

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie



Návrh a realizace elektrického skateboardu s využitím technologie

FDM

Design and realization of electric skateboard using FDM technology

*Bakalářská práce*

Studijní program: Teoretický základ strojího inženýrství

Autor práce: Vojtěch Horák

Vedoucí práce: Ing. Jan Šimota

PRAHA 2019



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval zcela samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorských zákon).

V Praze dne .....

.....

podpis autora

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Janu Šimotovi za pomoc a cenné připomínky při psaní této práce.

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací elektrického skateboardu s využitím technologie Fused Deposition Modeling (FDM). V první části práce je definován pojem aditivní technologie a jsou zde stručně shrnuty dostupné metody 3D tisku, s bližším zaměřením na materiály využívané technologií FDM. Druhá část se zabývá definicí pojmu elektrický skateboard, je popsána jeho funkce a komponenty nutné k jeho chodu. Třetí část práce popisuje vlastní návrh, realizaci tisku a dokončovací úpravy (postprocessing) tištěných součástí elektrického skateboardu. Všechny součásti byly navrženy v programu Autodesk Fusion 360 a vytištěny na 3D tiskárně Prusa i3 MK2.

Klíčová slova: 3D tisk, aditivní technologie, FDM, elektrický skateboard

## Abstract

This bachelor thesis deals with design and realization of electric skateboard using FDM technology. The first part defines the term additive manufacturing and summarizes available methods of 3D printing, with a closer focus on materials used by FDM technology. The second part defines the term electric skateboard, describes its function and components necessary for its operation. The third part deals with design, print realization and postprocessing of printed parts of electric skateboard. All components were designed in Autodesk Fusion 360 and printed on Prusa i3 MK2 3D printer.

Keywords: 3D print, additive manufacturing, FDM, electric skateboard

# Obsah

Obsah .....	6
Seznam použitých symbolů a zkratek .....	8
1 Úvod .....	9
2 Aдитivní technologie.....	10
2.1 Metody 3D tisku.....	10
2.1.1 Stereolitografie (SLA) .....	10
2.1.2 Selective Laser Sintering (SLS).....	11
2.1.3 Fused Deposition Modeling (FDM) .....	11
2.2 Materiály pro tisk technologií FDM.....	12
2.2.1 ABS .....	13
2.2.2 PLA .....	13
2.2.3 PET-G.....	13
2.2.4 HIPS .....	14
2.2.5 PP .....	14
2.2.6 Nylon.....	14
3 Elektrický skateboard .....	15
3.1 Základní komponenty elektrického skateboardu.....	15
3.1.1 Akumulátor .....	15
3.1.2 Battery Management System .....	15
3.1.3 Elektromotor .....	16
3.1.4 Electronic Speed Controller .....	17
3.1.5 Součásti pohonného ústrojí .....	18
4 Konstrukční návrh elektrického skateboardu.....	18
4.1 Návrhové výpočty .....	18
4.2 Volba vhodných mechanických a elektrických komponent .....	20
4.2.1 Deska.....	20
4.2.2 Podvozek.....	20
4.2.3 Kolečka .....	21
4.2.4 Akumulátor .....	22
4.2.5 Battery Management System .....	23
4.2.6 Electronic Speed Controller .....	23
4.2.7 Elektromotor.....	24

4.3	Požadované vlastnosti a funkce pohonného ústrojí .....	24
4.4	Výběr vhodných tiskových materiálů .....	25
4.5	Konstrukční návrh .....	25
4.5.1	Objímka úchyty motoru .....	27
4.5.2	Úchyt motoru .....	28
4.5.3	Kryt motorů .....	29
4.5.4	Ozubená řemenice .....	30
4.5.5	Kryt řemenice .....	31
4.5.6	Kryt elektrických komponent .....	31
5	Optimalizace dílů pro 3D tisk metodou FDM .....	33
5.1	Volba vhodného programu typu Slicer a přenos dat do tiskárny .....	34
5.2	Volba tiskových parametrů .....	35
5.2.1	Profil nastavení tisku .....	35
5.2.2	Nastavení tiskových teplot pro materiály ABS a PET-G .....	36
5.3	Orientace objektu při tisku, volba technologických podpor .....	36
5.3.1	Objímka úchyty motoru .....	37
5.3.2	Úchyt motoru .....	38
5.3.3	Kryt motorů .....	39
5.3.4	Řemenice .....	40
5.3.5	Kryt řemenice .....	41
5.3.6	Kryt elektrických komponent .....	41
5.4	Příprava tiskárny .....	44
6	Realizace tisku a postprocessing .....	46
6.1	Realizace tisku .....	46
6.2	Odstranění technologických podpor .....	47
6.3	Dokončovací operace (postprocessing) .....	48
6.4	Sestavení elektrického skateboardu .....	50
7	Ekonomické zhodnocení a porovnání .....	55
8	Závěr .....	57
9	Seznam literatury .....	58
10	Seznam obrázků .....	62

## Seznam použitých symbolů a zkratek

$v_{max}$	$[km/h]$	maximální rychlost
$KV$	$[min^{-1}/V]$	motorová konstanta závislosti otáček na napětí
$U$	$[V]$	napětí akumulátoru
$D$	$[m]$	průměr skateboardového kolečka
$n_{motor}$	$[min^{-1}]$	otáčky motoru
$n_{kolečko}$	$[min^{-1}]$	otáčky kolečka
$i$	$[-]$	převodový poměr
$z_1$	$[-]$	počet zubů malé ozubené řemenice
$z_2$	$[-]$	počet zubů velké ozubené řemenice

SLA Stereolitografie

SLS Selective Laser Sintering

FDM Fused Deposition Modeling

ABS Akrylonitrilbutadienstyren

PLA Polylactic acid

PET-G Polyethylentereftalát glykol

HIPS High Impact Polystyrene

PP Polypropylen

BMS Battery Management System

ESC Electronic Speed Controler



# 1 Úvod

Současná doba přináší požadavek na stále rychlejší přesuny ať už do školy, za prací nebo třeba na nákup. V oblasti osobní dopravy jsou důležitá tato tři kritéria: rychlost, cena a dostupnost.

Přesun autem ve městě se stává pro stále se zvyšující hustotu dopravy a nedostatek parkovacích míst ekologicky a časově nevýhodným pouze s částečnou možností náhrady hromadnou městskou dopravou. Proto se v poslední době objevuje nový trend v oblasti personalizované dopravy, do obliby se dostávají menší, snadno přenosné a ekologicky přijatelnější dopravní prostředky. Jedním z nich jsou i elektrické skateboardy. Jejich výhodou je malá velikost, nízká hmotnost, snadná ovladatelnost a nízká ekologická i finanční náročnost.

Představa možnosti výroby výkonného malého dopravního prostředku v domácích podmínkách by se zdála před pár lety jako nerealizovatelná. S rozvojem nových technologií jako je výpočetní technika a 3D tisk je však v dnešní době možné navrhnout a vytisknout tvarově složité součásti v řádu jednotek hodin.

Tato bakalářská práce popisuje možnosti a využitelnost moderních technologií při realizaci prototypu elektrického skateboardu využitelného pro přepravu osob na kratší, až středně velké vzdálenosti. Využitelnost se předpokládá především v městské zástavbě, nicméně konstrukce počítá i s možností použití zařízení na nepevněném povrchu mimo město.

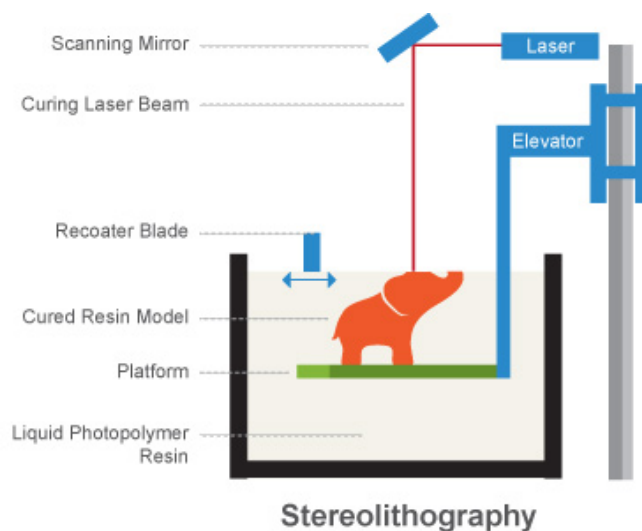
## 2 Aditivní technologie

Aditivní technologie jsou výrobní technologie, jejichž principem je automatizace procesů pro výrobu trojrozměrných, celistvých součástí z původního materiálu. Podstatou aditivních technologií je postupné nanášení tenké vrstvy materiálu na tiskovou podložku, jehož výsledkem je vytvoření prostorového 3D modelu (3D tisk). Existuje mnoho různých aditivních technologií, mezi ty hlavní patří stereolitografie (SLA), Selective Laser Sintering (SLS) a Fused Deposition Modeling (FDM). Princip těchto metod je podobný, liší se využívaným typem materiálu. Metoda SLA je založena na bázi vytvrzování tekutého polymeru, SLS na spékání práškového materiálu a FDM na bázi extruze nataveného termoplastického materiálu. Tyto tři nejpoužívanější metody 3D tisku jsou blíže vysvětleny v následujících odstavcích [1,2].

### 2.1 Metody 3D tisku

#### 2.1.1 Stereolitografie (SLA)

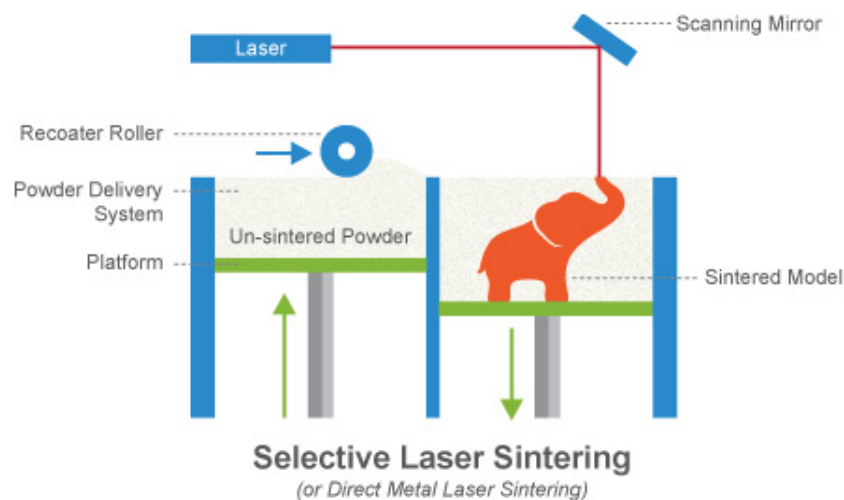
Stereolitografie pracuje na principu vytvrzování epoxidové nebo akrylátové pryskyřice, tzv. fotopolymeru, pomocí působení záření různých vlnových délek, nejčastěji ultrafialovým laserovým paprskem. Paprsek je nasměrován na materiál pouze na vybraných místech, ten se v nich vytvrzuje a vzniká fyzický model. Po vytvrzení jedné vrstvy se platforma posune ve vertikálním směru o výšku vrstvy (0,05-0,15 mm), nanese se další vrstva pryskyřice a postup vytvrzení se opakuje. Stereolitografie je jedna z nejpresnějších aditivních technologií, díky malé výšce vrstvy je povrch tištěné součásti velmi hladký [3,4].



Obr. 1 Schéma metody stereolitografie [5]

## 2.1.2 Selective Laser Sintering (SLS)

Technologie SLS je téměř totožná s technologií stereolitografie, s tím rozdílem, že tiskovým materiálem není tekutá hmota, nýbrž velmi jemný prášek. Ten není polymerizován, ale dochází u něj ke spojování jednotlivých částic prachu pomocí spékání, které je vyvoláno výkonným laserem. Prášek může být vyroben z různých materiálů jako jsou kovy, plasty, sklo nebo keramika. Nanášení materiálu a rovnání jednotlivých vrstev má na starost nanašeč. Po nanesení rovnoměrné vrstvy je materiál v potřebných místech spečen laserem a tento postup se opakuje. Hlavními výhodami oproti stereolitografii jsou daleko lepší mechanické vlastnosti a vysoká teplotní odolnost. Nevýhodou je nižší dosažitelná přesnost s ohledem na výšku vrstvy (0,1 až 0,5 mm) [4,6].



