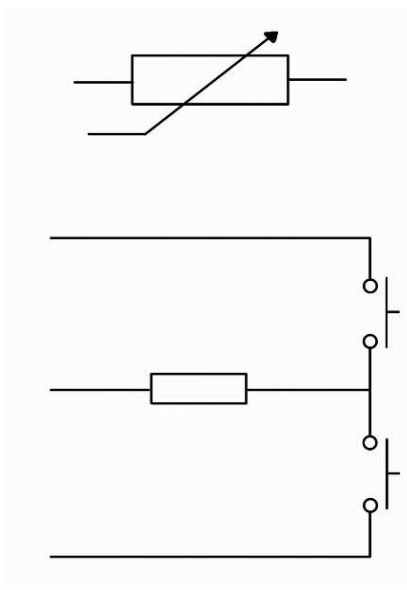
$$F = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1000 \cdot 0,2 \cdot 2^2 = 400\text{ N}$$

Po dosazení do vzorce mi vyjde odporová síla 400 N. Pro vypočítání výkonu budu vycházet ze vzorce  $P = \frac{W}{t}$ , mechanickou práci  $W$  lze spočítat jako  $W = F \cdot s \cdot \cos\alpha$ ,  $F$  bude právě odporová síla a  $\cos\alpha$  bude roven 1. Z toho lze vytvořit vzorec  $P = F \cdot \frac{s}{t}$ , dráha dělená časem je rychlost, tedy vzorec pro výpočet výkonu je následující.

$$P = F \cdot v$$

Z toho vyplývá, že můj požadovaný výkon činí 800 W. Musím ještě zohlednit účinnost motoru. Stejnosměrné elektromotory mají obvykle účinnost 75 % až 90 %, střídavé elektromotory jsou účinnější cca 85 % až 95 %. [3] Pokud tedy budu brát spodní hranici 75 %, tak potřebuji elektromotor s minimálním příkonem 1 067 W.

Vyhledávám tedy motor s výkonem přes 1 000 W a s nižšími otáčkami, protože potřebuji spíše vyšší kroutící moment. Zprvu jsem se díval po stejnosměrných motorech, jelikož jejich zapojení je jednodušší a taktéž regulace otáček motoru během užívání by byla mnohem snazší. Chtěl jsem využít regulátoru rychlosti DC motoru, místo potenciometru jsem chtěl použít tlačítka pro dvě různé rychlosti (viz obrázek 1). Pokud nebude zmáčknuté žádné tlačítko, odpor bude nekonečný, a tak se motor neroztočí, jakmile zmáčknu první tlačítko, proud bude procházet přes vhodný rezistor, který bude reprezentovat jednu hodnotu, která by byla na potenciometru, motor v tu chvíli pojede na určitou část ze svého maxima. Jak sepnou obě dvě tlačítka, odpor bude zanedbatelný a motor pojede na maximální výkon.



Obrázek 1: Zapojení dvou tlačítek místo potenciometru, Zdroj: vlastní

Po snaze nalézt optimální stejnosměrný motor jsem zjistil, že stejnosměrné motory s tímto výkonem jsou příliš těžké a pro moje použití nevhodné, pravděpodobně by se přehřívaly. Kvůli tření sběrných kartáčků a jsou objemné. Použiji proto střídavý motor, motor bude lehčí, efektivnější, výkonnější, bude se méně přehřívat a bude mít delší životnost, kvůli tomu, že nemá kartáčky, které by se průběžně opotřebovávaly. [4]

Střídavý motor bude pracovat při napětí okolo 24 V z důvodu bezpečnosti. Pokud by se skútr poškodil, tak by se mohlo vyskytnout nechráněné napětí.

Zvolil jsem střídavý motor od značky Maytech model MTO6365-200-G. Je schopen pracovat s napětím od 22,2 V do 50,4 V. Motor váží pouze 691 gramů, průměr má 63 mm a je dlouhý 65 mm.

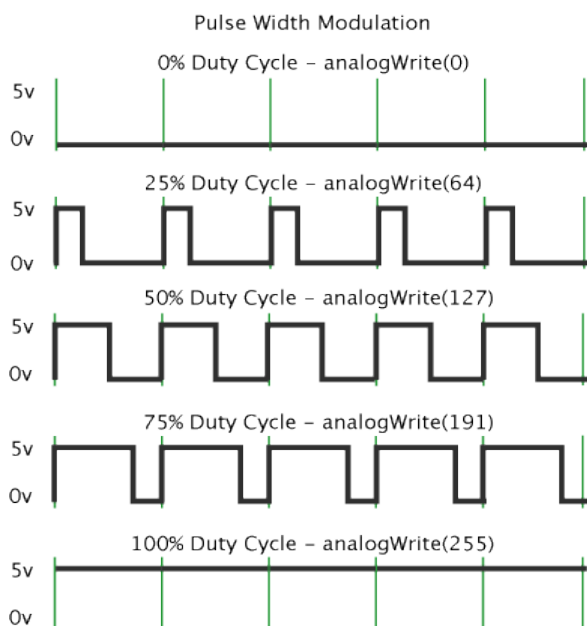
## 2.2 Řídící jednotka

Já budu vyžadovat možnost měnit rychlost, to znamená, že bude potřeba motor regulovat a snižovat nebo zvyšovat výkon. Jelikož motor je střídavý, bude nezbytné převést stejnosměrný proud z baterie na střídavý proud. K tomu slouží ESC neboli electronic speed controller, česky elektrický regulátor rychlosti.

### 2.2.1 Elektrický regulátor rychlosti (ESC)

Jedná se o elektronické zařízení, které umožňuje měnit otáčky motoru. Regulátor má datový vstup, který umožňuje prostřednictvím PWM signálu řídit otáčky motoru v širokém rozsahu. PWM je anglická zkratka pulse width modulation, česky znamená pulzně šířková modulace. Jedná se o typ signálu, který nabývá hodnot mezi 0 a 1. Poměr času, kdy hodnota nabývá 1 a času, kdy hodnota nabývá 0, vytváří požadovanou modulovanou hodnotu. Například pokud 75 % času periody bude signál nabývat hodnoty 1 a zbytek času hodnoty 0, tak výsledná

modulace způsobí, že se motor bude otáčet 75% rychlostí. [5] Zde na obrázku jde vidět, jak vypadá graf pro některé hodnoty PWM.



Obrázek 2: Graf PWM, Zdroj: <https://docs.arduino.cc/learn/microcontrollers/analog-output/>

Jelikož bude použit střídavý motor, je nutné využívat k tomu střídavý regulátor. Regulátor musí splňovat minimálně stejné požadavky na výkon jako motor, aby byl schopný dodávat požadovaný výkon. Motor, který byl zvolen, je dle specifikací schopen odebírat maximální proud 70 A. [6] Tuto hodnotu si ve skutečnosti nevezme nikdy, jelikož tento proud je schopen odebírat pouze při připojení ke 12 článkové lithium polymerové baterii nebo ke zdroji, který má napětí 50,4 V. Jeden článek lithium polymerové baterie má při plném nabití 4,2 V. Motor, jak bylo řečeno, bude připojen k 6 článkové lithium polymerové baterii. Proud, který bude procházet, bude tedy výrazně nižší. I přesto jsem ale vybral regulátor, který je schopen pracovat až s proudem 115 A. V uzavřeném těle skútru bude velmi omezená cirkulace vzduchu. Z toho důvodu jsem zvolil velmi předimenzovaný regulátor, aby nedocházelo k jeho přehřívání. Zvolený regulátor bude pracovat na zlomek svého maximálního výkonu. Zvolil jsem regulátor od značky T-Motor, model je AT115A 6-14S VTOL UAV Fixed Wing Drone ESC, je schopen pracovat s napětím od 22,2V do 50,4 V a dodávat dlouhodobě proud až 115 A. [7] Jak bylo řečeno, regulátor je řízen pulzně šířkovou modulací, tento signál bude vytvářet Arduino.

## 2.2.2 Arduino

Arduino je open-source platforma, která umožňuje vývoj elektronických projektů díky jednoduchému hardwaru a softwaru. Základní součástí platformy je Arduino PCB deska, která slouží jako mikrokontroler, a Arduino IDE, což je integrované vývojové prostředí pro psaní a nahrávání programů.

Arduino desky jsou vybaveny mikrokontrolery například ATmega328, které provádějí instrukce napsané v programovacím jazyce. Obsahují digitální i analogové piny pro vstupy a výstupy, které umožňují propojení s externími periferiemi. Kromě toho jsou desky vybaveny USB konektorem pro připojení k počítači, napájecím zdrojem a dalšími komponenty.

Arduino IDE je anglická zkratka Integrated Development Environment je to programovací prostředí, které uživatelům umožňuje psát, editovat a nahrávat kód na desku. Jazyk používaný v Arduino je založen na jednoduchém přístupu a vychází z C/C++. Programy, označované jako sketches, obsahují dvě hlavní funkce:

- `setup()` – Slouží k inicializaci, např. nastavení pinů jako vstupů nebo výstupů, či proměnných.
- `loop()` – Obsahuje kód, který se opakovaně provádí během provozu.

Uživatel napíše kód v tomto prostředí. Následně ten nahraje přes USB port do Arduino. Mikrokontroler na desce pak provádí program a interaguje s připojenými periferními komponenty.

Arduino využiji k ovládání regulátoru, regulátor je schopen řídit motor. Potřebuje vědět, jak má řídit motor. To se dozví z PWM signálu. Tento signál posílá Arduino.

Výběr typu Arduino není pro můj projekt příliš podstatný, jelikož já budu používat základní funkce, které zvládají veškerá Arduino. Bude využito Arduino Nano, je nejlevnější a prostorově nejmenší a přitom zvládne vše, co bude potřeba. [8]

### 2.2.3 Ovládání Arduino

Elektromotor bude řízen pomocí elektrického regulátoru rychlosti. Ten bude dostávat informace od Arduino prostřednictvím PWM signálu. Arduino se bude ovládat spínači. Vodotěsná tlačítka by byla řešení, ovšem představuje to spoustu problémů. Například tím vznikají další prostupy, které by bylo potřeba utěsnit, dále vodotěsná tlačítka nejsou příjemná na stisk. Proto jsem zvolil pro ovládání Arduino dvě páky, na jejichž konci je permanentní neodymový magnet. Posunutím páky se přiblíží magnet k jazýčkovému magnetickému spínači uvnitř těla skútru. Tímto bude spínač sepnut. Na potápěčském skútru jsou dvě páky, na každé straně je jedna. Jsou tedy i dva jazýčkové magnetické spínače. Arduino je naprogramováno tak, že posunutím první páky, a tedy sepnutím prvního spínače, je výkon omezen na 40 %. Sepnutím druhého spínače se zvýší výkon na 65 %. Zmáčknutí obou pák současně, (tím obou spínačů), vyvolá dodání plného výkonu.

## 2.3 Baterie

Pro fungování elektrického motoru a veškerých elektronických součástí bude zapotřebí zdroj elektrické energie. Tímto zdrojem bude lithium-polymerová baterie. Lithium-polymerové akumulátory jsou relativně novým typem elektrického akumulátoru. Vyvinuly se z lithium-iontových akumulátorů a vylepšují jejich vlastnosti, jako je nízká hmotnost, vysoká kapacita

a minimální samovybíjení. Jsou vhodné pro použití v široké škále elektronických zařízení, včetně mobilních telefonů, fotoaparátů, notebooků, RC modelů, dronů, apod.

Lithium-polymerové akumulátory se skládají z kladné elektrody (anody), elektrolytu a záporné elektrody (katody). Anoda je obvykle vyrobena z  $\text{LiCoO}_2$  nebo  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ , elektrolyt je vodivý polymer (polyethylenoxid). Katoda je lithiová nebo ze sloučeniny uhlíku a lithia. Plně nabitý článek má napětí až 4,23 V. Pokud napětí klesne pod 2,7 V, může být akumulátor nenávratně zničen.