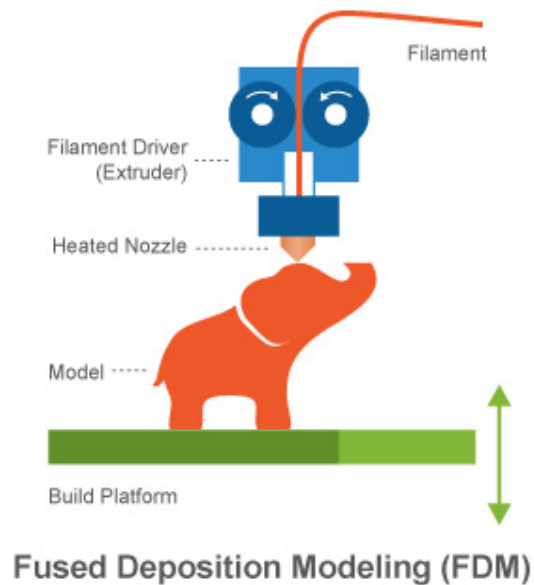
Obr. 2 Schéma metody SLS [5]

## 2.1.3 Fused Deposition Modeling (FDM)

Technologie Fused Deposition Modeling (FDM) spočívá v postupném nanášení materiálu na tiskovou plochu. Tiskovým materiálem je plastová struna navinutá na cívce, tzv. filament. Struna se postupně odvíjí z cívky do tiskové hlavy (extruderu), která materiál nataví na teplotu, při které se stane tekutým, a následně se skrze trysku nanáší na tiskovou plochu. Většina FDM tiskáren disponuje vyhřívanou tiskovou plochou, tzv. heatbed. Při chladnutí materiálu dochází k jeho smrštění a pokud je toto chladnutí nekonzistentní po celém objemu, výsledkem je pokroucený díl. Heatbed udržuje tištěný díl při konstantní teplotě a tím zabraňuje jeho nerovnoměrnému smrštění. Tisková hlava se pohybuje v rovině XY dokud nedokončí jednu vrstvu tištěné součásti. Poté se tisková hlava posune o výšku vrstvy ve směru osy Z a začíná tisknout novou vrstvu. Výška vrstvy se většinou pohybuje od 0,1 do 0,4 mm.

Výhodou této technologie jsou dobré mechanické vlastnosti i tepelná odolnost, v závislosti na volbě materiálu [7,8].

Důležitým prvkem u FDM technologie jsou technologické podpory, které umožňují tiskárně tisknout i v místech, kde by tiskla do vzduchu nebo kde je příliš velký převis. Fungují na principu vytvoření podpůrné struktury, na kterou tiskárna může bezpečně tisknout. Technologické podpory jsou po dokončení tisku odstraněny [7].



Obr. 3 Schéma metody FDM [5]

## 2.2 Materiály pro tisk technologií FDM

Při výběru materiálu pro FDM je možné volit z velkého množství různých materiálů, které se liší v mnoha vlastnostech jako jsou např. pevnost, tepelná odolnost, vzhled atd. Materiál se standardně dodává jako struna (filament) navinutá na cívce. Struna má většinou průměr 1,75 nebo 2,85 mm. Většinou jsou struny plastové, ovšem v dnešní době se používá i mnoho nových materiálů, které obsahují například i příměsi kovů. V této práci jsou uvedeny jen materiály běžně používané a dostupné [9].

S ohledem na to, že se jedná o termoplasty, je při výběru materiálu vhodné volit podle teploty tavení, zda je zvolená 3D tiskárna schopna takovou teplotu vyvinout, a podle teploty skelného přechodu. Ta je důležitá pro stanovení tepelné odolnosti materiálu a nastavení teploty vyhřívání podložky. Při nižší teplotě, než je teplota skelného přechodu, se materiál nachází ve sklovitém stavu, tj. je pevný a při vyšší teplotě ve stavu kaučukovitém, je měkký a teče [9,10].

### 2.2.1 ABS

Akrylonitrilbutadienstyren (ABS) je jedním z nejpoužívanějších termoplastů pro tisk technologií FDM. Je poměrně pevný a houževnatý, s hustotou  $1045 \text{ kg/m}^3$  a vysokou teplotou skelného přechodu  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ , tzn. je dobře tepelně odolný. Obvykle se tento materiál tiskne při teplotě trysky  $230 \text{ }^\circ\text{C}$  a teplotě vyhřívání podložky  $90\text{-}110 \text{ }^\circ\text{C}$ . Nejčastějším problémem při tisku tohoto materiálu je odlepení od podložky v důsledku nerovnoměrného smrštění a horší adheze mezi jednotlivými vrstvami. Řešením tohoto problému může být zvýšení teploty trysky, zvýšení teploty vyhřívání podložky nebo zakrytí tiskárny. Při tisku ABS vznikají zdraví škodlivé výpary, proto se doporučuje tisknout ve větrané místnosti. Velkou výhodou je rozpustnost ABS v acetonu, díky tomu je možné výtisk povrchově vyhlazovat, popř. lepit. S ohledem na velké tepelné smrštění je ABS nevhodný pro tisk velkých objektů. Nejvhodnější využití materiálu ABS je pro tisk menších mechanicky namáhaných dílů [11,12,13].

### 2.2.2 PLA

Polylactic acid (PLA) je biologicky plně odbouratelný materiál s hustotou  $1250 \text{ kg/m}^3$ , který se vyrábí z kukuřičného nebo bramborového škrobu. Vedle ABS je to jeden z nejpoužívanějších materiálů. PLA je tvrdší než ABS, nevýhodou je však větší křehkost. Teplota skelného přechodu činí  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , proto tento materiál není vhodný pro tisk tepelně namáhaných součástí. Teplotu trysky při tisku je vhodné nastavit v rozmezí  $180\text{-}220 \text{ }^\circ\text{C}$  a teplotu vyhřívání podložky pak kolem  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Na rozdíl od ABS nedochází při tisku PLA vlivem chladnutí vytištěného materiálu k takovým deformacím a není nutné využití vyhřívání podložky [13,14,15].

### 2.2.3 PET-G

Polyethylentereftalát (PET) je jedním z nejvíce používaných plastů na světě. Vyrábějí se z něj například láhve, oděvní vlákna a obaly na potraviny. PET-G je modifikovaná verze PET glykolem, díky němu je vlákno průhlednější a méně křehké. PET-G materiál kombinuje vlastnosti ABS a PLA, tj. snadno se tiskne, je houževnatý, odolný vůči teplotám atd. Oproti ABS je adheze mezi vrstvami mnohem lepší a nedochází během tisku k výraznému smrštění. Proto je vhodný pro tisk velkých objektů. Teplota skelného přechodu je  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  a tiskové teploty se pohybují od  $220\text{-}260 \text{ }^\circ\text{C}$  pro trysku a  $60\text{-}90 \text{ }^\circ\text{C}$  pro vyhřívání podložku. Na rozdíl od ABS ho není možné vyhladit acetonem [13,16].

## 2.2.4 HIPS

High Impact Polystyrene (HIPS) je poměrně novým materiálem v oblasti 3D tisku. Je velmi pevný, houževnatý, s dobrou tepelnou stálostí, a proto vhodný pro tisk mechanických součástí. Výhodou jsou také velmi hladké přechody vrstev. Nejčastěji se používá ve dvouextruderových tiskárnách v kombinaci s ABS filamentem. ABS lze rozpustit acetonem a HIPS limonenem, což umožňuje využít jeden z materiálů jako materiál podpůrný, pro tisk technologických podpor, s jeho rozpuštěním po vytištění. Tiskové teploty se pohybují okolo 220 °C pro trysku a 100 °C pro podložku [13,17].

## 2.2.5 PP

Polypropylen (PP) je flexibilní a odolný materiál. Hlavními vlastnostmi jsou pružnost, pevnost a houževnatost. S ohledem na malé vnitřní pnutí je vhodný pro tisk přesných modelů. Má též dobré elektroizolační vlastnosti a není hygroskopický. Tiskové teploty se pohybují okolo 250 °C pro trysku a 100 °C pro podložku [13,18].

## 2.2.6 Nylon

Nylon je jeden z nejpevnějších a zároveň nejhouževnatějších materiálů. Nízký součinitel tření a vysoká teplota tání ho předurčují jako volbu pro tisk funkčních technických dílů i teplotou namáhaných dílů. Nylon se většinou tiskne při teplotě trysky 250 °C a teplotě podložky 90°C. Stejně jako u ABS je problém nylonu ve smršťování, kterému se dá zabránit použitím vyhřívané podložky a zakrytáním tiskárny pro udržení stálé teploty v tiskovém prostoru. Hlavní nevýhodou nylonu je jeho hygroskopická povaha, nylon rychle absorbuje vzdušnou vlhkost. Při tisku musí být filament suchý, v opačném případě vznikají na materiálu při tisku nežádoucí bublinky. Cívku s filamentem se doporučuje před tiskem vysušit a při tisku ji umístit do uzavřeného prostoru s látkou pohlcující vlhkost, např. silikagel. Další nevýhodou je cena, která může být až třikrát vyšší oproti materiálům ABS, PLA, PET-G atd. [13,19].

## 3 Elektrický skateboard

Elektrický skateboard je zařízení, napájené z baterie a poháněné většinou malým bezkartáčovým stejnosměrným elektromotorem, určené k přepravě osob. Tento elektromotor je ovládán ručním bezdrátovým ovladačem, nebo pomocí tlakových snímačů umístěných v desce skateboardu, které v závislosti na náklonu uživatele ovládají otáčky motoru. Elektrický motor zvládne skateboard zrychlit a při přepnutí motoru do regeneračního provozu zpomalit [20].

### 3.1 Základní komponenty elektrického skateboardu

Mezi základní komponenty patří akumulátor, Battery Management System (BMS), Electronic Speed Controller (ESC), jeden nebo více elektromotorů a mechanické součásti pohonného ústrojí. V následujících podkapitolách jsou jednotlivé komponenty blíže popsány.

#### 3.1.1 Akumulátor

Většina elektrických skateboardů používá akumulátor složený z jednotlivých článků řazených sériově či paralelně podle potřeby napětí akumulátoru a jeho výstupního proudu. Nejčastěji se používají standardizované cylindrické články 18650 nebo 20700 typu Li-Ion, ploché Lithium-polymerové články nebo prismatické či válcové Lithium-železo-fosfátové ( $\text{LiFePO}_4$ ) články. Vzhledem k modularitě, výkonu a hustotě energie jsou pro elektrické skateboardy nejčastější volbou cylindrické Li-Ion články 18650. Prvé dvě číslice standardizovaného pojmenování reprezentují průměr článku v milimetrech, druhé dvě číslice jeho délku v milimetrech. Tyto články obvykle disponují nominálním napětím 3,6 V, kapacitou kolem 3000 mAh a maximálním proudem 15 A. Nejčastěji se používá konfigurace 10S, která představuje sériově řazených 10 článků s výsledným nominálním napětím 36 V [21, 22].

#### 3.1.2 Battery Management System

Battery Management System (BMS) neboli systém správy baterií je elektronický řídicí systém, který monitoruje a chrání jednotlivé články nebo jejich paralelní skupiny. Funkcí BMS je ochrana proti nadměrnému a příliš nízkému napětí, nadproudová ochrana, vyvažování napětí článků nebo ochrana proti zkratu [23].

### 3.1.3 Elektromotor

V elektrických skateboardech se téměř výlučně používají motory typu Brushless DC (BLDC), tj. bezkartáčové stejnosměrné motory. Mezi hlavní výhody tohoto typu motory patří dobrý poměr výkonu a hmotnosti a vysoká účinnost. Na rozdíl od komutátorového stejnosměrného motoru BLDC motor spoléhá na tzv. elektronickou komutaci. Proto jeho nedílnou součástí je elektronická jednotka (ESC), která řídí napájení jednotlivých vinutí statoru. Motor většinou obsahuje 3 fáze. Rotor je osazený permanentními magnety [24,25].