Mezi výhody lithium-polymerových akumulátorů patří vysoká kapacita, minimální samovybíjení, dlouhá životnost a možnost rychlého nabíjení. Nevýhodou je možnost vznícení nebo výbuchu, klesající kapacita i při nepoužívání a vyšší pořizovací cena. [9]

Použitá baterie bude mít šest článků. Pokud bude baterie plně nabitá její napětí se bude pohybovat okolo 25,2 V. Výrobce T-Motor neudává, jaký proudový odběr prochází motorem při připojení k šesti článkové baterii. Zveřejňuje pouze hodnotu pro maximální napětí. Tato hodnota činí 70 A. Při polovičním napětí proud klesne, ovšem nevíme o kolik. Zvolil jsem baterii s kapacitou 20 000 mAh, jedná se o baterii s největší vyráběnou kapacitou. Má přitom požadované rozměry a přijatelnou hmotnost.

Baterie musí být schopna dodávat dostatečný proud. Specifikace baterie je doplněna o hodnotu C. Tato hodnota udává maximální nabíjecí a vybíjecí proud dané baterie. Pro mě je důležitý vybíjecí proud. Ten se zpravidla udává ve dvou hodnotách. Například u vybrané baterie 25/50 C, první číslo udává maximální trvalý vybíjecí proud, druhá hodnota je maximální špičkový vybíjecí proud. Daný proud lze spočítat jako součin kapacity baterie v ampérhodinách a hodnoty C. [10] Pro moji baterii je tedy maximální trvalý vybíjecí proud  $20 \cdot 25 = 500 \text{ A}$ , což je naprosto dostatečné.

Vybraná baterie je od výrobce Bighobby-Nano Tech. Jedná se o šesti článkovou lithium-polymerovou baterii s kapacitou 20 000 mAh s vybíjecími hodnotami 25 C / 50 C. [11] Hmotnost baterie činí 2,57 kg a rozměry jsou 209 mm × 91 mm × 68 mm.



Obrázek 3: Baterie, Zdroj: vlastní

## 2.4 Lodní šroub

Optimální způsob jak převést otáčivou sílu motoru na pohyb kupředu bude použití lodního šroubu. Lodní šroub je zařízení s rotujícími listy, které se používá k pohonu lodí a dalších plavidel. Funguje tak, že přeměňuje rotační pohyb motoru na tah, který tlačí loď vpřed. Při výběru lodního šroubu se dívám především na průměr lodního šroubu, materiál, počet listů a stoupání. Stoupání označuje teoretickou vzdálenost, kterou by lodní šroub urazil vpřed během jedné otáčky, pokud by mezi jeho lopatkami a vodou nedocházelo k žádnému „prokluzu“. V praxi však k prokluzu dochází, což znamená, že skutečně ujetá vzdálenost bude vždy menší, než by odpovídalo teoretickému výpočtu podle stoupání.

Materiál lodního šroubu jsem zvolil plast, jednak se tím sníží hmotnost, výrazně sníží pořizovací cena, ale také nerezový lodní šroub by představoval větší nebezpečí pro uživatele. Průměr lodního šroubu jsem zvolil tak, aby jen lehce přesahoval průměr celého těla skútru. Při spočítání průměru válce, který bude představovat tělo celého skútru, vycházím z toho, že válec bude o cca 3 cm na každé straně větší než opsaná kružnice nejmenšího obdélníku baterie.

$$d = \sqrt{91^2 + 68^2} + 55 \approx 170 \text{ mm}$$

Potřebný lodní šroub je plastový a má průměr lehce větší, než 170 mm. V této kategorii není příliš velký výběr, jelikož lodní šrouby tohoto typu nejsou frekventovaně využívány. Objevil jsem ale třílistý lodní šroub od společnosti Honda. S průměrem 7,25 palce, tedy 184,15 mm a se stoupáním 120,65 mm. Pro výpočet statického tahu lodního šroubu je použita Abbottova metoda, která zní následovně:

$$T = 6,8 \cdot 10^{-5} \cdot D^3 \cdot p \cdot n^2 \quad [12]$$

*„Jak bylo avizováno, touto rovnicí se počítá statický tah vrtule, tzn. ve vzdušném prostředí. Nicméně, z ostatních pramenů lze vyvodit závěr, že po přenásobení pravé strany rovnice podílem hodnot hustoty vody a hustoty vzduchu, bude získán statický tah pro lodní šroub. D značí průměr vrtule v metrech, p je stoupání v metrech a n jsou aktuální otáčky v ot/min.“* uvádí Křemen (2014). [13] Tedy upravený vzorec uvedený výše:

$$T = \frac{\rho_{\text{voda}}}{\rho_{\text{vzduch}}} \cdot 6,8 \cdot 10^{-5} \cdot D^3 \cdot p \cdot n^2$$

Pro můj lodní šroub mohu takto spočítat optimální otáčky, tím že si z rovnice vyjádřím  $n$  a dosadím moje hodnoty. Hustota vody je přibližně  $1\,000 \text{ kg/m}^3$ , hustota vzduchu je okolo  $1,25 \text{ kg/m}^3$ , tah vrtule potřebuji alespoň 400 N, tak, jak bylo spočítáno v kapitole [Výběr elektromotoru](#), rozměry vrtule jsou uvedeny výše.:

$$n = \sqrt{\frac{T}{\frac{\rho_{\text{voda}}}{\rho_{\text{vzduch}}} \cdot 6,8 \cdot 10^{-5} \cdot D^3 \cdot p}} = \sqrt{\frac{400}{\frac{1000}{1,25} \cdot 6,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,18415^3 \cdot 0,12065}} \approx 3100 \text{ ot/min}$$

Pro tyto otáčky je mnou vybraný lodní šroub vhodný, jeho maximální otáčky udávané výrobcem jsou 5 000 ot/min. Nad tyto otáčky je tento lodní šroub neefektivní, již není schopen dodávat takový tah a může se poškodit kvůli kavitaci.

Kavitace u lodního šroubu je jev, ke kterému dochází, když se tlak vody v okolí vrtule sníží natolik, že se voda začne vypařovat a tvořit bublinky páry. Tyto bublinky kolabují v oblastech s vyšším tlakem a způsobují poškození povrchu vrtule. Snižují její účinnost, generují nadměrný hluk a vibrace a negativně ovlivňují manévrovatelnost. Kavítaci způsobuje několik faktorů: vysoké otáčky vrtule, nedostatečné ponoření vrtule, nesprávná konstrukce listu, rozbouřené vodní podmínky a poškození vrtule. S rostoucími otáčkami vrtule se zvyšuje i pravděpodobnost kavitace, jelikož rozdíl tlaků mezi nízkotlakou a vysokotlakou stranou vrtulového listu je značný. Při nedostatečném ponoření, například v mělkých vodách, tlak vody nad listy klesá a může kavitaci vyvolat. [14]

Použiji tedy lodní šroub od japonské společnosti Honda s rozměry  $7\frac{1}{4} \times 4\frac{3}{4}$  " určený k benzínovému spalovacímu motoru Honda BF2.3. Bylo by možné snížit otáčky tím, že bych sehnal lodní šroub s větším stoupáním nebo s větším průměrem, ale takový lodní šroub nebyl dostupný.

## 2.5 Tělo potápěčského skútru

Celý potápěčský skútr bude potřebovat nějaké tělo. Musí ho být za co ho držet a hlavně veškeré komponenty a součástky musí být ve vodotěsném obalu, jelikož by je voda poškodila. Požadavky na tělo jsou, aby bylo vodotěsné, dále nesmí být křehké a musí být pevné, také musí být snadno rozebíratelné pro snadné vyjmutí baterie po jízdě a následnému dobití. Tělo může být zejména z celé řady plastových materiálů, například by bylo možné tělo vytvořit z upravené KG instalační trubky, popřípadě z nějaké jiné.

Vybral jsem si tělo vytisknout na 3D tiskárně. Tělo si mohu přizpůsobit svým potřebám tím, že si ho sám vymodeluji. Dále stejně bude potřeba vyrobít ochranný koš okolo vrtule a přední část. Tyto dvě části by byly stejně nutné vytisknout na 3D tiskárně, a tak jsem se rozhodl vytisknout všechny části těla na 3D tiskárně.

### 3 STAVBA POTÁPĚČSKÉHO SKÚTRU

První částí stavby bylo zprovoznit celé pohonné ústrojí a zajistit, aby komponenty fungovaly dříve, než je vložím do těla. Bude tedy zapotřebí zajistit komunikaci mezi Arduinem a elektrickým regulátorem rychlosti. Začnu tedy s kalibrací elektrického regulátoru.

#### 3.1 Kalibrace elektrického regulátoru rychlosti

Elektrický regulátor rychlosti, tak, jak přijde z výroby, není zkalibrován, neví tedy jaké hodnoty PWM signálu jsou maximální a minimální a nemá napájené konektory. Před použitím a zapojením je potřeba regulátor zkalibrovat a připájet konektory. Tři konektory pro připojení s motorem byly dodány v balení s motorem a stačí je tedy pouze připájet. Dále je potřeba konektor pro propojení s baterií. Baterie je dodávána s konektorem XT90. Dokoupil jsem tedy opačnou část konektoru XT90 a připájel ho k regulátoru.



Obrázek 4: Pájení konektorů, Zdroj: vlastní

Kalibraci elektrického regulátoru rychlosti budu provádět dle manuálu od výrobce. Zde je napsán postup přesně k této akci.

### Kalibrace rozsahu škrticí klapky:



Zapněte vysílač, přesuňte páku plynu do horní polohy.



Připojte baterii k ESC a počkejte přibližně 2 sekundy.



Měl by zaznít tón „píp-píp“, což znamená, že byl potvrzen horní bod rozsahu plynu.



Přesuňte páku plynu do spodní polohy a počkejte 1 sekundu.



Měl by zaznít dlouhý tón „píííp“, což znamená počet článků baterie Lipo.



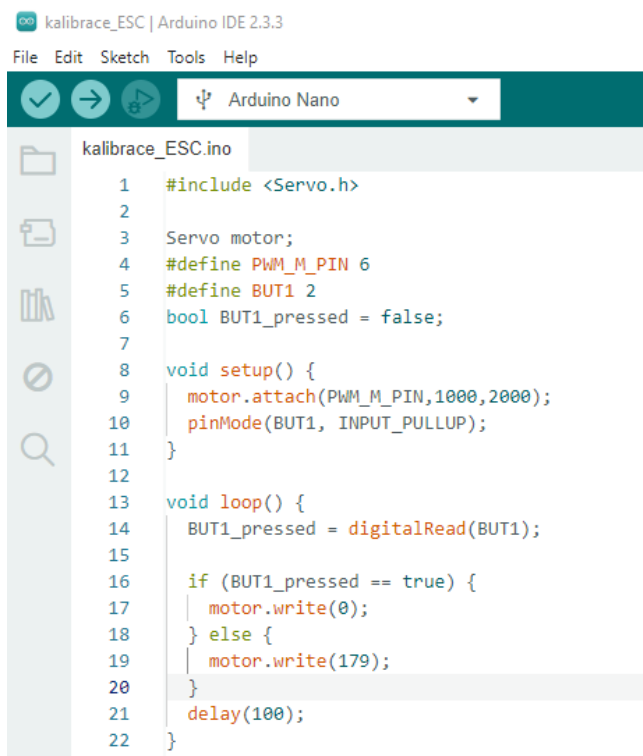
Tón „píp-píp“ znamená, že byl potvrzen spodní bod rozsahu plynu



Systém je připraven ke vzletu

Obrázek 5: Postup kalibrace ESC převzatý od dovozce, Zdroj: [www.bighobby.cz](http://www.bighobby.cz)

Tento proces je tedy zapotřebí udělat před prvotním použitím. K tomu, abych mohl regulátor zkalibrovat, vytvořím nový program pro Arduino. Program musí tedy přesně napodobovat to, co je napsáno v manuálu. Sepnu vypínač a to bude znamenat 0, následně připojím regulátor k baterii, dle manuálu počkám dvě sekundy, následně mám jednu sekundu na to, abych rozeplnul spínač. V programu to zapříčiní, že podmínka již nebude splněna a bude poslán PWM signál s maximální hodnotou. Tímto bude regulátor naprogramován a takhle vypadá použitý program.