Při výběru elektromotoru pro pohon elektrického skateboardu je důležitý parametr konstantních otáček KV [ $\text{min}^{-1}/\text{V}$ ], který vyjadřuje nezatížené otáčky motoru v závislosti na maximálním napětí jeho cívek. Je tak možné spočítat otáčky motoru při napájení zdrojem s libovolným napětím. BLDC elektromotory se obvykle značí čtyřmi číslicemi, první dvě číslice reprezentují průměr motoru v milimetrech, druhé dvě číslice jeho délku v milimetrech [20,26].

Typický BLDC motor pro použití v elektrickém skateboardu je na obr. 4.



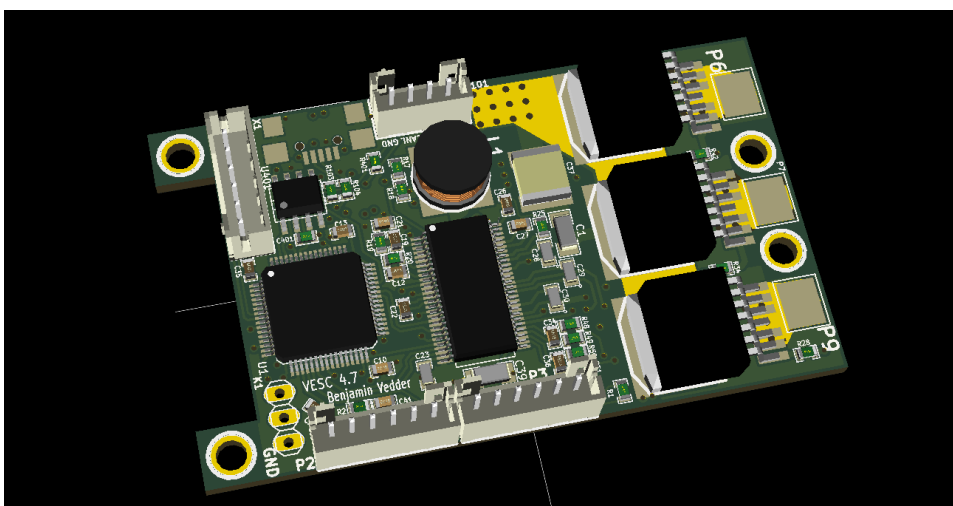
Obr. 4 BLDC elektromotor [27]



### 3.1.4 Electronic Speed Controller

Electronic speed controller (ESC) je zařízení, které reguluje otáčky elektromotoru v závislosti na vstupním signálu. Jeho hlavním úkolem je řídit napájení statorových cívek v závislosti na úhlu natočení rotoru tak, aby se rotor otáčel. Poloha rotoru v tomto případě určuje, které fáze se musí zapnout a které vypnout. ESC proto ke svému chodu vyžaduje informaci o jeho poloze. Nejjednodušším způsobem, jak zjistit polohu rotoru, je použití tzv. Hallových sond. Ty v závislosti na jejich pozici vůči rotoru generují elektrické impulsy, podle kterých je regulátor schopný vypočítat polohu rotoru. Druhým, složitějším způsobem je zjištění polohy rotoru pomocí indukovaného proudu, který při průchodu rotoru fází indukuje napětí známé pod názvem elektromotorická síla (EMF). EMF každé fáze se vztahuje k její poloze vůči rotoru a kombinací hodnot EMF ze všech fází lze vypočítat natočení rotoru [25].

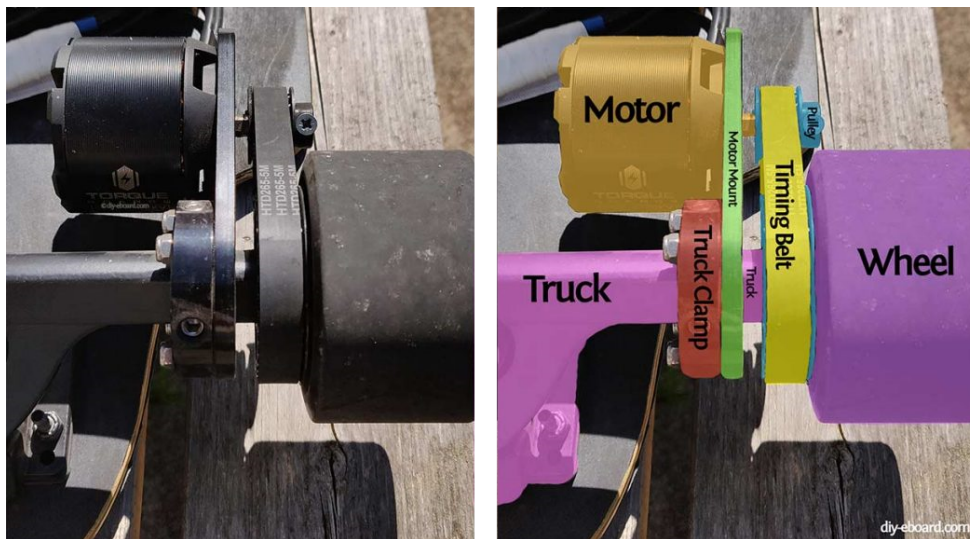
V elektrických skateboardech se poslední dobou těší popularitě tzv. VESC (Vedder-ESC), pojmenovaný po svém vynálezci, švédském inženýrovi Benjaminu Vedderovi. VESC je kompaktní open-source kontrolér, přímo navržený pro použití v lehkých elektrických vozidlech, jako jsou například elektrické skateboardy, elektrická kola nebo elektrické motocykly. VESC řídicí jednotka je schopna pracovat jak bez senzorů, tak s nimi. Největší výhodou VESC oproti standardním ESC jednotkám je možnost konfigurace přes počítač. Pomocí přiloženého softwaru je možné řídicí jednotku nakonfigurovat dle individuálních potřeb. Na obr. 5 je zobrazena deska plošných spojů VESC [28,29].



Obr. 5 Vedder Electronic Speed Controller

### 3.1.5 Součásti pohonného ústrojí

K součástem pohonného ústrojí patří dvojice ozubených řemenic, řemen a úchyt motoru. Hlavním úkolem pohonného ústrojí je přenést točivý moment z hřídele motoru na kolečko skateboardu. K přenosu se nejčastěji využívá normalizovaných synchronních ozubených řemenů HTD (obr. 6). Pro funkční pohon je nutnou podmínkou tuhost celého ústrojí, aby nedošlo k nežádoucímu přeskočení řemenu a tím ke ztrátě kontroly nad vozidlem [20,30].



Obr. 6 Pohonné ústrojí elektrického skateboardu [20]

## 4 Konstrukční návrh elektrického skateboardu

Konstrukční návrh řešil součástky pohonného ústrojí a kryt elektrických komponent. Při navrhování pohonného ústrojí byly provedeny potřebné návrhové výpočty a byly zvoleny vhodné a navzájem kompatibilní komponenty.

### 4.1 Návrhové výpočty

Při navrhování pohonného ústrojí elektrického skateboardu byly zadány tyto vstupní parametry:

Maximální rychlost:  $v_{max} = 50 \text{ km/h} = 13,9 \text{ m/s}$

Motorová konstanta:  $KV = 190 \text{ min}^{-1}/\text{V}$

Napětí akumulátoru:  $U = 36 \text{ V}$

Průměr kolečka:  $D = 110 \text{ mm} = 0,11 \text{ m}$

Počet zubů malé řemenice:  $z_1 = 15$

Z konstanty KV a napětí akumulátoru lze vypočítat:

$$KV = \frac{n}{U} \quad n_{motor} = KV * U = 190 * 36 V = 6840 \text{ min}^{-1}$$

Ze vzorce pro obvodovou rychlost se odvodí vzorec pro otáčky kolečka.

$$v_{max} = \omega * r = 2 * \pi * f * \frac{d}{2} = \pi * f * d = \frac{\pi * n * d}{60} \text{ [m/s]}$$

$$n_{kolečko} = \frac{60 * v_{max}}{n * d} = \frac{60 * 13,9}{\pi * 0,11} = 2413 \text{ min}^{-1}$$

Z hodnot otáček motoru a otáček kolečka lze vypočítat převodový poměr a dosadit ho do vzorce pro převodový poměr v závislosti na počtu zubů ozubených řemenic.

$$i = \frac{n_{motor}}{n_{kolečko}} = \frac{6840}{2413} = 2,83$$

$$i = \frac{z_2}{z_1} \quad z_2 = z_1 * i = 15 * 2,83 = 42,5$$

Z konstrukčních důvodů byl zvolen nižší počet zubů  $z_2 = 40$  zubů. To je z důvodu velikosti ozubené řemenice, která by při vyšším počtu zubů byla blíže vozovce a tudíž vystavena většímu nebezpečí nárazu.

Ze zvoleného počtu zubů obou ozubených řemenic lze vypočítat skutečný převodový poměr:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{40}{15} = 2,67$$

Nakonec se získané hodnoty dosadí do vzorce převodového poměru a do výše odvozeného vzorce pro obvodovou rychlost.

$$n_{kolečko} = \frac{n_{motor}}{i} = \frac{6840}{2,67} = 2562 \text{ min}^{-1}$$

$$v = \omega * r = 2 * \pi * f * \frac{d}{2} = \pi * f * d = \frac{\pi * n * d}{60}$$
$$= \frac{\pi * 2562 * 0,11}{60} = 14,76 \text{ m/s} = 53,14 \text{ km/h}$$

Takto byla vypočtena maximální nezatížená rychlost elektrického skateboardu. Skutečná rychlost bude o něco nižší v závislosti na hmotnosti jezdce [20,31].

## 4.2 Volba vhodných mechanických a elektrických komponent

Při návrhu elektrického skateboardu bylo nutno vybírat vhodné součásti mezi sebou navzájem kompatibilní. Zvolené komponenty jsou popsány níže.

### 4.2.1 Deska

Jako základní díl skateboardu byla zvolena deska Jet Potato Deer Hunter pro tzv. downhill (sjíždění dlouhých kopců) s délkou 91 cm. Desky downhillového typu jsou typicky velmi tvrdé a stavěné na vysoké rychlosti. Deska umožňuje poměrně velký rozvor, což poskytuje dostatek prostoru pro umístění elektroniky a pohonného ústrojí [32].



Obr. 7 Skateboardová deska JET Potato Deer Hunter [32]

### 4.2.2 Podvozek

Podvozek skateboardu tvoří dvojice tzv. trucků. Při stavbě elektrického skateboardu je nutné při výběru trucků zohlednit dostatek místa pro elektromotory a možnost upnutí pohonného ústrojí. V návrhu byly zvoleny trucky Torqueboards 218 mm firmy DIY ELECTRIC SKATEBOARDS, které jsou navrženy na míru pro elektrické skateboardy, tj. disponují širokým rozchodem a přítomností delších os, které umožňují osazení ozubených řemenic [33].



Obr. 8 Trucky Torqueboards 218 mm [33]

### 4.2.3 Kolečka

Hlavním požadavkem na kolečka pro elektrický skateboard je přítomnost jádra, přes které je možno přenášet točivý moment. Pro plynulou jízdu po asfaltu i lehčím terénu byla zvolena terénní skateboardová kolečka Rough Stuff s průměrem 110 mm od firmy Slick Revolution, která nabízí standardizované jádro typu ABEC11 [34].



Obr. 9 Kolečka Rough Stuff [34]

#### 4.2.4 Akumulátor

Při návrhu bylo zvoleno celkem třicet 18650 Li-ion článků Samsung 30Q v konfiguraci 10S3P (10 článků v sériovém zapojení, 3 v paralelním zapojení). Tyto články disponují nominálním napětím 3,6 V, kapacitou 3000 mAh a maximálním proudem 15 A. V zapojení 10S3P bude výsledné nominální napětí 36 V, kapacita 9000 mAh a maximální proud 45 A. Po vynásobení napětí a kapacity v mAh se získá celková energie akumulátoru 324 Wh [35].



Obr. 10 Bateriový článek Samsung 30Q [35]



Obr. 11 Akumulátor 10S3P

## 4.2.5 Battery Management System

Pro monitorování jednotlivých článků akumulátoru byla zvolena standardní BMS pro 10 článků v sérii viz obr. 12. Tato BMS byla zapojena jen v nabíjecím režimu, proto nebylo nutné vybírat jednotku s vysokým vybíjecím proudem.



Obr. 12 BMS [36]

## 4.2.6 Electronic Speed Controller

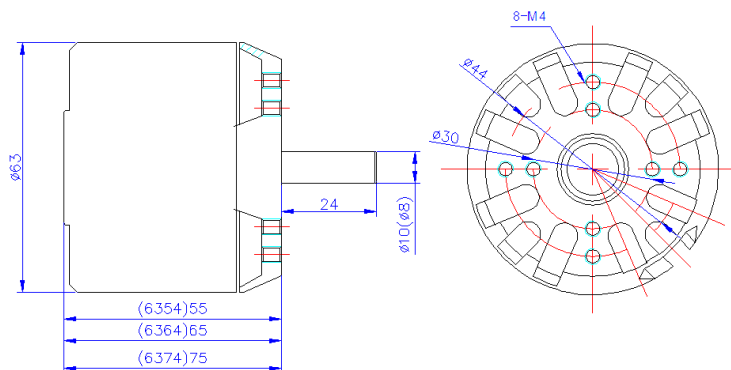
Pro řízení elektromotorů byla zvolena dvojice řídicích jednotek FSESC 4.12 50 A od firmy FLIPSKY, které jsou založeny na open-source projektu VESC, jenž byl popsán výše. Nabízí maximální nepřetržitý výstupní proud 50 A a pracují s napětím 8-60 V [37].



Obr. 13 FSESC 4.12 [37]

## 4.2.7 Elektromotor

Pro pohon skateboardu byly vybrány dva BLDC elektromotory 6354 190 KV s maximálním výkonem 2450 W od firmy FLIPSKY. Parametr KV má hodnotu  $190 \text{ min}^{-1}/\text{V}$ , tzn. motor se bude otáčet rychlostí 190 otáček za minutu na jeden volt napájecího napětí. Motor disponuje Hallovými senzory pro přesnější určení pozice rotoru. Všechny rozměry elektromotoru potřebné pro návrh jsou dodány výrobcem viz obr. 14 [26,27].



Obr. 14 Schéma BLDC motoru FLIPSKY 6354 190KV [27]



Obr. 15 BLDC motor FLIPSKY 6354 190KV [27].

## 4.3 Požadované vlastnosti a funkce pohonného ústrojí

- Houževnatost, materiál musí být schopen odolat nárazům od vozovky
- Tepelná odolnost, materiál musí vydržet vysokou teplotu v místech, kde přichází do styku s elektromotorem, který může dosahovat teploty až  $80 \text{ }^\circ\text{C}$
- Tuhost, k zajištění napnutí řemene a přenosu točivého momentu
- Ochrana elektromotorů proti vniku nečistot a kamínků
- Zajištění chlazení motoru pro udržení optimálních pracovních teplot elektromotoru
- Odolnost proti vibracím, konstrukce pohonného ústrojí a kryt elektrických komponent budou při jízdě vystaveny vibracím, tomu je nutné návrh přizpůsobit, např. použitím samojistných matic



## 4.4 Výběr vhodných tiskových materiálů

Při výběru vhodného materiálu bylo vybíráno z materiálu ABS, PLA, PET-G a nylonu, především s ohledem na jejich dobrou dostupnost.

Pohonné ústrojí bylo vytištěno z materiálu ABS. Jak již bylo výše zmíněno, hlavním požadavkem při výběru byla tepelná odolnost kvůli zahřívání motorů a houževnatost, např. v případě najetí skateboardu na kámen. Materiály PLA a PET-G byly z výběru vyloučeny pro horší tepelné odolnosti a materiál nylon s ohledem na vysokou cenu a obtížnost tisku.

Pro kryt elektrických komponent byl zvolen materiál PET-G. Jedná se o relativně houževnatý, pružný a tepelně odolný materiál, jehož hlavní výhodou je minimální smrštění, a proto je vhodný pro tisk větších dílů. Podobně nízké smrštění nabízí pouze materiál PLA, ten však nevykazuje příliš velkou houževnatost, je spíše křehký. Materiály ABS a nylon jsou pro tisk velkých objektů nevhodné. Kryt elektrických komponent využívá celého volného prostoru pod deskou a jeho délka dosahuje 50 cm, PET-G byl proto jedinou možnou variantou.

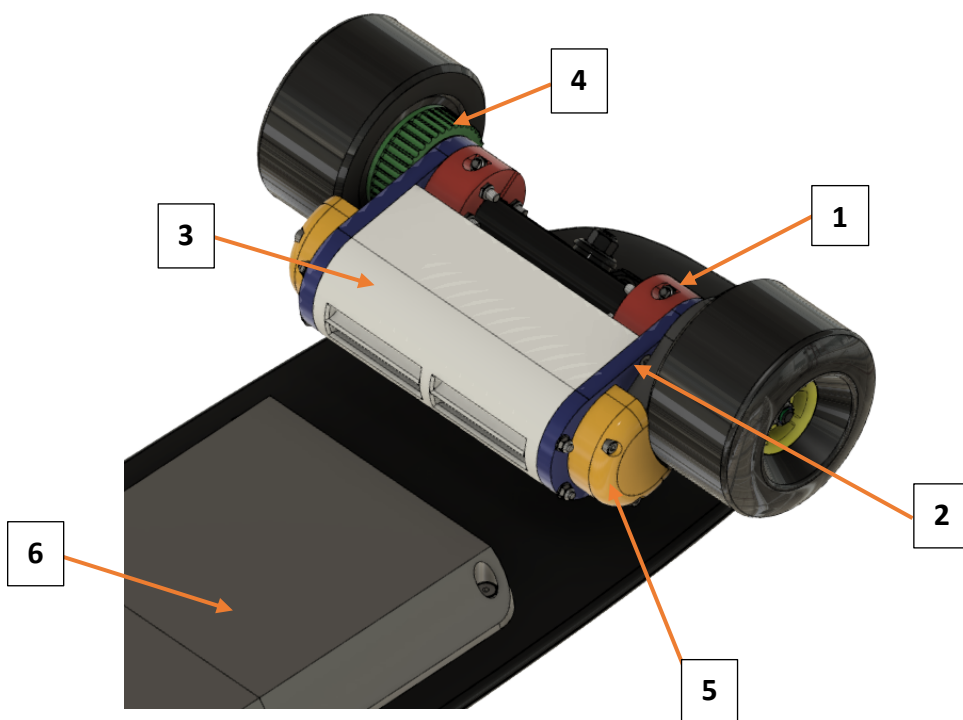
Pro oba použité typy materiálu ABS a PET-G byl zvolen filament černé barvy od firmy Devil Design.

## 4.5 Konstrukční návrh

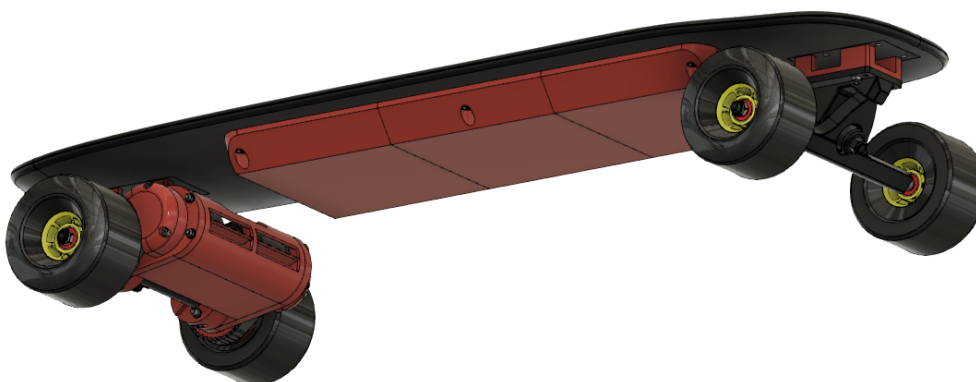
Navržené pohonné ústrojí sestává z těchto tištěných součástí: objímka úchytu motoru (1), úchyt motoru (2), kryt motorů (3), ozubená řemenice (4) a krytka řemenice (5) viz obr. 16. Řemen a menší ozubená řemenice na motoru byly zakoupeny.

Kryt elektrických komponent (6) s ohledem na omezenou tiskovou plochu 3D tiskárny sestává ze tří dílů. Na obr.19 je zobrazeno rozložení komponent v krytu.

Všechny součásti byly vymodelovány v programu Fusion 360 od firmy Autodesk.



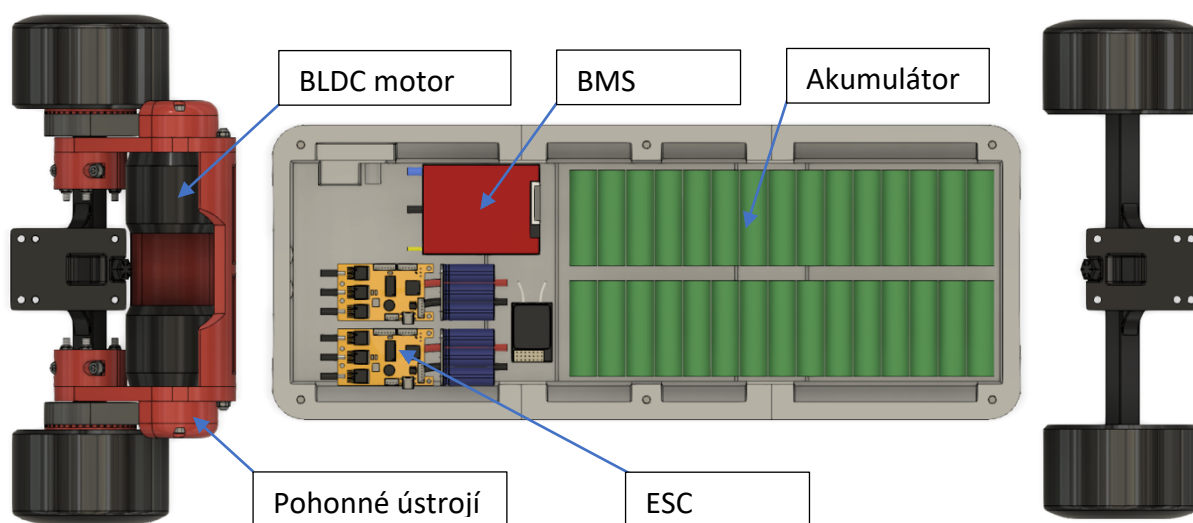
Obr. 16 Pozice součástí v sestavě pohonného ústrojí



Obr. 17 Sestava elektrického skateboardu pohled zespodu



Obr. 18 Sestava elektrického skateboardu pohled ze shora

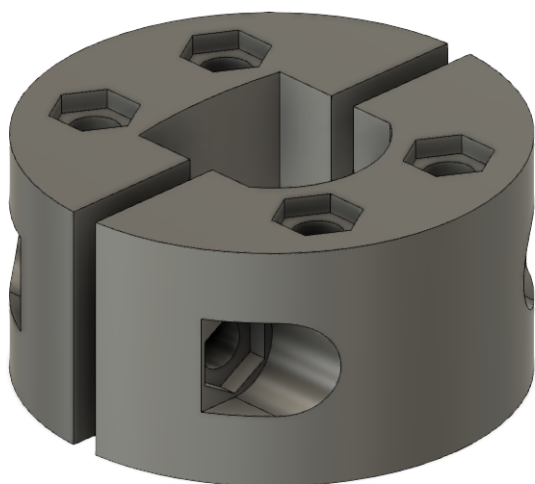


Obr. 19 Schéma rozložení komponent

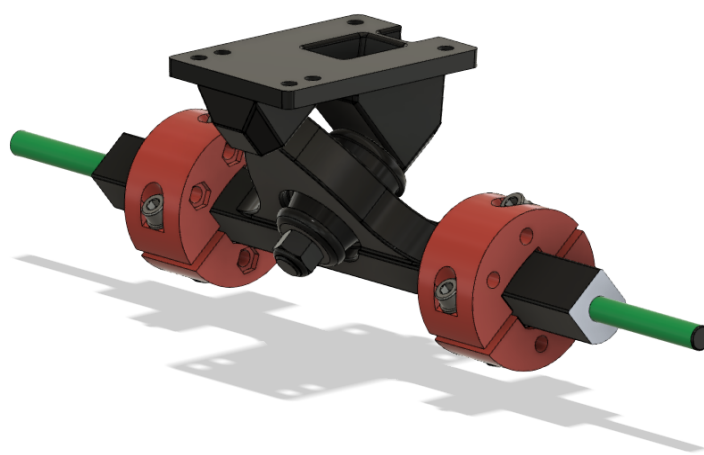
#### 4.5.1 Objímka úchyty motoru

Tento díl zajišťuje pevné spojení pohonného ústrojí s podvozkem skateboardu (truckem). Svěrné spojení je zajištěno šrouby M5x30 s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem a samojistnou maticí s nylonem. Tato součást má největší požadavek na houževnatost s ohledem na častý kontakt s vozovkou. Dále musí oba díly objímky snést napětí při sevření, proto je v takto namáhaných místech dílů nejvíce materiálu. Pro snadnější montáž jsou v objímce pro zafixování matice proti otáčení připravena šestihranná zapuštění viz obr. 21.