Obrázek 6: Program pro kalibraci, Zdroj: vlastní

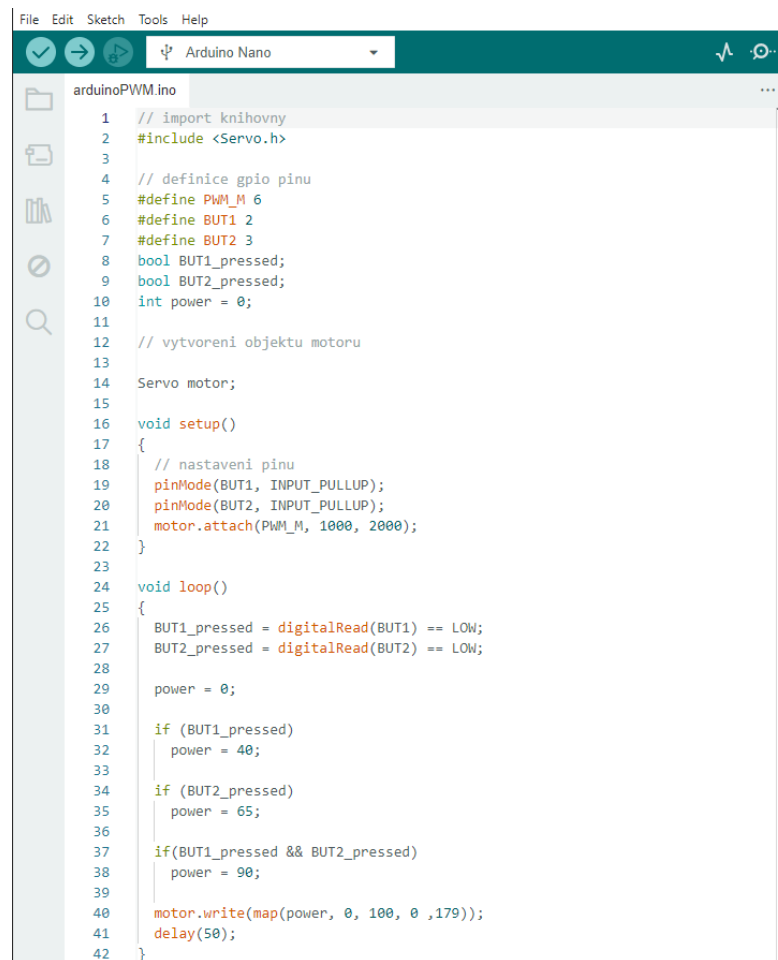
Popis programu je následující: prvně je přidána knihovna, následně jsou definovány piny a proměnná, ve funkci `void setup()` jsou nastaveny piny a ve funkci `void loop()` se prvně načte do proměnné, zda je spínač sepnut, následně je podmínka, pokud je spínač sepnut hodnota PWM signálu je 0 pokud je spínač rozepnut hodnota je 179, na konci programu už je pouze prodleva. Více o programování Arduina v následující kapitole.

K tomu, abych zkalibroval regulátor pomocí Arduina je zapotřebí vše správně propojit. Začnu tím, že propojím tlačítko s pinem dva a druhý konec tlačítka propojím s pinem GND, jedná se o zkratku slova ground tedy zem. Následně propojovací kabel dodávaný k regulátoru zapojím do regulátoru do konektoru, vedle kterého je písmeno S jako signál. Kabel se skládá ze tří vodičů. Ten vodič, který je zapojený hned vedle písmena S, slouží pro PWM signál a ten tedy propojím s pinem 6. Prostřední vodič dodávaného kabelu slouží k napájení, ten momentálně používat nebudu a druhý krajní vodič, vedle kterého je natištěno –, propojím taktéž s pinem GND. Pro napájení Arduina zatím používám USB z počítače. V tuto chvíli mohu provést kalibraci dle manuálu od výrobce.

## 3.2 Programování Arduina

Jak bylo již řečeno Arduino bude sloužit jako řídicí jednotka regulátoru, to bude dělat pomocí PWM signálu. K tomu bude ale potřeba Arduino naprogramovat, k Arduinu je zapotřebí si nainstalovat zdarma dodávanou aplikaci Arduino IDE, jak bylo již vysvětleno, jedná se o vývojové prostředí na základě C++.

Před samotným programováním je nutné definovat, co bude cílem programu a co má umět. Bude potřeba, aby při sepnutí prvního spínače skútr jel na 40 % svého výkonu, tyto hodnoty budu po následném vyzkoušení upravovat dle potřeb. Při sepnutí druhého spínače jel na 65 % svého výkonu a při sepnutí obou dvou spínačů jel na 90 %, ne 100 %, abych nevyužíval plný výkon.



```
1 // import knihovny
2 #include <Servo.h>
3
4 // definice gpio pinu
5 #define PWM_M 6
6 #define BUT1 2
7 #define BUT2 3
8 bool BUT1_pressed;
9 bool BUT2_pressed;
10 int power = 0;
11
12 // vytvoreni objektu motoru
13
14 Servo motor;
15
16 void setup()
17 {
18     // nastaveni pinu
19     pinMode(BUT1, INPUT_PULLUP);
20     pinMode(BUT2, INPUT_PULLUP);
21     motor.attach(PWM_M, 1000, 2000);
22 }
23
24 void loop()
25 {
26     BUT1_pressed = digitalRead(BUT1) == LOW;
27     BUT2_pressed = digitalRead(BUT2) == LOW;
28
29     power = 0;
30
31     if (BUT1_pressed)
32         power = 40;
33
34     if (BUT2_pressed)
35         power = 65;
36
37     if (BUT1_pressed && BUT2_pressed)
38         power = 90;
39
40     motor.write(map(power, 0, 100, 0, 179));
41     delay(50);
42 }
```

Obrázek 7: Program Arduina, Zdroj: vlastní

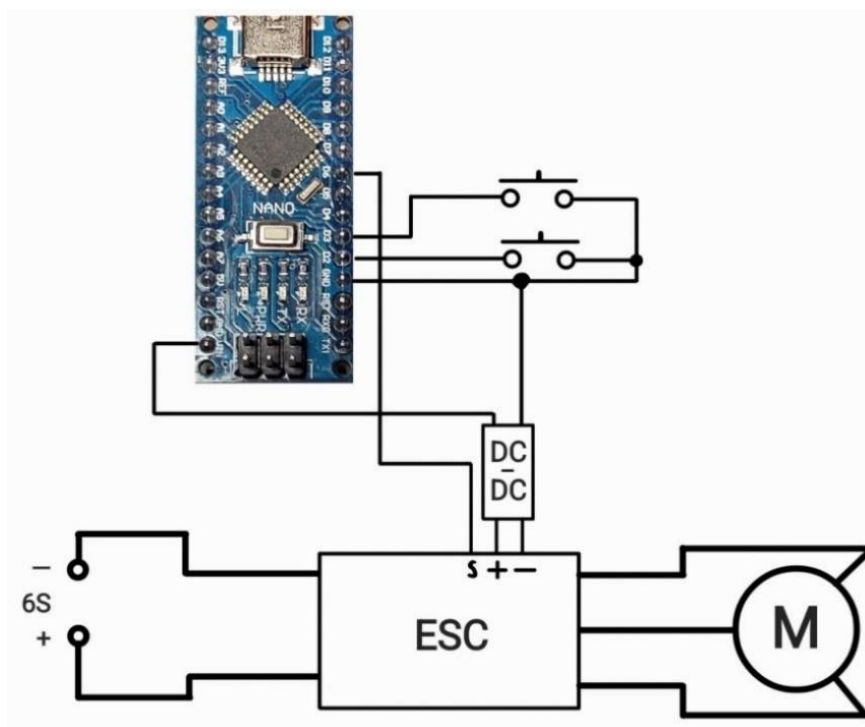
Zde lze vidět celý program. Má tři pomyslné části. První část je nad funkcí `void setup()`, zde je importována knihovna, která bude zapotřebí a jsou zde definovány GPIO piny při výběru pinu, jelikož nemohu využít jakýkoliv GPIO pin na Arduinu, musím vždy myslet na to, že ne každý GPIO pin umožňuje vše a je potřeba najít, které piny umožňují PWM signál. U Arduina Nano to umožňuje například GPIO pin 6. Pro vysvětlení GPIO je zkratka z angličtiny General-purpose input/output, česky univerzální vstupní/výstupní pin označuje právě piny na Arduinu popřípadě i na jiných jednodeskových počítačích. [15]

V druhé části programu ve funkci `void setup()` jsou nastavovány právě GPIO piny. Jakou mají funkci a co dělají. V poslední části programu ve funkci `void loop()` je právě daný program, který se neustále opakuje.

Program funguje následovně, na řádku 26 si nahrávám do proměnné, zda je první spínač sepnut či nikoliv. Na řádku 27 se děje to stejné, jen pro druhý spínač. Na řádku 29 je defaultně nastaveno, když se nebude nic dít, že motor je vypnutý. Na řádku 31 je podmínka, že když proměnná je rovna true tedy spínač je sepnut, tak na řádku 32 je řečeno, že výkon motoru je 40 %. Na řádku 34 je to stejné jako na řádku 31, akorát pokud je sepnutý druhý spínač, tak výkon motoru je 65 %. Na řádku 37 je velmi obdobná podmínka jako předešlé dvě, ale musí být sepnut jak první spínač, tak i druhý spínač. Pokud to je splněno, tak výkon motoru je 90 %.

Na 40. řádku je přepočítání procent na PWM hodnoty, jak byl zkalibrován elektrický regulátor rychlosti, tedy 0 % je rovno 0, ale 100 % je rovno 179, tak tato funkce to přepočítá. Na posledním řádku je pouze delay (zpoždění). To dělá, aby program nepracoval neustále, když to není potřeba. Nepředpokládám, že by jakýkoliv uživatel měnil sepnutí a rozepnutí spínačů tak rychle. Proto, na konci programu, předtím, než začne znovu na řádku 26, Arduino nebude nic dělat po dobu 50 milisekund, člověk to nijak nepozná a šetří se tím Arduino (menší zahřívání).

Je teď potřeba sestavit elektrický obvod kolem Arduino a zapojit Arduino k regulátoru. Obvod bude velmi podobný jako při kalibraci. Prvně propojení GPIO pinu 2 a prvního spínače, druhá část spínače na GND pin, to stejné pro druhý spínač z GPIO pinu 3 na druhý spínač a následně na GND. Následně propojení GPIO pin 6 s pinem na regulátoru, který je označen písmenem S. Arduino bude potřebovat napájení. K tomu slouží pin VIN na Arduino, slouží jako vstupní pin pro napájení. Pokud připojíme tedy externí zdroj napětí (například baterii, v mém případě z regulátoru je přímo výstup) na pin VIN, Arduino bude napájeno tímto zdrojem. Napětí by mělo být v rozsahu 7–12 V, protože toto napětí prochází přes interní regulátor napětí na Arduino, který jej sníží na 5 V nebo 3,3 V podle potřeby. Napětí, které je schopné regulátor dodat činí 6 V, což je příliš málo pro Arduino. Proto jsem použil DC-DC měnič, který je schopen zvýšit napětí. Pin na regulátoru, označený symbolem –, propojíme s pinem VIN– na DC-DC měniči. Na regulátoru je ještě pin označený symbolem +, ten propojíme na pin VIN+ také na DC-DC měniči. Výstup z DC-DC měniče připojíme k Arduino, VOUT– na GND a VOUT+ na VIN na Arduino. Následně připojíme motor k regulátoru, v našem případě nezáleží na tom, jak ho připojíme, maximálně se bude otáčet jiným směrem, než je třeba a to lze snadno opravit tím, že jakékoliv dva vodiče vyměníme. Posledním zapojením je připojit baterii k regulátoru. Výsledný obvod vypadá následovně.



Obrázek 8: Schéma elektrického obvodu skútru, Zdroj: vlastní

### 3.3 Modelace těla potápěčského skútru

Jak bylo řečeno, tělo bude vytisknuto na 3D tiskárně. Bude zapotřebí veškeré díly vymodelovat. Tělo se bude skládat z několika dílů. První hlavní a největší díl je tělo samotné. Je zapotřebí, aby se do něj vešla baterie, regulátor, Arduino a prostor pro kabeláž. Motor záměrně má svůj vlastní prostor, ve kterém již nebude žádná jiná součástka, protože nejtěžší bude udržet voděodolnost kolem rotující hřídele. Jelikož hřídel, která je u motoru není dostatečně dlouhá, je zapotřebí ji prodloužit. Spojíme tedy další hřídel se hřídelí motoru pomocí hřídelové pružné spojky.

Je potřeba vytisknout také ochranný koš kolem vrtule. Ten se skládá ze dvou částí, jelikož je potřeba do něho vložit vrtuli. Pokud by byl z jednoho kusu, lodní šroub bych do něho nedostal. Je tedy zapotřebí vymodelovat dolní část ochranného koše a horní část ochranného koše. Poslední větší částí těla potápěčského skútru je špička, slouží ke zlepšení aerodynamického tvaru. Špička nebude muset být vodotěsná, bude už jen připevněna na již vodotěsně uzavřené tělo. Při modelaci začínám u prostoru u motoru, modelace je pro mě takhle nejjednodušší. Pro práci používám bezplatnou verzi programu Fusion 360.

#### 3.3.1 Modelace motorového prostoru

Prvním krokem modelace bylo dno. Motor je na své čelní straně vybaven 8 otvory se závity M4 pro uchycení. Následně je potřeba nechat prostor pro prostup hřídele a utěsnit ho. Toho docílím pomocí tlakových gufer od taiwanského výrobce NAK, jedná se tlaková gufera dimenzována až na tlak do 10 bar.

Po pořízení gufer jsem změřil jejich přesné rozměry a změřil jsem rozměry, v jakých místech se vyskytují montážní díry u motoru (viz obrázek 9), mohl jsem začít s modelací.



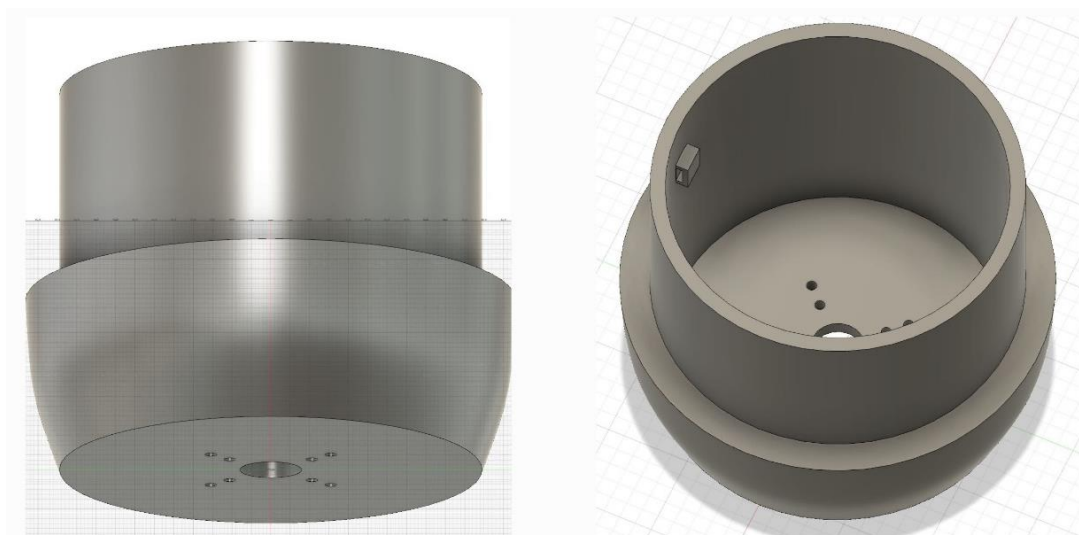
Obrázek 9: Ukázka čelní strany motoru a tlakového gufera, Zdroj: vlastní

Technical drawing of a circular part, likely a cross-section of a shaft or a similar component. The drawing is centered on a grid with a red horizontal axis and a green vertical axis. The part is defined by several concentric circles and radial lines.

Key dimensions and features include:

- Outer Diameter:**  $\varnothing 100.00$
- Inner Diameter:**  $\varnothing 30.00$
- Radial Dimensions:**
  - $21.675$  (from center to the inner circle)
  - $27.500$  (from center to the outer circle)
  - $21.675$  (from center to the inner circle)
  - $27.500$  (from center to the outer circle)
- Angular Dimensions:**
  - $45.0^\circ$  (between radial lines)
  - $30.0^\circ$  (between radial lines)
  - $5.0^\circ$  (between radial lines)
  - $5.0^\circ$  (between radial lines)
- Other Dimensions:**
  - $\varnothing 43.75$  (inner diameter of a smaller circle)
  - $\varnothing 30.00$  (inner diameter of a smaller circle)
  - $21.675$  (radial dimension)
  - $27.500$  (radial dimension)
  - $21.675$  (radial dimension)
  - $27.500$  (radial dimension)

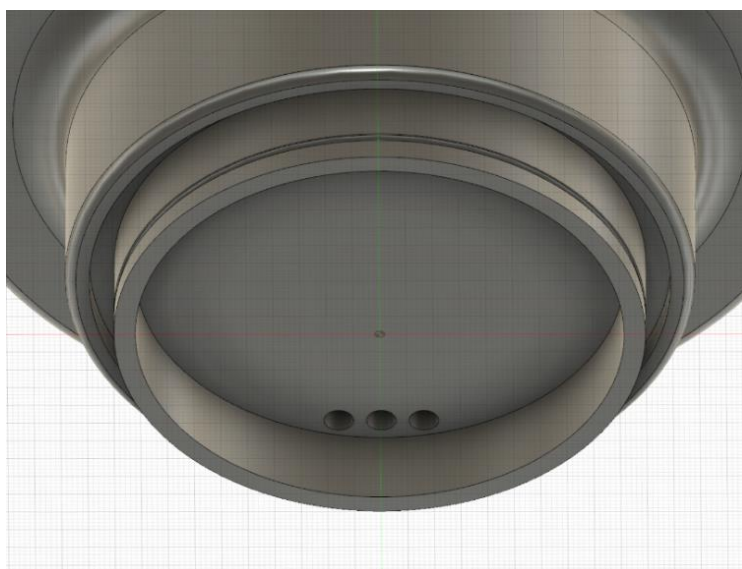
dná byla zvolena na 5 mm, protože tloušťka gufera činí právě necelý



Obrázek 11: Pohled na model, Zdroj: vlastní

### 3.3.2 Modelace trupu

Uvnitř hlavního trupu se budou nacházet veškeré ostatní komponenty, včetně baterie. Musí k tomu být uzpůsobený. Bude se nasazovat na horní část stěny předešlé části. Nasazení bude řešeno tak, že se část trupu vsune do předchozího dílu, vodotěsnost bude řešena o-kroužkem na vsunuté části trupu. Pro zlepšení voděodolnosti jsem ještě vytvořil aerodynamické přesazení, aby voda při obtékání trupu neměla tendenci téct směrem dovnitř. Spodní část těla vypadá následovně.

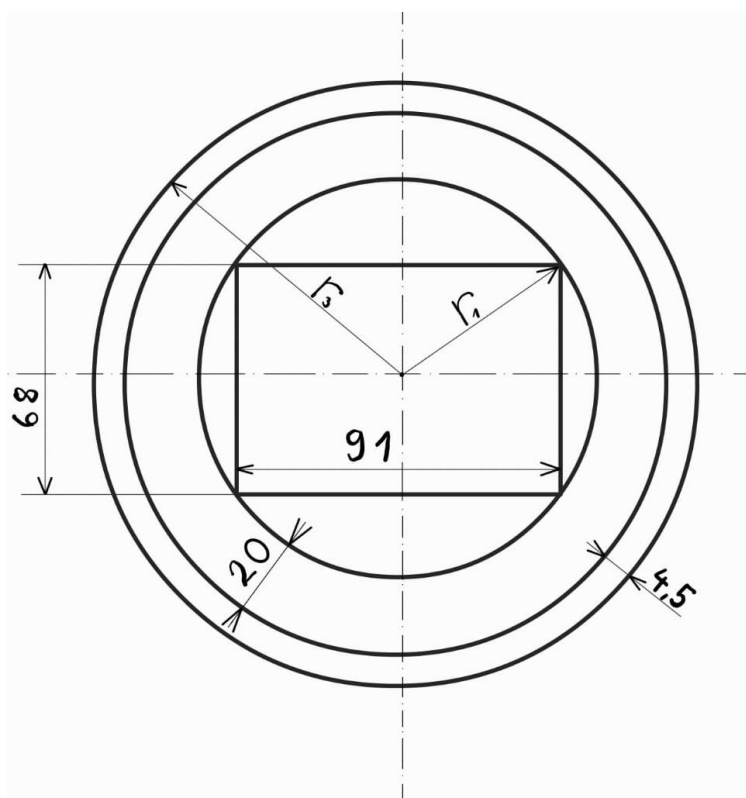


Obrázek 12: Pohled na spodní část trupu, Zdroj: vlastní

Vnější průměr válce, který se vsunuje, jsem určil na 99,8 mm kvůli nepřesnosti tiskárny. Vnitřní průměr přesazení je 109,2 mm. Vznikne mezera 0,2 mm, tu jsem použil, protože na základě komunikace s firmou tyto hodnoty doporučila na základě jejich zkušeností, z jiných projektů. Mezi těmito kružnicemi vzniká prostor, kam se vsune část s motorem. Šířka prostoru je 4,7 mm

a stěna má tloušťku 4,5 mm. Posledním krokem bylo vytvořit tři malé otvory pro přívodní kabely k motoru.

Po menší části, kde trup má průměr 118,2 mm, bude zapotřebí průměr trupu rozšířit. Je potřeba, aby se dovnitř vešla baterie o rozměrech  $91 \times 68 \times 209$  mm. Následně chci mít prostor cca 20 mm okolo baterie před 4,5 mm silnou stěnou. V nákresu lze vidět pohled z vrchu.



Obrázek 13: Nákres trupu pro výpočet poloměru, Zdroj: vlastní

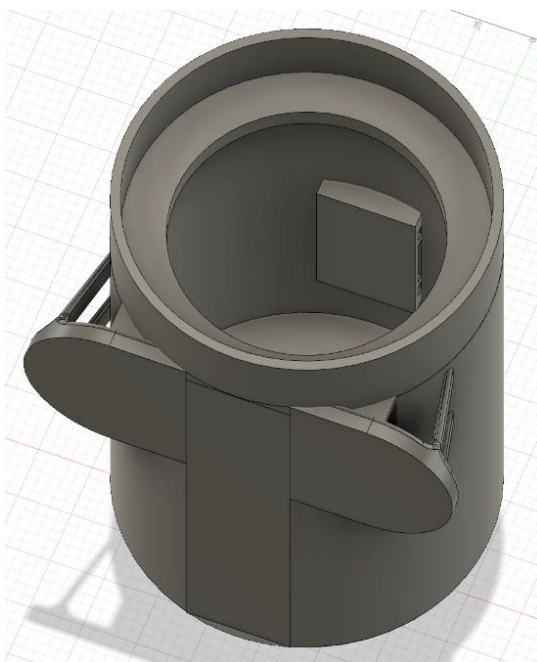
Začneme výpočtem poloměru  $r_1$  první menší kružnice. Ten spočítáme pomocí Pythagorovy věty  $r = \sqrt{45,5^2 + 34^2} \approx 56,8$  mm. Pro lepší manipulaci, vložení a vyjmutí baterie přidám rezervu 4,2 mm, tedy  $r_2 = 61$  mm. Pro zjištění poloměru nejširší kružnice připočtu 20 mm a tloušťku stěny těla skútru 4,5 mm. Poloměr  $r_3$  je roven 85,5 mm. Ještě před modelováním směrem vzhůru jsem propojil nové rozšířené dno se stěnou úzké částí těla čtvrtkružnicí, je možné vidět na obrázku 12.