<



Obr. 21 Objímka úchyty motoru

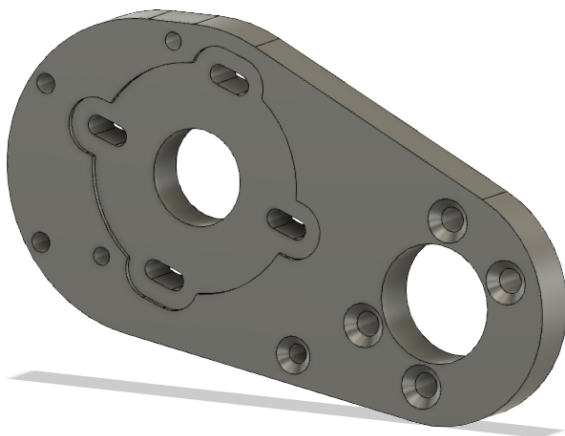


Obr. 20 Pohled na uchycení objímky k podvozku

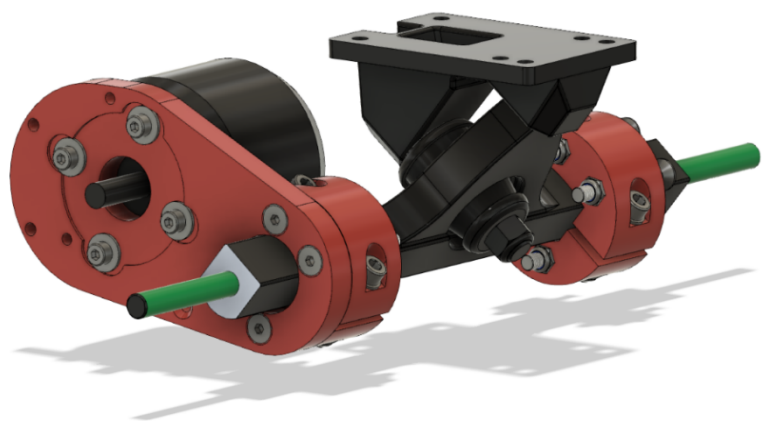
## 4.5.2 Úchyt motoru

Úchyt motoru spojuje objímku úchytu motoru a samotný motor. Spojení mezi objímkou a úchytem je zajištěno šrouby M5x35 se zápusťnou hlavou a vnitřním šestihranem a samojistnou maticí s nylonem. Motor je následně připevněn čtyřmi šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem M4x20 společně s širší podložkou pod nýty, která byla zvolena za účelem zvětšení plochy pod šroubem a tím rozprostřením síly od šroubu. Použití standardní podložky způsobovalo plastickou deformaci pod šroubem. Díry pro šrouby u motoru jsou podlouhlé, aby bylo možné napnout řemen. Pro montáž krytu řemenice byly připraveny dvě díry pro šroub M4. Při navrhování tištěných součástí bylo možno využít měkkou povahu plastu a vyřezat závit přímo samotným šroubem. Pro šroub M4 byla navržena díra průměru 3,7 mm. Takto vyřezané závit jsou funkční, ale vhodné spíše jen pro ne příliš zatěžované šroubové spoje.

Stejně jako objímka je úchyt motoru velice blízko vozovce, je tedy nutná dostatečná houževnatost. Tento díl jako jediný přichází do kontaktu s elektromotorem, který může dosahovat teploty až 80 °C. Je tedy nutné použít tepelně odolného materiálu, jako je například ABS.



Obr. 23 Úchyt motoru



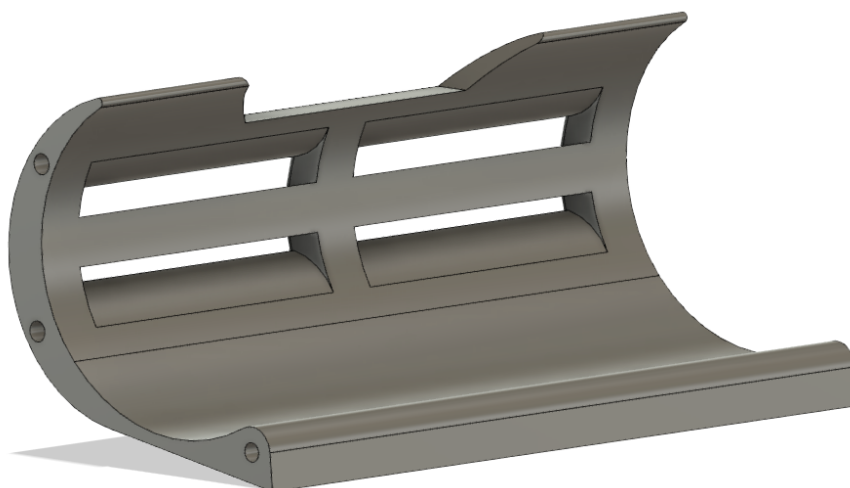
Obr. 22 Úchyt motoru v sestavě

### 4.5.3 Kryt motorů

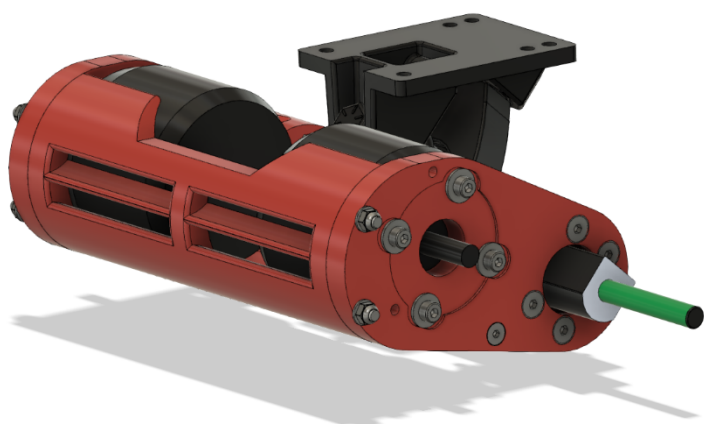
Kryt motorů plní několik důležitých funkcí. Jeho hlavní funkcí je spojení úchytů motorů zabraňující jejich ohybu. Díky tomuto spojení je možné aplikovat a bezpečně přenést plný výkon motoru bez rizika ohybu úchytů a zároveň přeskočení řemenu.

Spojení úchytů motorů a krytu je zajištěno dvěma závitovými tyčemi M4 v kombinaci se samojistnou maticí a jedním zápustným šroubem M4x90 na každé straně úchytu. Pro snadné vedení napájecích kabelů od motorů se v horní části krytu nachází výřez.

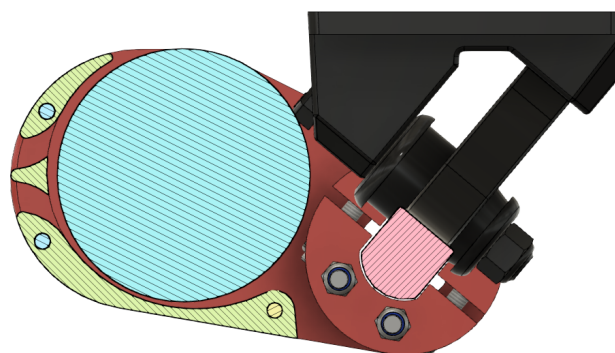
Kryt motorů zajišťuje fyzickou ochranu motorů proti nerovnostem na vozovce a ochranu proti vniku malých předmětů (např. kamínek) do motoru. Dále plní funkci usměrnění proudu vzduchu štěrbinami na motory tak, aby proudil po jejich obvodu viz obr. 25.



Obr. 24 Kryt motorů



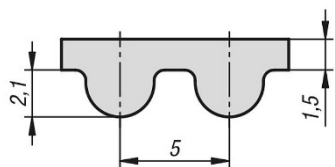
Obr. 25 Kryt motorů v sestavě



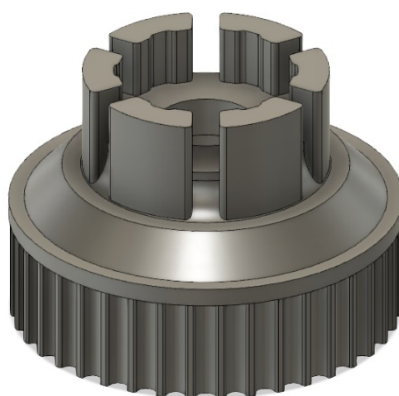
Obr. 26 Řez krytu motorů a sestavou

#### 4.5.4 Ozubená řemenice

K přenosu točivého momentu na kolo slouží řemenový převod typu HTD 5M, samotný přenos zajišťují výstupky, které přesně kopírují tvar jádra kolečka viz obr. 27. Podle návrhových výpočtů byl počet zubů tištěné řemenice stanoven na 40. V řemenici je vestavěno vlastní radiální kuličkové ložisko typu 608, to zaručuje optimální vycentrování řemenice vůči hřídeli. Axiální zajištění je vyřešeno opřením řemenice o kolečko, které je zajištěno maticí na ose podvozku viz obr. 31.