Dále jsem při modelaci vytvořil obdélníkový tvar se stěnami na spodním dnu, pro ukotvení baterie. Vytáhl jsem stěny o 200 mm. Baterie bude o 35 mm zapuštěná pod úroveň rozšířeného dna, to znamená, že se baterie do těla s rezervou vejde a zůstane i prostor pro manipulaci s kabely. Tento krok můžeme vidět zde na obrázku 14.



Obrázek 14: Náhled na vytvoření stěn a místa pro baterii, Zdroj: vlastní

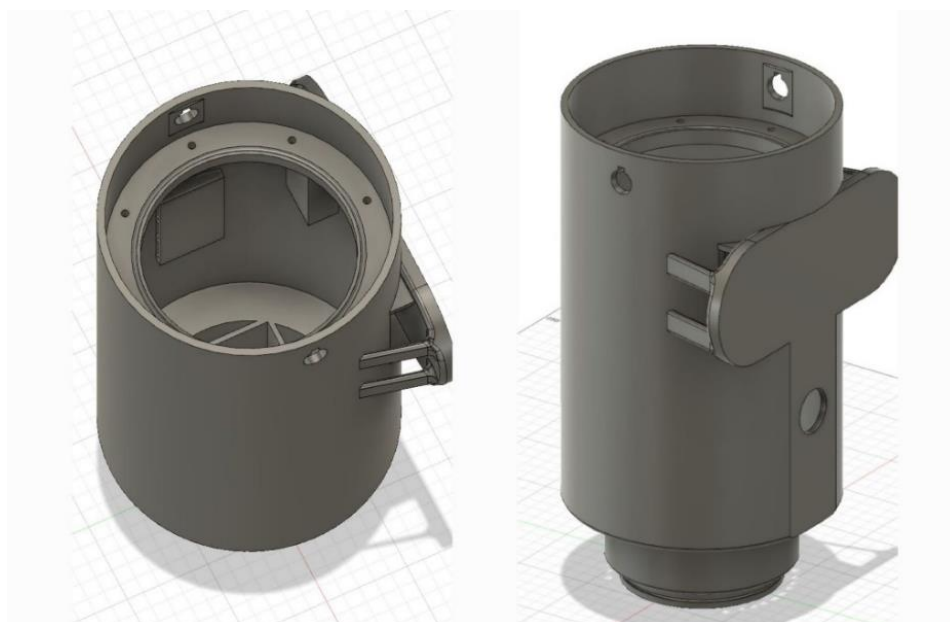
Dalším krokem bylo vytvořit na horní straně skútru nadstavbu pro připevnění řídicíků. Tato nadstavba lze vidět na obrázku 15. Pod nadstavbou je malý prostor pro táhla s permanentními neodymovými magnety. Pomocí těch jsou spínány magnetické jazýčkové spínače uvnitř těla skútru. Také jsem na vnitřní straně naproti nadstavbě pro řídicíky vymodeloval držák pro regulátor. Vymodeloval jsem v něm prostor pro protáhnutí stahovacích pásek, pro mechanické upevnění regulátoru. Na boční části trupu je pak obdobný držák, sloužící pro uchycení vytištěné krabičky s Arduinem.



Obrázek 15: Model nadstavby pro upevnění řídicíků a držák pro ESC, Zdroj: vlastní

V tomto kroku ještě bylo zapotřebí vytvořit prstencové osazení, které bude sloužit pro uzavření a utěsnění celého trupu. Na tomto osazení bude kulaté víko, které se bude mít 8 děr po obvodu

pro šrouby, které přitáhnou víko k tělu. Šrouby se budou šroubovat do mosazných závitových vložek M4 značky KINGROON. Vložky se tepelně zataví do vytvořeného prstence. Vytvořím po obvodu prstence osm děr o průměru 5 mm a hloubce 8,5 mm. Následně vytvořím drážku pro o-kroužek 2 mm od vnitřního okraje. O-kroužek bude mít vnitřní průměr 126 mm a bude 3 mm silný. Ještě vytvořím otvor pod přípravou pro řídítka. Do tohoto otvoru vložím vodotěsný voltmetr. Bude sloužit k tomu, aby průběžně monitoroval stav napětí baterie. Poslední úpravou bude udělat otvory na obou dvou stranách pro upevnění aerodynamické přední části na horní část trupu. Finální model trupu jde vidět na tomto obrázku.



Obrázek 16: Finální model trupu, Zdroj: vlastní

### 3.3.3 Aerodynamická přední část (špička)

Tato část dodává alespoň trochu aerodynamický tvar celému výrobku. Dále také díky ní nebude voda moci téct přímo pod tlakem způsobeným pohybem skútru k víku a tím se zlepší dále vodotěsnost. Dalším benefitem je, že do volného prostoru v přední části bude možné případně dát přiměřené závaží pro případné zatížení přední části nebo vyvážení těžiště celého skútru. Při modelování jsem začal tím, že jsem vytvořil prstenec s vnitřním průměrem o 0,8 mm větším, než je vnější průměr trupu. Tedy průměr činí 171,8 mm. Vnější průměr prstence je 180 mm, dále jsem nakreslil bokorys celé aerodynamické přední části, kromě prstence a otočil s ním o 360°. Tímto jsem vytvořil celý tvar špičky. Poslední úpravou bylo zploštění na dvou protichůdných stranách a vytvoření identické díry, jako u trupu. Slouží pro připojení k trupu. Hotový model vypadá dle obrázku.

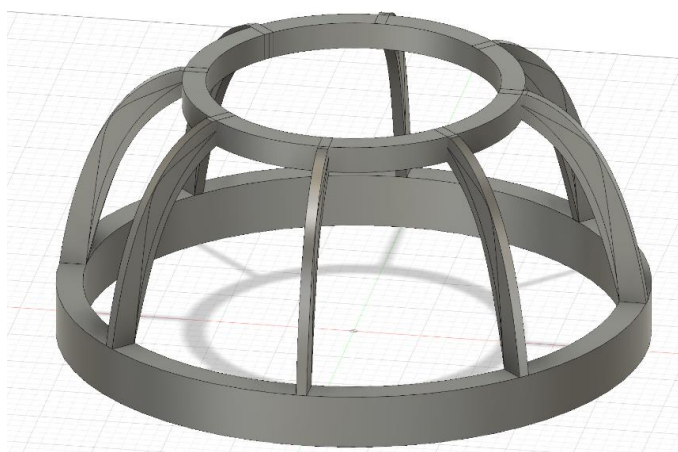


Obrázek 17: Model aerodynamické přední části, Zdroj: vlastní

### 3.3.4 Horní část ochranného koše

Nesmírně důležitou součástí celého skútru je ochranný koš. Slouží k tomu, aby se uživatel nezranil při používání o lodní šroub. Princip celého koše je následující: bude se jednat o válec, který na obou dvou koncích bude mít mřížku, aby jím mohla volně proudit voda. Koš se bude muset skládat ze dvou dílů, protože jinak by nebylo možné dovnitř umístit lodní šroub. Horní část koše se bude nasouvat na část, ve které bude uložen motor. Horní část koše se pak zastaví na přesahu, který lze vidět na obrázku 11. Jak bylo řečeno, hřídel motoru není dostatečně dlouhá. Bude tedy zapotřebí, aby se prodloužila. Proto pod částí, ve které je motor, bude ještě jedna část, ve které bude pružná hřídelová spojka na prodloužení hřídele. Tato část bude 60 mm dlouhá, z toho vyplývá, že vrtule bude 65 mm za motorem a 105 mm za přesahem, který je vidět na obrázku 11. Je tedy nezbytné s tímto počítat při modelaci ochranného koše.

Vrtule má průměr necelých 185 mm. Zvolil jsem tedy vnitřní průměr koše 200 mm. Začal jsem prvně prstencem, který je 10 mm silný. Následně jsem si ve vhodném místě nad prstencem vytvořil druhý prstenec, který se zastaví na osazení a bude se nasouvat na motorovou část. Následně jsem obloukem spojil prstence na osmi místech. Model tedy vypadá následovně.



Obrázek 18: První část modelace ochranného koše, Zdroj: vlastní

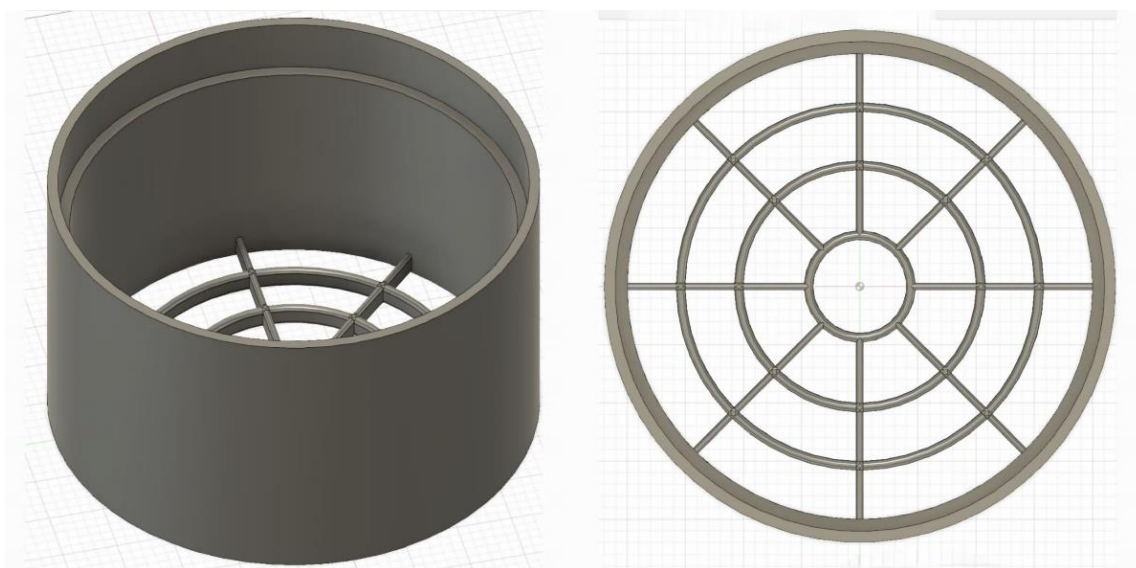
Poté jsem přidal dvě vodorovné obruče. Díky tomuto není možné se omylem dotknout lodního šroubu. Pro jistotu jsem na spodní prsten domodeloval výstupek, který také brání střetu s lodním šroubem. Poslední úpravou bylo udělat osazení ze spodní části dolního prstence, čímž bude spojení horní a dolní části ochranného koše jednodušší. Finální produkt je tedy následující.



Obrázek 19: Model horní části ochranného koše, Zdroj: vlastní

### 3.3.5 Dolní část ochranného koše

Dolní část koše bude v podstatě válec, který bude mít vespod mřížku a nahoře opačné osazení, než má horní část. Vnitřní a vnější průměr válce je stále stejný, tedy 200 mm a 220 mm. Vespod jsem vytvořil tři prstence, které jsou na osmi místech spojeny. Mřížka je 10 mm vysoká, ovšem z vrchu je tenčí, to aby kladla menší aerodynamický odpor proudění vody. Kompletní model této části je vyobrazen zde.