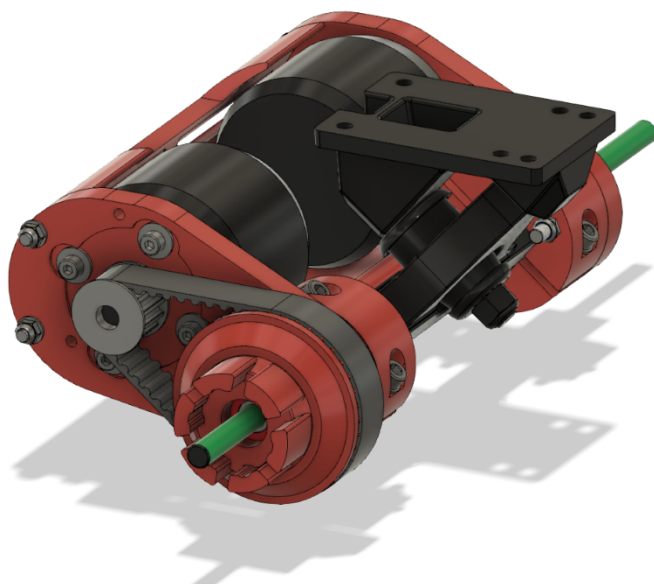
Obr. 29 Schéma profilu HTD



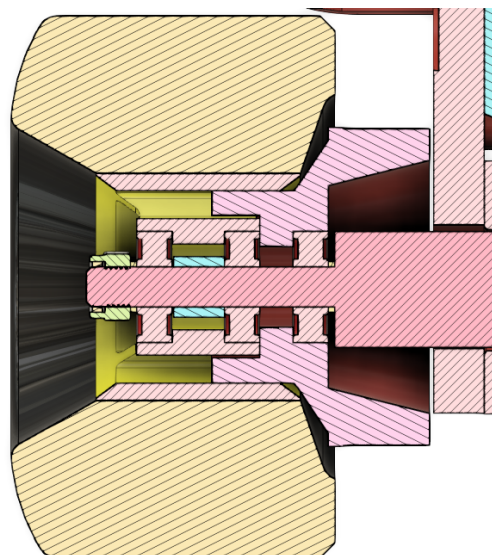
Obr. 28 Ozubená řemenice



Obr. 27 Kolečko s jádrem typu ABEC11



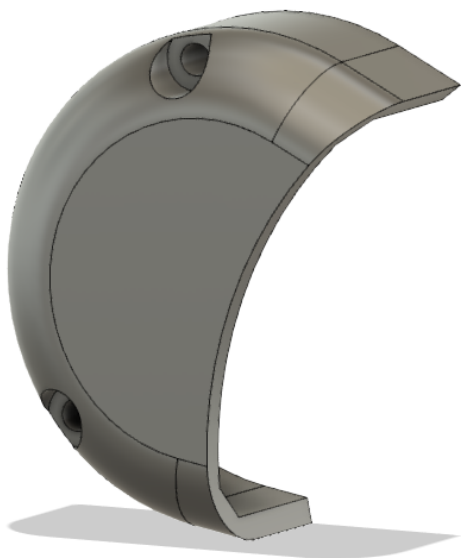
Obr. 30 Řemenice v sestavě



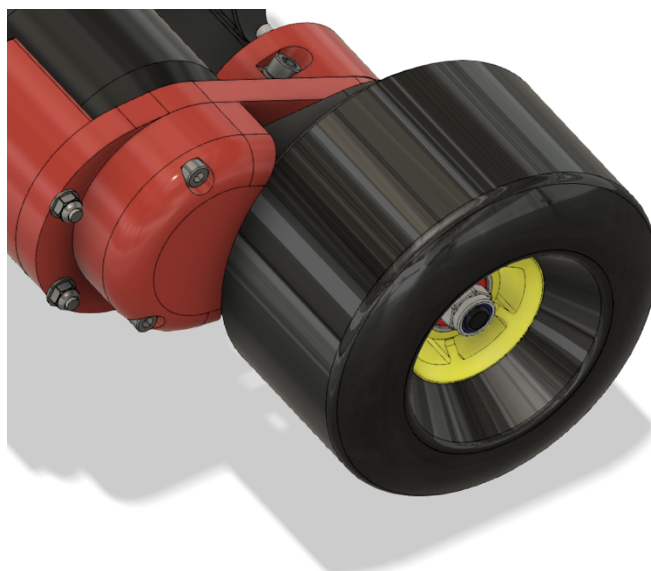
Obr. 31 Řez řemenicí a sestavou

### 4.5.5 Kryt řemenice

Kryt řemenice zabraňuje vniku nežádoucí těles (např. kamínků) do řemenového převodu. Kryt je k úchytu motoru připevněn pomocí šroubů M4x20 s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem.



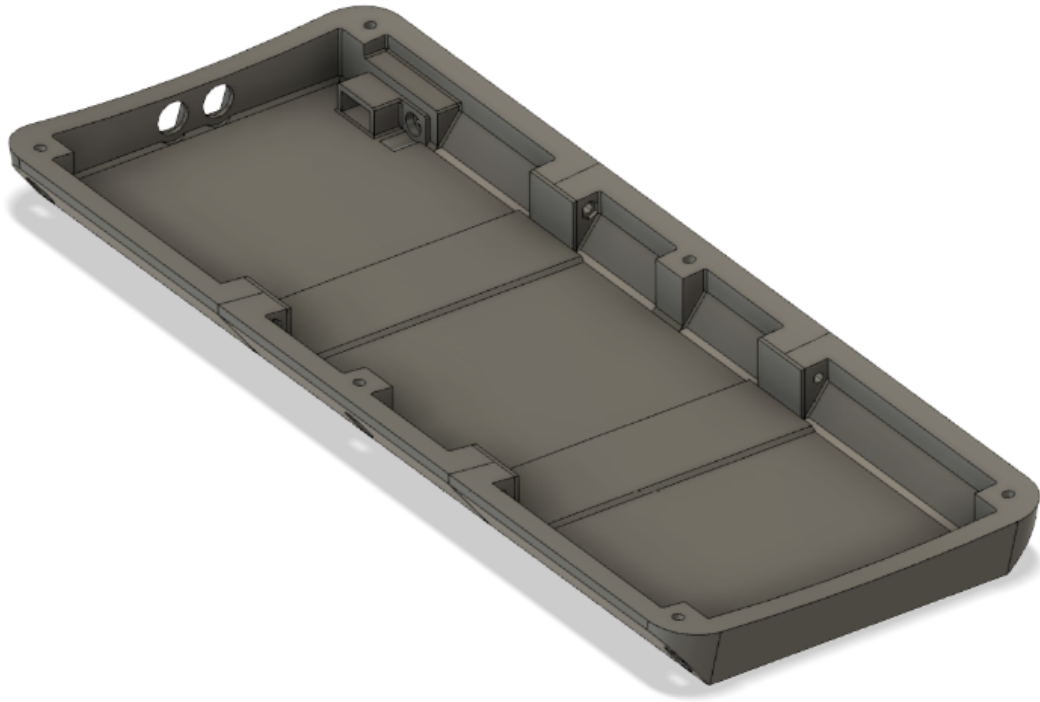
Obr. 33 Kryt řemenice



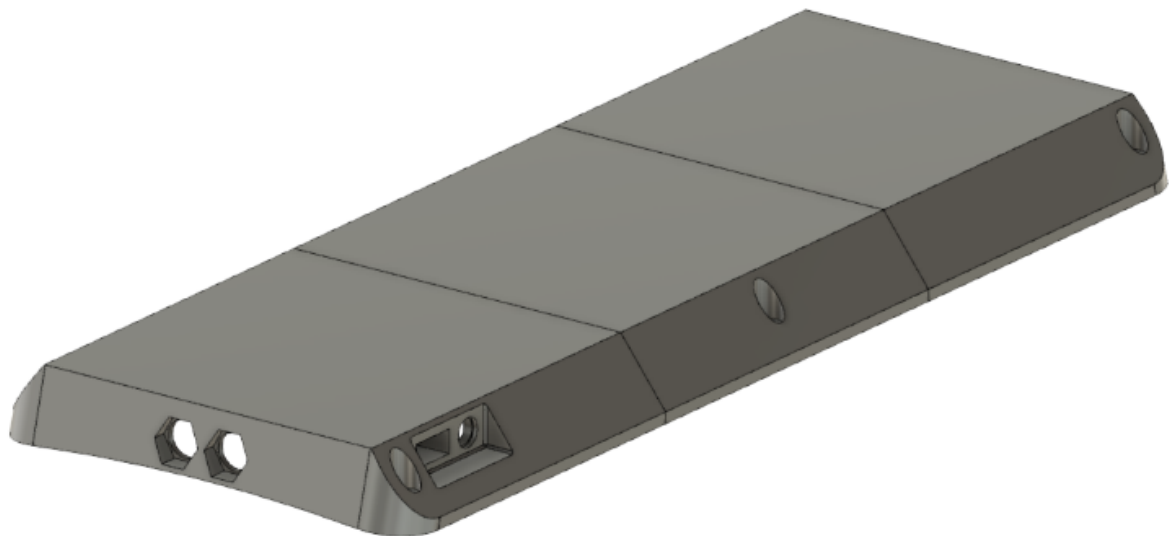
Obr. 32 Kryt řemenice v sestavě

### 4.5.6 Kryt elektrických komponent

Kryt elektrických komponent zajišťuje upevnění všech potřebných elektrických součástí k desce skateboardu. Vzhledem k tomu, že délka krytu přesahuje 50 cm, bylo třeba ho rozdělit na několik dílů a ty spojit až při postprocessingu. Tyto díly nebylo možno bezpečně spojit lepidlem pro nedostatečnou kontaktní plochu mezi nimi. V návrhu proto byly díly spojeny šroubovým spojem na každé straně, s přilepením 2 mm plátu na dno v místě mezery. Tím se dostatečně zvětšila plocha lepeného spoje. Návrh krytu také řešil všechny potřebné otvory pro vedení vodičů a konektorů.



Obr. 34 Kryt elektrických komponent ze shora



Obr. 35 Kryt elektrických komponent zespodu

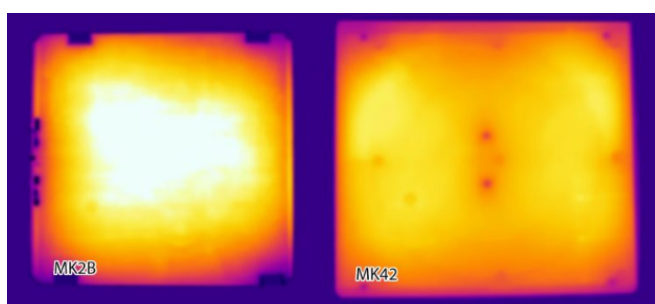


## 5 Optimalizace dílů pro 3D tisk metodou FDM

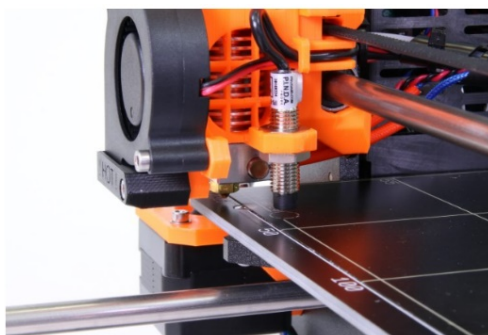
Tisk všech dílů byl proveden na tiskárně Prusa i3 MK2 od firmy Prusa Research. Tato tiskárna byla představena v roce 2016 a nabízí mnoho užitečných funkcí. Mezi největší výhody patří vyhřívaná podložka MK42 s kompenzací studených rohů viz obr. 36. Novinkou je také speciální fólie nalepená na podložce, na kterou lze s dobrou přilnavostí tisknout téměř všechny materiály. Kalibrace je zde řešená automaticky indukční sondou a devíti kalibračními body, které jsou zabudované v podložce viz obr. 38. Tiskárna nabízí tiskový prostor 250x210x200 mm [38].