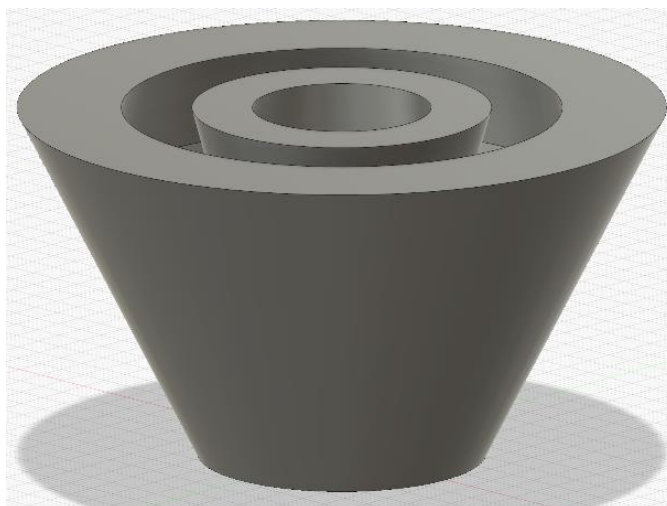


Obrázek 20: Model dolní části ochranného koše a ukázka mřížky, Zdroj: vlastní

### 3.3.6 Skříň spojky

Jedná se o část mezi motorem a lodním šroubem. V této části se prodlužuje hřídel motoru. Také se tvarově přizpůsobuje rozdílnému průměru motorové části a průměru náboje lodního šroubu. Tato část vytvoří pozvolný přechod mezi těmito průměry. Uvnitř použiji pružnou spojku mezi hřídelí motoru a prodlužovací hřídelí. Průměr hřídele lodního šroubu je 10,5 mm. Nebyl jsem schopen najít pružnou spojku 8/10,5 mm a hřídel 10,5 mm, rozhodl jsem se použít dostupnou spojku 8/12 mm a hřídel s průměrem 12 mm. Tato hřídel bude na své části opracována na soustruhu na průměr 10,5 mm. Ještě jsem se rozhodl přidat jedno gufero na konci tohoto dílu pro dvojnásobnou ochranu, před zatečením vody do motorové části. Gufero má tloušťku 7 mm a vnější průměr 22 mm.

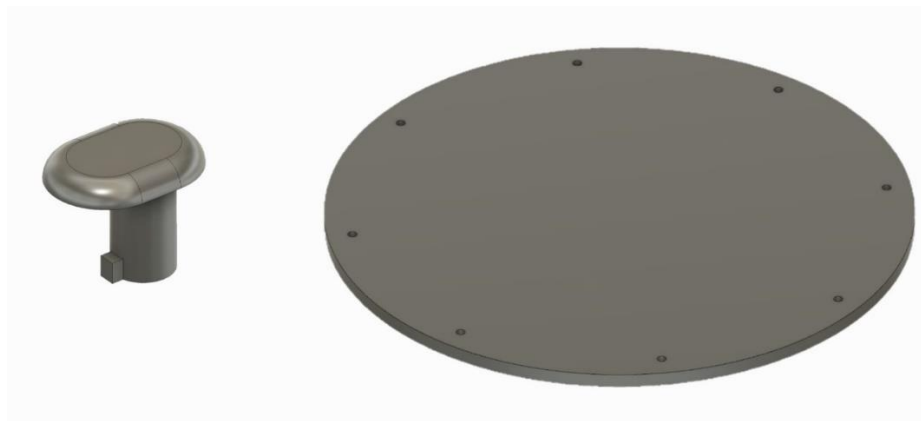
Modelace byla jednoduchá. Začal jsem vytvořením prstence o tloušťce 7 mm a vnitřní průměr měl 22 mm a vnější 48,5 mm, to je také průměr náboje lodního šroubu. Následně jsem vytvořil bokorys zbytku těla a obdobně jako u aerodynamické přední části jsem bokorys otočil o 360°. Skříň spojky vypadá tedy následovně.



Obrázek 21: Model skříně spojky, Zdroj: vlastní

### 3.3.7 Víko a aretační držák

Posledními dvěma díly jsou záslepky a víko. Víko bude sloužit k uzavření hlavního trupu a k opětovnému otevření. Bude se jednat o kruh 4 mm silný s průměrem 161 mm. Ve víku bude 8 otvorů pro šrouby M4 sloužící k přitáhnutí víka k trupu. Záslepky budou dvě stejné části, které budou spojovat aerodynamickou přední část a trup k sobě. Dole bude tvar identický jako díra, následovat bude válec a na konci větší ovál. Tyto dva díly lze vidět na následující stránce.



Obrázek 22: Model aretačního držáku a víka, Zdroj: vlastní

## 3.4 3D tisk

Po konzultaci s firmou, která tisk prováděla, byl vybrán materiál ASA. Materiál je pevný, ale zároveň není křehký jako například PLA. Ovšem tisk nebyl příliš úspěšný, problém nastal u modelu spodní špičky a motorové části, kde se zapomnělo na to, jak se budou části přidělovat k sobě, řešením tedy bude vymodelovat a vytisknout novou a opravenou verzi. Největším problémem bylo, že hlavní tělo vykazovalo na některých místech po obvodu mikropřaskliny a bylo tedy zapotřebí vytisknout nové. Vyskytly se ještě drobné kazy způsobené tiskem na horní části ochranného koše a také na hlavním trupu. Ovšem tyto kazy jsou pouze estetického charakteru a nemají žádný vliv na funkčnost.



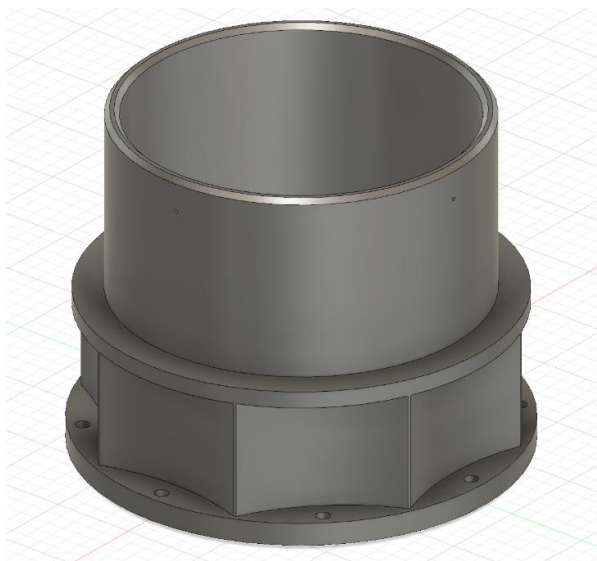
Obrázek 23: První 3D tisk, Zdroj: vlastní

## 3.5 Opravná modelace

### 3.5.1 Oprava motorové části

Při opravě jsem začal s modelací nové motorové části. Prvním vylepšením bylo po obvodu vytvořit osm děr k připevnění ke skříni spojky. Následně jsem se rozhodl použít i větší gufero, kvůli jeho snadnějšímu nalisování. Proto jsem musel udělat dno 7 mm silné. Také jsem vytvořil drážku pro umístění o-kroužku. Zjistil jsem, že nelze použít všech osm závitů k připevnění

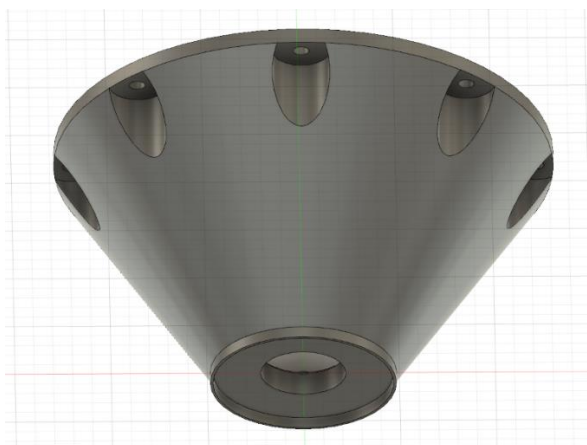
motoru, protože jsou příliš blízko sebe, použiji tedy pouze vnější čtyři závity. Poslední úpravou bylo lehce ztenčit stěnu, aby bylo možné, motorovou část vsunout do těla skútru. Finální část motoru vypadá tedy následovně.



Obrázek 24: Opravená motorová část, Zdroj: vlastní

### 3.5.2 Oprava skříně spojky

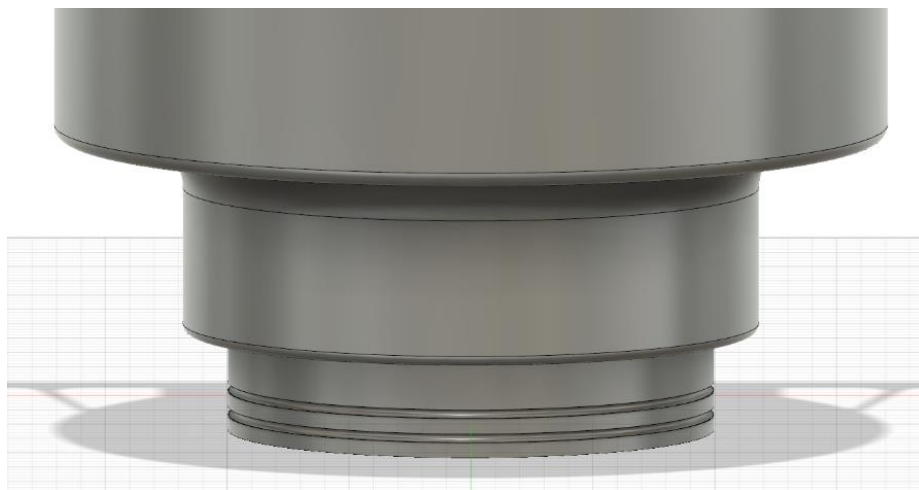
Úprava skříně spojky spočívala v tom, že jsem díl vymodeloval tak, aby měl stejné otvory jako předešlá část a šlo díly sešroubovat. Dále jsem odstranil vnitřní prstenec. Díky tomu je uvnitř více místa pro hřídelovou spojku. Konečným detailem bylo přidat drobné osazení, pro lepší průtok vody před lodním šroubem. Upravená část je zde na obrázku.



Obrázek 25: Opravená skříň spojky, Zdroj: vlastní

### 3.5.3 Úprava hlavního těla

Při tisku úplně nového těla jsem se rozhodl, že ho drobně vylepším, přidám druhý těsnící okroužek mezi motorovou částí a hlavním tělem, tím by měla být zlepšena vodotěsnost. Vše ostatní zůstává stejné.



Obrázek 26: Upravené drážky pro o-kroužky

### 3.6 Opravný 3D tisk

Při opravném 3D tisku jsem se spojil s firmou Materialpro3D.cz a dohodnul se s nimi, že vytisknou nové tělo. Po dohodě jsme se rozhodli, že optimálním materiálem bude PETG. Jejich výtisk byl velmi úspěšný, mnohem přesnější a kvalitnější. Pro ostatní části tedy jsem koupil filament PETG a vytiskl zbytek na naší 3D tiskárně. Tentokrát se již vše vytisklo v pořádku, tak jak má.



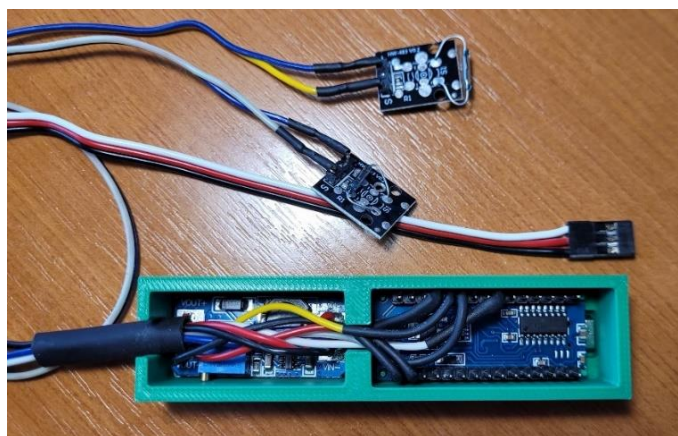
Obrázek 27: Tisk motorové části, Zdroj: vlastní



Obrázek 28: Opravný 3D tisk, Zdroj: vlastní

### 3.7 Pájení

Další částí stavby bylo propojit magnetické jazýčkové kontakty s Arduinem a DC-DC měnič propojit jak s Arduinem, tak s regulátorem a poslední část k pájení je propojit kabel k PWM. Vše dle schéma na obrázku 8. Aby nedošlo k utrnutí spojů a ke zkratu, tak jsem na každý spoj dal smršťovací bužírku a horkovzdušnou pistolí zahřál. Nakonec jsem veškeré kabely dal do jedné společné bužírky. Pro uložení Arduina a DC-DC měniče, jsem vymodeloval a vytiskl jednoduchou krabičku se dvěma komorami a víčkem. Výrobek vypadá následovně.