Obr. 37 3D tiskárna Prusa i3 MK2



Obr. 36 Porovnání rovnoměrného rozprostření tepla na podložce oproti předchozí generaci podložky

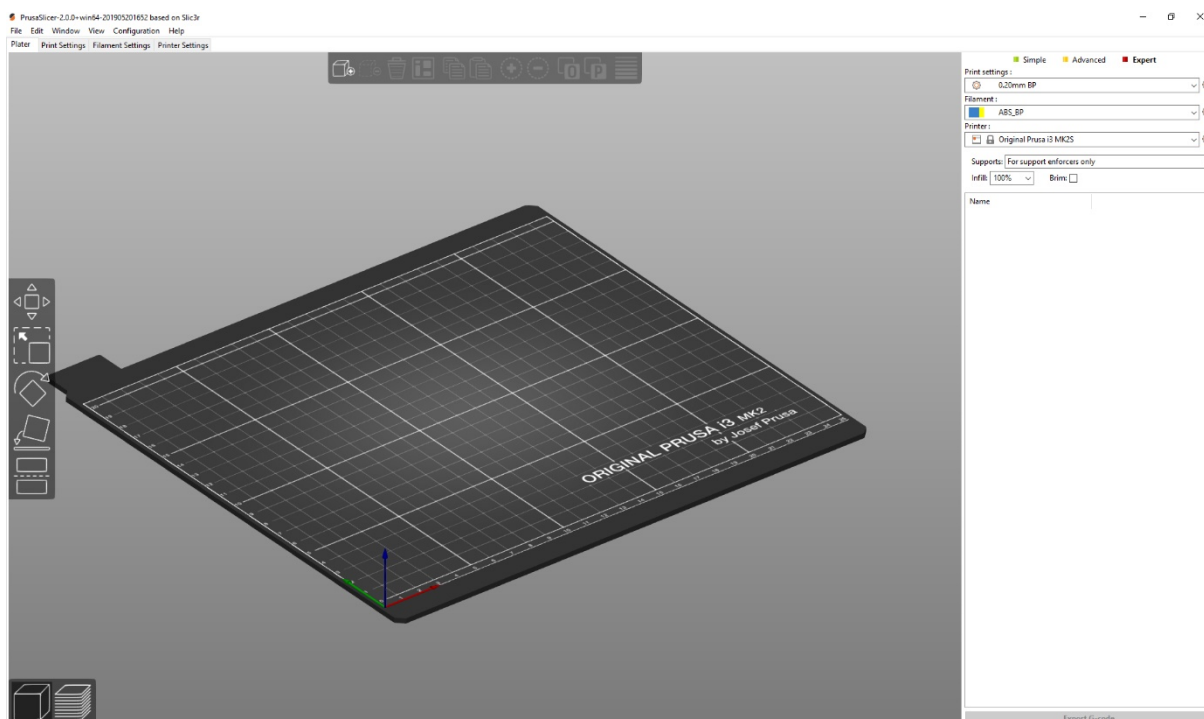


Obr. 38 Pohled na kalibrační indukční sondu

## 5.1 Volba vhodného programu typu Slicer a přenos dat do tiskárny

Vymodelované součásti v programu Autodesk Fusion 360 byly exportovány ve formátu vhodném pro 3D tisk (.stl). STL soubor popisuje 3D objekt pomocí jednotkových normálových vektorů a vrcholů trojúhelníku ve trojrozměrné kartézské soustavě souřadnic, ten je pak nahrán do vhodného programu typu Slicer, jehož účelem je připravení tiskových drah pro 3D tiskárnu, které jsou standardně generovány ve formátu gcode. Samotný přenos dat do tiskárny je zajištěn paměťovou kartou, kterou je tiskárna schopna načíst [39].

K tiskárně Prusa i3 MK2 je dodáván program PrusaSlicer2.0. Ten nabízí příjemné uživatelské rozhraní, viz obr. 39, a předdefinované tiskové profily optimalizované pro tiskárnu i3 MK2. Mezi další funkce patří možnost nastavitelných technologických podpor nebo například vícebarevný tisk [40].



Obr. 39 Uživatelské prostředí programu PrusaSlicer 2.0

## 5.2 Volba tiskových parametrů

Nastavení programu PrusaSlicer 2.0 se dělí na kategorie: **Print settings**, **Filament settings** a **Printer settings** [41].

V kategorii **Print settings** je možné nastavit parametry jako je např. výška vrstvy, počet perimetrů (vnějších stěn), hustotu výplně a její tvar, nastavení podpůrných technologických podpor nebo nastavení rychlosti tisku [41].

Ve **Filament settings** je možné konfigurovat parametry pro tiskový materiál (filament). Nejdůležitějším parametrem jsou tiskové teploty: teplota trysky a teplota vyhřívané podložky. Dále je možné například nastavit ofukování integrovaným ventilátorem pro lepší chladnutí materiálu [41].

V kategorii **Printer settings** se nastavují parametry přímo dané 3D tiskárny, jako je například šířka trysky nebo nastavení velikosti tiskového prostoru, se kterým program pracuje [41].

Nastavení programu je velmi komplexní, proto budou v této práci stručně popsány pouze nejdůležitější parametry ovlivňující tisk.

### 5.2.1 Profil nastavení tisku

Pro všechny tištěné součásti byl upraven na míru předdefinovaný profil 0,20 mm NORMAL, který je součástí programu PrusaSlicer 2.0.

Hlavním parametrem tisku je **Layer height** (výška vrstvy), který udává o jakou vzdálenost se zvedne tisková hlava po dokončení jedné vrstvy. Nepřímo souvisí s dobou tisku, kvalitou tisku a jeho pevností. Pro tisk funkčních součástí skateboardu byla zvolena hodnota 0,2 mm, což je kompromis mezi pevností, kvalitou a dobou tisku.

Parametr **Vertical shells** (vertikální plášť) udává z kolika vláken bude vytištěna stěna objektu. Pro tisk technických součástí je vhodné volit vyšší počet, součást bude potom silnější. Pro tištěné součásti skateboardu byl tento parametr nastaven na 5.

Neméně důležité jsou parametry kategorie **Infill** (výplň). V ní je možné nastavovat **Fill density** (hustota výplně), která určuje s jakou hustotou bude vyplněn vnitřek tištěného objektu. U fyzicky namáhaných součástí je vhodné nastavit co největší hodnotu, ta je přímo

úměrná pevnosti. Proto byla hustota nastavena na 100 %. Také je možnost nakonfigurování **Fill pattern** (typ výplně), kterým bude tiskárna vyplňovat. Nejčastěji používaný je typ Rectilinear, který i nabízí největší pevnost, a proto byl zvolen.

Parametr rychlosti tisku byl ponechán na výchozích hodnotách s výjimkou rychlosti první vrstvy, která byla nastavena na 30 % rychlosti ostatních vrstev. Pomalý chod tiskárny při nanášení první vrstvy zaručí dobrou přilnavost k vyhřívané podložce.

Nastavení **Support material** (technologická podpora) je důležité u součástí, které obsahují převisy. Podpory jsou programem vygenerované tak, aby šly jednoduše odtrhnout. Standardně tiskárna zvládá tisknout až 60stupňový převis, pokud je však větší, je vhodné využít podpory.

### 5.2.2 Nastavení tiskových teplot pro materiály ABS a PET-G

U tisku mechanicky namáhaných částí je vhodné zvolit co nejvyšší tiskovou teplotu. Materiál ABS se standardně tiskne při teplotě okolo 230 °C, pro vytištění součástek pro elektrický skateboard byla ale zvolena teplota 255 °C, která zaručuje lepší adhezi jednotlivých vrstev. Ze stejného důvodu při tisku ABS nebyl zapnut ventilátor chlazení. Teplota vyhřívané podložky byla nastavena na hodnotu 100 °C.

Pro tisk krytu elektrických komponent z materiálu PET-G byla navolena z důvodu lepší adheze vrstev vyšší teplota trysky 240 °C, což bylo více než standardní teplota doporučená výrobcem. Vyhřívaná podložka byla nastavena na teplotu 90 °C. Ventilátor chlazení byl nastaven na 30 % maximálních otáček.

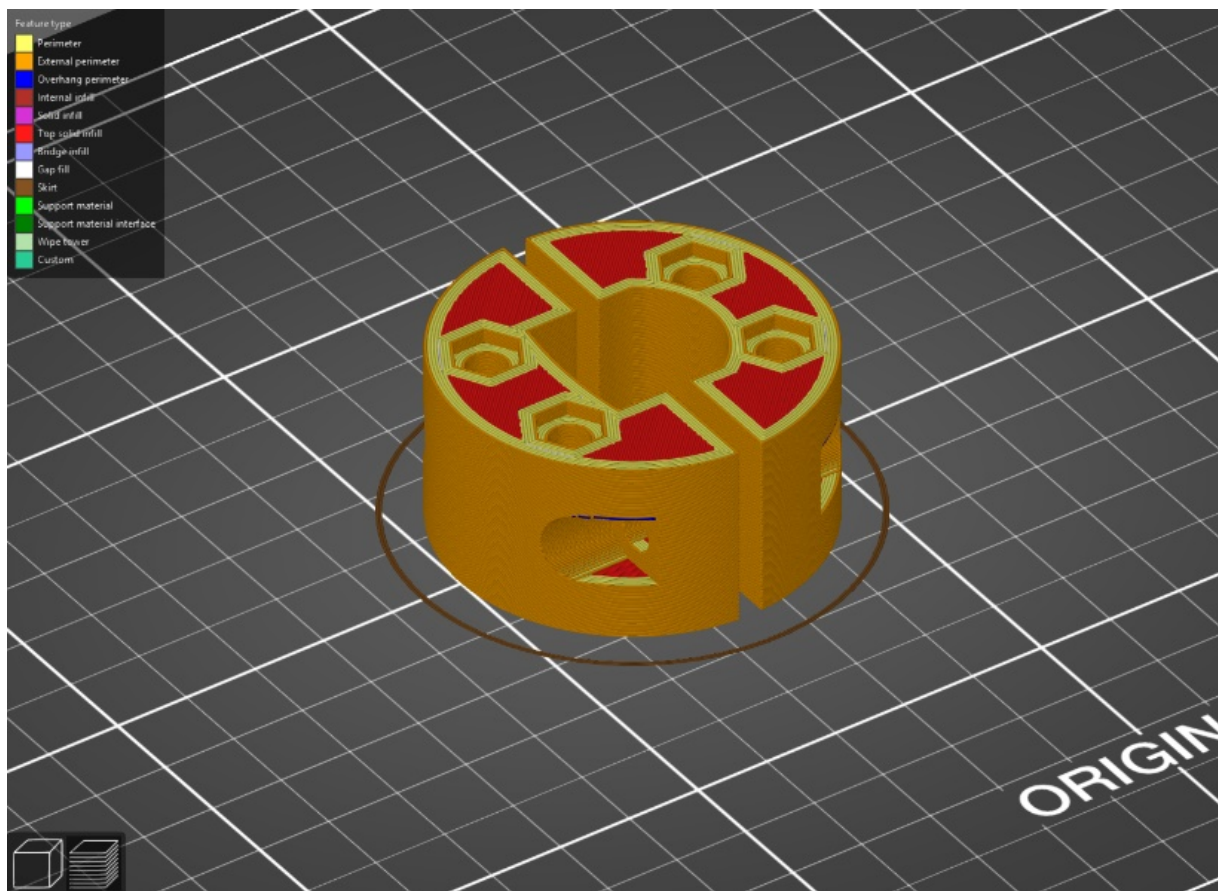
## 5.3 Orientace objektu při tisku, volba technologických podpor

Při 3D tisku technologií FDM je nutné vhodně zvolit orientaci tištěného objektu na vyhřívané podložce. S ohledem na nanášení vrstev ve vertikálním směru vykazuje tištěný materiál anizotropní vlastnosti, je ve vertikálním směru nejméně pevný. Proto je vhodné natočit objekt na podložce tak, aby směr největšího namáhání byl rovnoběžný s plochou podložky. Ve vertikálním směru je následně možné objekt zpevnit, například použitím šroubového spoje.

U popisu každé součásti je přiložen náhled z programu PrusaSlicer2.0. Ten rozlišuje různé prvky různými barvami. Vnější stěny jsou vyznačeny oranžovou barvou, vnitřní stěny žlutou, horní výplň červenou, převisy modrou a technologické podpory zelenou barvou.

### 5.3.1 Objímka úchytu motoru

Pro tisk objímky byla zvolena orientace na obr. 40. Tato orientace zaručuje požadovanou pevnost ve směru sevření objímky, pevnost ve vertikálním směru je zaručena šroubovým spojem. Tento díl byl vytištěn bez technologických podpor.