Obrázek 29: Zapájení a uložení Arduina, Zdroj: vlastní

### 3.8 Zapuštění závitových vložek

Aby tělo bylo vodotěsné, ale zároveň i rozebíratelné, tak jsem vymyslel, že na horní části hlavního těla je otvor, podél kterého je osm děr. Do prstence kolem otvoru jsem zapustil

mosazné závitové vložky. Víko se díky nim přitáhne k těsnicímu o-kroužku a vznikne vodotěsné utěsnění.



Obrázek 30: Zapouštění závitových vložek M4, Zdroj: vlastní

Postup zapouštění byl následující: matku jsem našrouboval na dlouhý šroub, abych ji měl na co držet. Následně jsem matku nad plamenem nahřál a vložil do předem připravené díry. Vložku jsem zatlačil až na dno díry a přidržel do vychladnutí, aby byla fixována svisle. Potom jsem počkal, až plast vychladne. To jsem prováděl celkem osmkrát, u všech děr.

### 3.9 Obrábění hřídele

Lodní šroub má vnitřní průměr pro hřídel 10,5 mm, což je velmi atypický a nestandardní rozměr. Například nebylo možné sehnat ani hřídelovou spojku pro takovou hřídel. Vybral jsem tedy hřídel s průměrem 12 mm a nechal obrobit na požadovaný rozměr. Dále bylo potřeba do hřídele vyvrtat dva otvory. První pro závlačku, která bude sloužit pro přenos kroutícího momentu, a druhá pro to, aby lodní šroub z hřídele nespádl. Já jsem pouze vše navrhl, změřil, nakreslil a popsal, samotné soustružení jsem nedělal. Osoustružení jsem nechal udělat mého bratrance Jakuba Žáka. Hřídel je vyroben z velmi kvalitního ušlechtilého ocelového materiálu. Bratranec neměl dokonalé potřebné vybavení, a tak osoustružení není dokonalé. Nedokonalost opracování nemá žádný vliv na funkci. Kroutící moment přenáší závlačka a spojení je pevné. Hřídel lze vidět zde na obrázku.

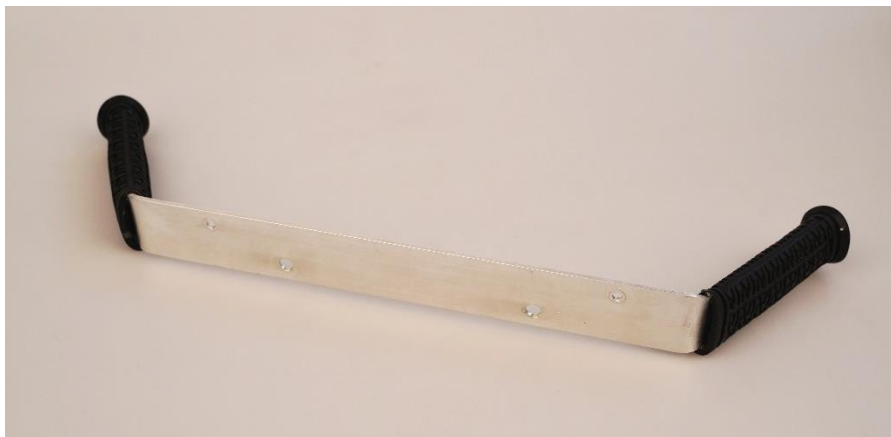


Obrázek 31: Ukázka hřídele, Zdroj: vlastní

### 3.10 Řídítka

K užívání skútru bylo zapotřebí vyřešit, za co bude uživatel skútr držet. K tomu slouží řídítka. Aby se zajistila pevnost, tak jsem řídítka netiskl. Materiálem je upravený hliník. Hliník je optimálním materiálem z několika důvodů, nebude rezavět pod vodou, dále je lehký a není příliš obtížné ho ohýbat, vrtat a jinak upravovat.

Základem řídítek je hliníková pásovina 3 mm silná a 40 mm široká, koupená v Bauhausu. Oba dva konce se pak následně ohnuly pro optimální držení řídítek. Ohnutí jsem provedl tak, že jsem pásovinu uchytíl do svěráku a místo, kde se materiál ohýbá, zahřál, abych zamezil povrchovému trhání. Dále jsem konce zúžil, aby na ně šlo těsně nasadit rukojeti na kolo, pro příjemnější držení a zbylý prostor okolo rukojetí jsem vylil epoxidovou pryskyřicí. Následovalo připevnění řídítek k tělu. Proto jsem vyvrtal dva otvory v nadstavbě na těle tak, aby šroub nebránil pohybu ovládajícího táhla. Následně ve stejných místech jsem vyvrtal otvory na řídítkách. Řídítka jsou na obrázku 32 níže.



Obrázek 32: Ukázka řídítek, Zdroj: vlastní

### 3.11 Táhla

Uvnitř skútru jsou magnetické jazýčkové spínače, které slouží k ovládání skútru, tyto spínače reagují na magnetické pole, bude tedy zapotřebí vytvořit takové táhlo, na něhož konci bude trvalý magnet, mačkáním prstem na řídítkách jeden konec táhla zapříčiní přiblížení magnetu a tím uzavření obvodu. Táhla můžete vidět na následující stránce.



Obrázek 33: Ukázka táhel s neodymovými magnety, Zdroj: vlastní

### 3.12 Vymezovací a aerodynamický prstenec

Na těle motorové části jsou díry pro pohodlnou manipulaci se šrouby, které slouží k připevnění skříně spojky. Potom, kdy bude připevněna, tak by bylo vhodné vše schovat, k tomu slouží aerodynamický kruh. Ten bude přetáhnut přes část, kde budou šrouby.

Potom, co se nasadí horní část ochranného koše, tak bude mezi ním a hlavním tělem prostor, který by způsobil, že se ochranný koš může hýbat. Z toho důvodu bude vymezovací prstenec nasazen po horní části ochranného koše a udrží ho na místě. Oba dva díly jsou zde na obrázku.



Obrázek 34: Vymezovací prstenec a aerodynamický prstenec, Zdroj: vlastní

### 3.13 Kompletace

Prvním krokem bylo připevnit motor k motorové části pomocí čtyř šroubů a stahovací páskou upevnit kabely. Dalším krokem bylo nalisovat gufera na jejich místa a vložit těsnící o-kroužky

do patřičných drážek, ty jsem důkladně očistil a nanesl jsem vrstvu vazelíny a to jak před vložením o-kroužků, tak i po. Z vnější částí jsem připevnil hřídelovou pružnou spojku a samotnou prodlužovací hřídel. Nasadil jsem skříň spojky a osmi šrouby pevně přitáhnul tak, aby o-kroužek spolehlivě těsnil.



Obrázek 35: Nasazení spojky a vložení o-kroužku, Zdroj: vlastní

Přes motorovou část jsem nasadil převlečný kroužek pro zakrytí šroubů, zlepšuje aerodynamiku a estetiku potápěčského skútru. Následně jsem nasadil horní část ochranného koše, protože později by to již nebylo možné. Nakonec jsem nasadil vymežovací kroužek a protáhl kabely od motoru do hlavního těla a tyto dvě části jsem spojil.

Uvnitř těla jsem připojil regulátor. Následně jsem regulátor a krabičku s Arduinem stahovacími páskami přitáhl ke stěně. Dále jsem upevnil řídítka pomocí dvou šroubů  $M8 \times 20$  k tělu. Připevnil jsem táhla k řídítkům, vložil do nich magnety a provlékl jsem je skrz gumičku pro vytvoření vratné síly.



Obrázek 36: Kompletace skútru – před nasazením lodního šroubu, Zdroj: vlastní

Vložil jsem do hřídele hnací silovou závlačku a následně jsem nasadil lodní šroub. Jednou závlačkou pojistil proti vysunutí z hřídele. Upevnil jsem dolní část ochranného koše. Poslední částí bylo vložit baterii, nasadit víko a aerodynamickou přední část a zajistit ji aretačními držáky.

## 4 TESTOVÁNÍ

Připravený skútr jsem nejprve ponořil do vody v bazénu, což mi poskytlo bezpečné a kontrolované prostředí pro první testování. Pro ověření funkčnosti jsem nechal svého prostředního bratra, aby si se skútrelem hrál a zkoušel jeho ovládání. Během testování jsem pečlivě pozoroval, zda skútr reaguje správně a jestli nevykazuje žádné neobvyklé chování, jako jsou problémy s motorem nebo potíže s řízením.

Po 10 minutách nepřetržitého používání jsme skútr vytáhli z vody a provedl důkladnou kontrolu, abych zjistil, zda do jeho těla někde nezatekla voda. Tento krok byl klíčový pro ověření splnění cíle vodotěsnosti. Po otevření krytu jsem zjistil, že vnitřek skútru byl zcela suchý, což potvrdilo, že konstrukce je dostatečně vodotěsná a odolná vůči pronikání vody.

Dále jsem zhodnotil ovládání skútru. Oba dva spínače a mechanismy táhel reagovaly přesně a okamžitě bez prodlevy, což znamenalo, že elektronické i mechanické části fungovaly bezchybně a bezvadně. Skútr byl snadno ovladatelný a nad míru překonal veškerá má očekávání v této oblasti.

Bohužel v podmínkách bazénu, který jsme měli k dispozici, nebylo možné změřit maximální rychlost skútru, což byl jeden z hlavních stanovených cílů. Přestože jsem neměl k dispozici potřebné prostředí a vybavení pro přesné měření rychlosti, skútr se ve vodě pohyboval plynule a dostatečně rychle na to, abych měl předpoklad, že stanovený požadavek na rychlost mohl být splněn.

Nakonec jsem provedl vážení celého zařízení, abych ověřil, zda jsem splnil cíl týkající se hmotnosti skútru. Výsledná hmotnost byla 6 580 g, což znamená, že se mi podařilo dostat pod hranici 7 kilogramů. Tento výsledek mě potěšil, protože potvrzuje efektivitu výběru lehkých materiálů a optimalizace poháněného ústrojí.

Celkové výsledky testování ukázaly, že skútr splňuje stanovené požadavky na funkčnost, vodotěsnost i hmotnost. I když rychlost nebyla přesně změřena, testování naznačilo, že skútr má potenciál dosáhnout požadovaných hodnot.



Obrázek 37: Testování v bazénu, Zdroj: vlastní



Obrázek 38: Testování v bazénu, Zdroj: vlastní

## 5 CENA

Tabulka 1: Cena komponentů na skútr

| Produkt                  | Cena produktu (Kč) |
|--------------------------|--------------------|
| Arduino Nano             | 180                |
| Baterie                  | 8939               |
| Dodatečný 3D tisk        | 2990               |
| Elektromotor             | 2666               |
| Epoxidová pryskyřice     | 649                |
| Filament                 | 1318               |
| Gufera                   | 1094               |
| Hliníková pásovina       | 250                |
| Hřídel                   | 49                 |
| Hřídelové spojky         | 704                |
| Konektory                | 188                |
| Lodní šroub              | 1480               |
| Nabíječka k baterii      | 1396               |
| O-kroužky                | 598                |
| První 3D tisk na zakázku | 8000               |
| Regulátor                | 3164               |
| Rukojeti                 | 89                 |
| Spojovací materiál       | 250                |
| Vodotěsný voltmetr       | 190                |
| <b>Celková cena</b>      | <b>34 194</b>      |

## 6 ZÁVĚR

V úvodu své práce jsem si stanovil několik cílů, jejichž splnění mělo vést k vytvoření výkonnějšího, rychlejšího a lehčího potápěčského skútru. Mým hlavním záměrem bylo nejen vyřešit nedostatky starého modelu, ale také získat nové technické a praktické zkušenosti při práci na projektu. Klíčovými technickými prioritami bylo zajistit, aby skútr fungoval spolehlivě, byl zcela vodotěsný, dokázal mě táhnout rychlostí alespoň 2 m/s a zároveň byl dostatečně lehký, ideálně s hmotností pod 7 kilogramů. Kromě toho jsem si stanovil osobní cíle, jako je osvojení práce s 3D tiskárnou, modelování ve Fusion 360 a programování Arduina.

Během realizace projektu se mi podařilo většinu cílů splnit. Při testu skútru v bazénu jsem otestoval vodotěsnost a ovladatelnost vodního skútru. Výsledný skútr splňuje všechny klíčové požadavky a představuje funkční zařízení, které je bezpečné a spolehlivé při používání ve vodním prostředí.

Vodotěsnost byla zajištěna díky pečlivě navržené konstrukci a díky dvojici gufer a těsnícím okroužkům. Z hlediska výkonu skútr dosahuje velmi příjemného výkonu, ovšem nebylo možné změřit maximální rychlost skútru z toho důvodu, že testovací bazén neměl dostatečné rozměry, pro přesné měření a venkovní testování za tohoto ročního období nebylo možné.

Snížení hmotnosti na hodnotu pod 7 kilogramů se mi podařilo díky výběru především lehčí baterie, která není olověná, ale je lithium-polymerová. Díky efektivitě této baterie jsem dosáhl vysoké kapacity, maximálního proudu a nízké hmotnosti.

Dosažené výsledky zároveň ukázaly, že i s omezenými prostředky a limitovaným vybavením je možné navrhnout a vyrobit zařízení, které splňuje náročné technické požadavky. Během práce na projektu jsem se však setkal i s určitými výzvami, které bych považoval za potenciální oblasti pro další zlepšení. Například pevnost těla, tím že je tělo tištěné na 3D tiskárně tak neposkytuje tak vysokou míru pevnosti jako tlakem vylisovaný plast, proto si myslím, že lepším řešením by bylo, skútr vlepít do tlakové instalační trubky. Tím by byla zajištěna maximální pevnost a přitom by se uvnitř zachovala maximální úroveň přízpusobení.

Další možností rozvoje by mohlo být rozšíření funkcionality skútru. Jako přidání teploměru pro měření teploty uvnitř skútru pro kontrolu případného přehřátí komponentů. Bylo by také možné rozšířit schopnosti skútru, skútr by se nemusel pouze používat pro potápění, ale šlo by ho připevnit na bezmotorový člun, kajak, padlleboard apod. Také by stálo za úvahu zaměřit se na ergonomii, říditka by mohla být lehce užší a blíže k zádi skútru. Tím by se dále i zlepšila ovladatelnost. V neposlední řadě by šlo zlepšit design a aerodynamiku skútru.

Pokud jde o mé osobní cíle, práce na projektu mi poskytla mnoho příležitostí k rozvoji. Naučil jsem se efektivně využívat naši domácí 3D tiskárnu a modelovat ve Fusion 360. Také jsem zvládnul naprogramovat Arduino pro tento účel.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Příspěvatelé Wikipedie, *Elektromotor* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2024, Datum poslední revize 13. 11. 2024, 12:02 UTC, [citováno 11. 12. 2024] < <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Elektromotor&oldid=24385611> >
- [2] Odpor prostředí. [online] cuni.cz [citováno 11. 12. 2024]. Dostupné z: [https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz\\_fyziky\\_pro\\_DS/display.php/kontinuum/4\\_6](https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/kontinuum/4_6)
- [3] *Stejnoseměrný motor nebo střídavý motor, který je účinnější?* - Znalost [online]. [citováno 11. 12. 2024]. Dostupné z: <https://cz.angmotor.com/info/dc-motor-or-ac-motor-which-is-more-efficient-92453914.html>
- [4] *Jaký je rozdíl mezi AC, DC a EC motory?* - Portál pro strojní konstruktéry [online]. [citováno 11. 12. 2024]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-ac-dc-a-ec-motory>
- [5] Příspěvatelé Wikipedie, *Pulzně šířková modulace* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2024, Datum poslední revize 13. 08. 2024, 10:58 UTC, [citováno 11. 12. 2024] <[https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Pulzn%C4%9B\\_%C5%A1%C3%AD%C5%99kov%C3%A1\\_modulace&oldid=24161574](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Pulzn%C4%9B_%C5%A1%C3%AD%C5%99kov%C3%A1_modulace&oldid=24161574)>
- [6] BIGHOBBY. Profi střídavý elektromotor MTO6365-200-G Maytech jen za 2 666 Kč  | Vyberte si Elektrické motory na BigHobby.cz. *bighobby.cz* [online]. [citováno 15. 12. 2024]. Dostupné z: <https://www.bighobby.cz/profi-stridavy-elektromotor-mto6365-200-g-maytech/>
- [7] BIGHOBBY. Regulátor otáček 115A T-motor AT (6-14S) jen za 3 164 Kč  | Vyberte si RC Regulátory na BigHobby.cz. *bighobby.cz* [online]. [citováno 15. 12. 2024]. Dostupné z: <https://www.bighobby.cz/regulator-otacek-115a-t-motor-at--6-14s/>
- [8] Co je to Arduino? *Bastlárna HWKITCHEN* [online]. [citováno 18. 12. 2024]. Dostupné z: <https://bastlirna.hwkitchen.cz/co-je-to-arduino/>
- [9] Příspěvatelé Wikipedie, *Lithium-polymerový akumulátor* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2024, Datum poslední revize 3. 10. 2024, 12:55 UTC, [citováno 19. 12. 2024] <[https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Lithium-polymerov%C3%BD\\_akumul%C3%A1tor&oldid=24286616](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Lithium-polymerov%C3%BD_akumul%C3%A1tor&oldid=24286616)>
- [10] S.R.O, RCprofi. Vše o Lithium-polymerových akumulátorech. *RCprofi.cz* [online]. [citováno 19. 12. 2024]. Dostupné z: <https://www.rcprofi.cz/poradna/vse-o-lithium-polymerovech-akumulatorech>
- [11] BIGHOBBY. Li-pol baterie 20000mAh 6S 25C (50C) Bighobby-NANO Tech jen za 8 939 Kč  | Vyberte si RC Baterie (Li-Pol) na BigHobby.cz. *bighobby.cz* [online]. [citováno 19. 12. 2024]. Dostupné z: <https://www.bighobby.cz/li-pol-baterie-20000mah-6s-25c--50c--bighobby-nano-tech/>

- [12] Pospíšil Matěj. *Návrh lodního šroubu*. České Budějovice, 2018. [citováno 19. 12. 2024]. Bakalářská práce. Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích. doc. Ing. Ján Kmec, CSc. Dostupné z: [https://is.vstecb.cz/th/q9pbt/BP\\_navrh\\_lodniho\\_pohonu.pdf](https://is.vstecb.cz/th/q9pbt/BP_navrh_lodniho_pohonu.pdf)
- [13] KŘEMEN, J. *Transtibiální protéza pro rekreační plavání*. Brno, 2014. [citováno 19. 12. 2024]. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [14] HUADONG0124@163.COM. Jaký je vliv kavitace na lodní šroub - VIF Propeller. *Vrtule VIF* [online]. 21. květen 2023 [citováno 28. 12. 2024]. Dostupné z: <https://vifmarine.com/cs/what-is-the-effect-of-cavitation-on-the-boat-propeller/>
- [15] Příspěvatelé Wikipedie, *GPIO* [online], Wikipedie: Otevřená encyklopedie, c2022, Datum poslední revize 20. 07. 2022, 16:57 UTC, [citováno 02. 01. 2025] <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=GPIO&oldid=21484023>>

## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ

|                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 1: Zapojení dvou tlačítek místo potenciometru, Zdroj: vlastní .....                                                                                               | 10 |
| Obrázek 2: Graf PWM, Zdroj: <a href="https://docs.arduino.cc/learn/microcontrollers/analog-output/11">https://docs.arduino.cc/learn/microcontrollers/analog-output/11</a> | 11 |
| Obrázek 3: Baterie, Zdroj: vlastní.....                                                                                                                                   | 13 |
| Obrázek 4: Pájení konektorů, Zdroj: vlastní .....                                                                                                                         | 16 |
| Obrázek 5: Postup kalibrace ESC převzatý od dovozce, Zdroj: <a href="http://www.bighobby.cz">www.bighobby.cz</a> .....                                                    | 17 |
| Obrázek 6: Program pro kalibraci, Zdroj: vlastní .....                                                                                                                    | 17 |
| Obrázek 7: Program Arduina, Zdroj: vlastní .....                                                                                                                          | 19 |
| Obrázek 8: Schéma elektrického obvodu skútru, Zdroj: vlastní.....                                                                                                         | 20 |
| Obrázek 9: Ukázka čelní strany motoru a tlakového gufera, Zdroj: vlastní .....                                                                                            | 21 |
| Obrázek 10: Dno motorové části vyexportovaný z programu Fusion 360, Zdroj: vlastní .....                                                                                  | 22 |
| Obrázek 11: Pohled na model, Zdroj: vlastní .....                                                                                                                         | 23 |
| Obrázek 12: Pohled na spodní část trupu, Zdroj: vlastní .....                                                                                                             | 23 |
| Obrázek 13: Náčrt trupu pro výpočet poloměru, Zdroj: vlastní .....                                                                                                        | 24 |
| Obrázek 14: Náhled na vytvoření stěn a místa pro baterii, Zdroj: vlastní .....                                                                                            | 25 |
| Obrázek 15: Model nadstavby pro upevnění řídicích a držák pro ESC, Zdroj: vlastní.....                                                                                    | 25 |
| Obrázek 16: Finální model trupu, Zdroj: vlastní .....                                                                                                                     | 26 |
| Obrázek 17: Model aerodynamické přední části, Zdroj: vlastní.....                                                                                                         | 27 |
| Obrázek 18: První část modelace ochranného koše, Zdroj: vlastní .....                                                                                                     | 27 |
| Obrázek 19: Model horní části ochranného koše, Zdroj: vlastní.....                                                                                                        | 28 |
| Obrázek 20: Model dolní části ochranného koše a ukázka mřížky, Zdroj: vlastní.....                                                                                        | 28 |
| Obrázek 21: Model skříňové spojky, Zdroj: vlastní .....                                                                                                                   | 29 |
| Obrázek 22: Model aretačního držáku a víka, Zdroj: vlastní .....                                                                                                          | 30 |
| Obrázek 23: První 3D tisk, Zdroj: vlastní.....                                                                                                                            | 30 |
| Obrázek 24: Opravená motorová část, Zdroj: vlastní .....                                                                                                                  | 31 |
| Obrázek 25: Opravená skříň spojky, Zdroj: vlastní .....                                                                                                                   | 31 |
| Obrázek 26: Upravené drážky pro o-kroužky.....                                                                                                                            | 32 |
| Obrázek 27: Tisk motorové části, Zdroj: vlastní .....                                                                                                                     | 32 |
| Obrázek 28: Opravný 3D tisk, Zdroj: vlastní .....                                                                                                                         | 33 |
| Obrázek 29: Zapájení a uložení Arduina, Zdroj: vlastní .....                                                                                                              | 33 |
| Obrázek 30: Zapouštění závitových vložek M4, Zdroj: vlastní.....                                                                                                          | 34 |
| Obrázek 31: Ukázka hřídele, Zdroj: vlastní.....                                                                                                                           | 34 |
| Obrázek 32: Ukázka řídicích, Zdroj: vlastní .....                                                                                                                         | 35 |
| Obrázek 33: Ukázka táhel s neodymovými magnety, Zdroj: vlastní.....                                                                                                       | 36 |
| Obrázek 34: Vymezovací prstenec a aerodynamický prstenec, Zdroj: vlastní.....                                                                                             | 36 |
| Obrázek 35: Nasazení spojky a vložení o-kroužku, Zdroj: vlastní.....                                                                                                      | 37 |
| Obrázek 36: Kompletace skútru – před nasazením lodního šroubu, Zdroj: vlastní.....                                                                                        | 38 |
| Obrázek 37: Testování v bazénu, Zdroj: vlastní .....                                                                                                                      | 39 |
| Obrázek 38: Testování v bazénu, Zdroj: vlastní .....                                                                                                                      | 40 |

## 9 SEZNAM TABULEK

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| Tabulka 1: Cena komponentů na skútr ..... | 41 |
|-------------------------------------------|----|

## **10 PŘÍLOHA 1: MODELACE**

Vymodelované části: [https://drive.google.com/file/d/11aX8C2dEFV7M-ra0kOTKcx\\_iAg59H4n8/view?usp=drivesdk](https://drive.google.com/file/d/11aX8C2dEFV7M-ra0kOTKcx_iAg59H4n8/view?usp=drivesdk)