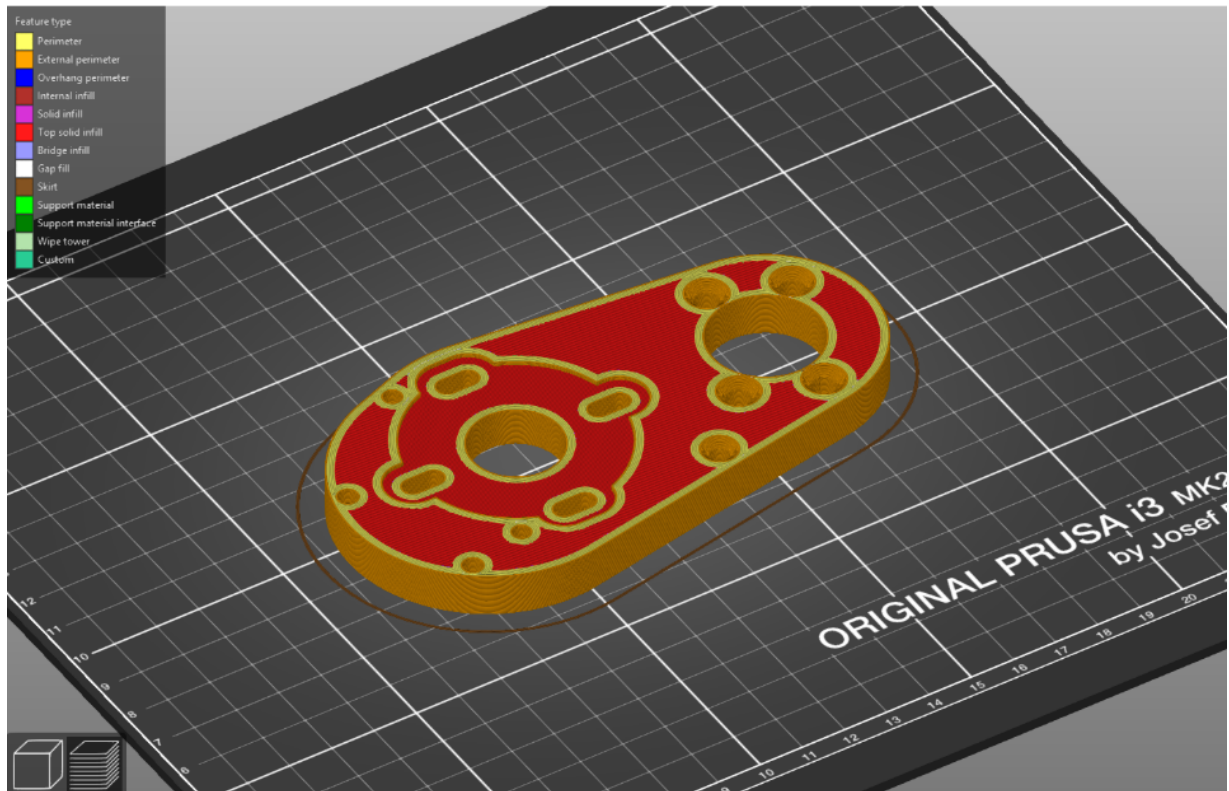
Obr. 40 Náhled objímky úchytu motoru v programu PrusaSlicer

hmotnost použitého filamentu: 36 gramů

odhadovaný čas tisku: 3h 29m

### 5.3.2 Úchyt motoru

Úchyt motoru byl tištěn v horizontální poloze viz obr. 41. Při této orientaci není třeba použití technologických podpor a pro díl tohoto typu je nevhodnější. Ve vertikální ose je pevnost zajištěna šroubovým spojem motoru a šroubovým spojem objímky.



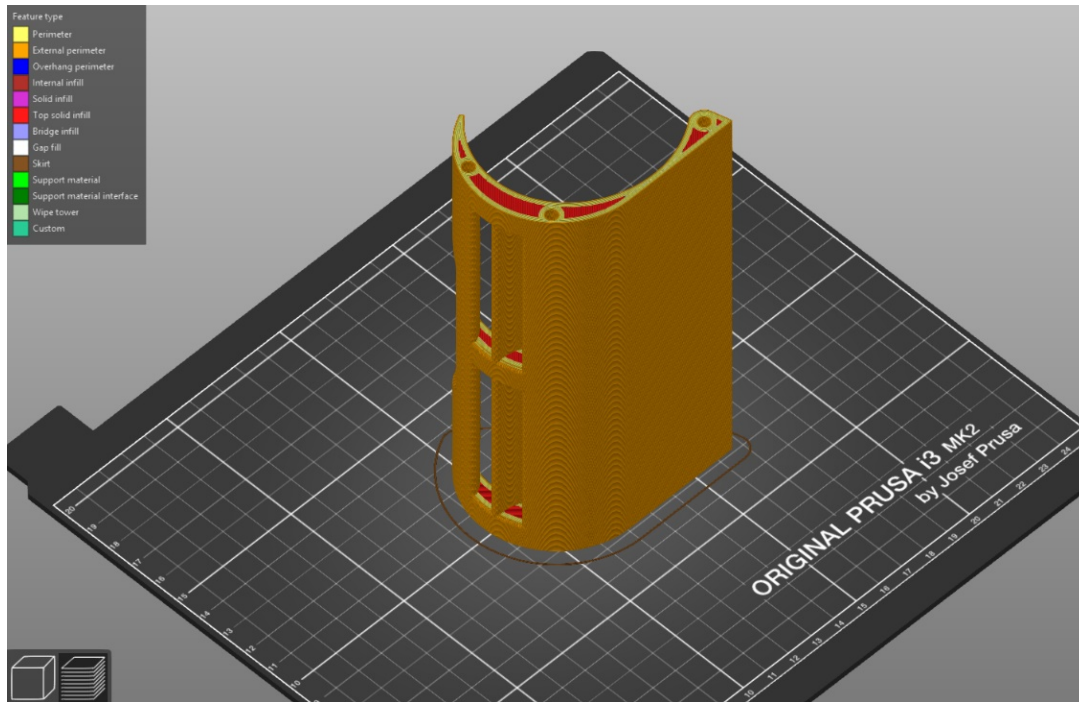
Obr. 41 Náhled úchytu motoru v programu PrusaSlicer

hmotnost použitého filamentu: 61 gramů

odhadovaný čas tisku: 4h 48m

### 5.3.3 Kryt motorů

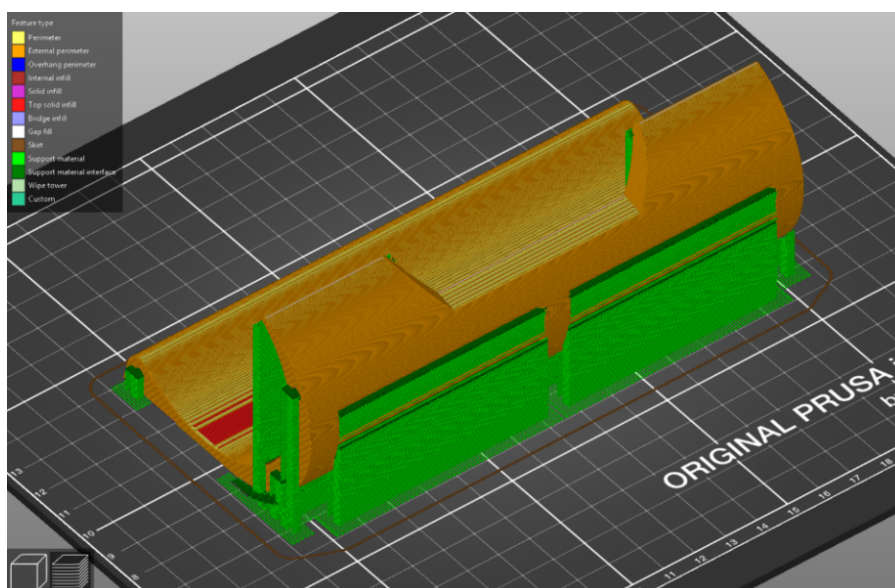
Pro tisk krytu motorů byla zvolena orientace na výšku, tato orientace jediná umožňuje tisk bez technologických podpor. Příklad nevhodně zvolené orientace je na obr. 43. Nedostatek pevnosti ve vertikálním směru byl vyřešen použitím M4 závitových tyčí.



Obr. 42 Náhled krytu motorů v programu PrusaSlicer

hmotnost použitého filamentu: 106 gramů

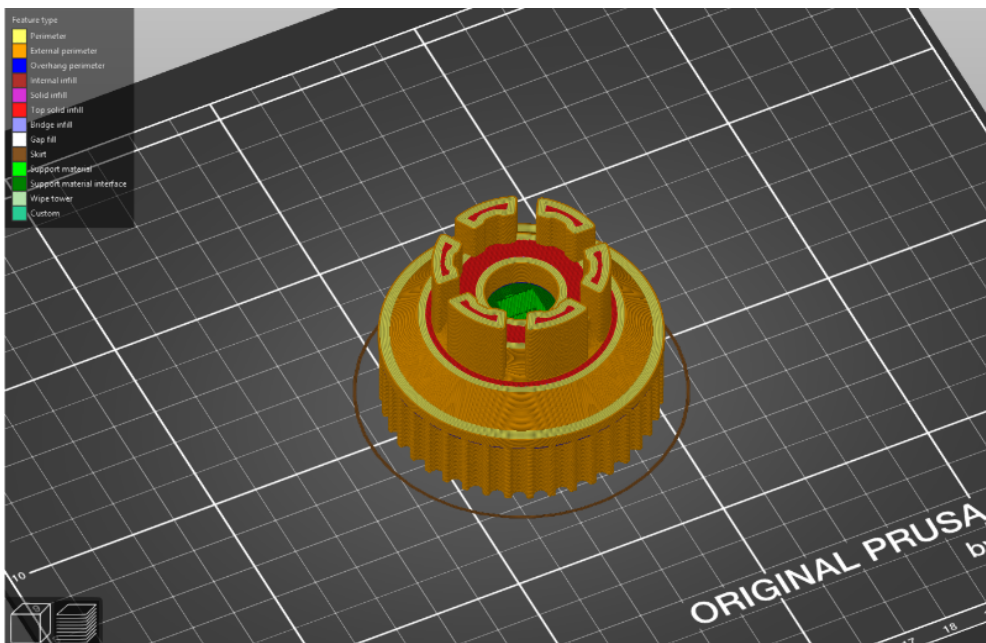
odhadovaný čas tisku: 13h 26m



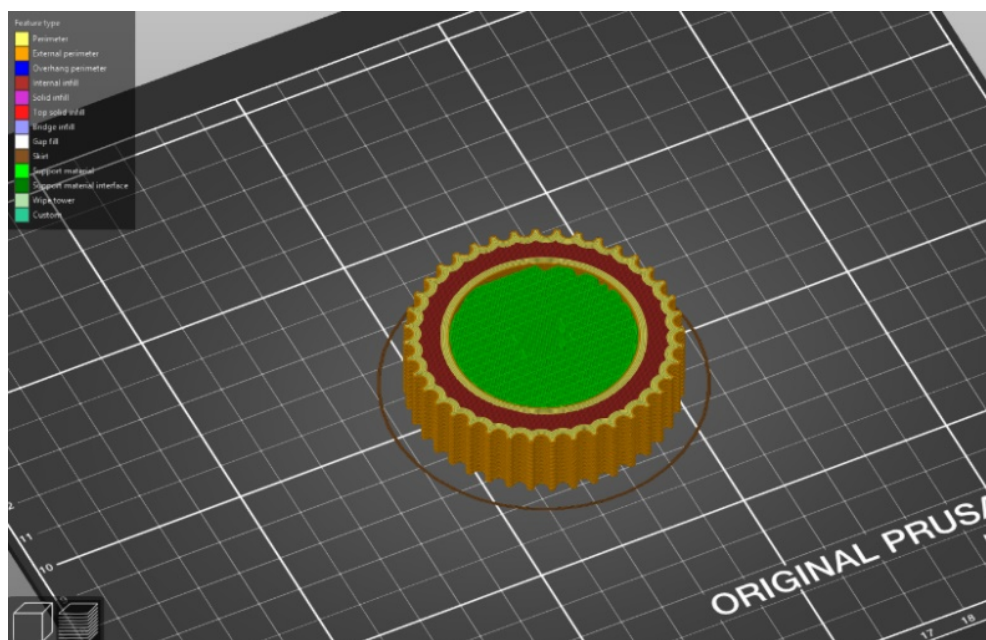
Obr. 43 Nevhodně zvolená orientace krytu motorů v programu PrusaSlicer

### 5.3.4 Řemenice

Na obr. 44 je zobrazena nejvhodnější orientace řemenice na tiskové podložce zaručující požadovanou pevnost zubu. S ohledem na umístění ložiska uvnitř řemenice je nutné použít technologické podpory.



Obr. 44 Náhled ozubené řemenice v programu PrusaSlicer



Obr. 45 Náhled vnitřní vrstvy ozubené řemenice v programu PrusaSlicer

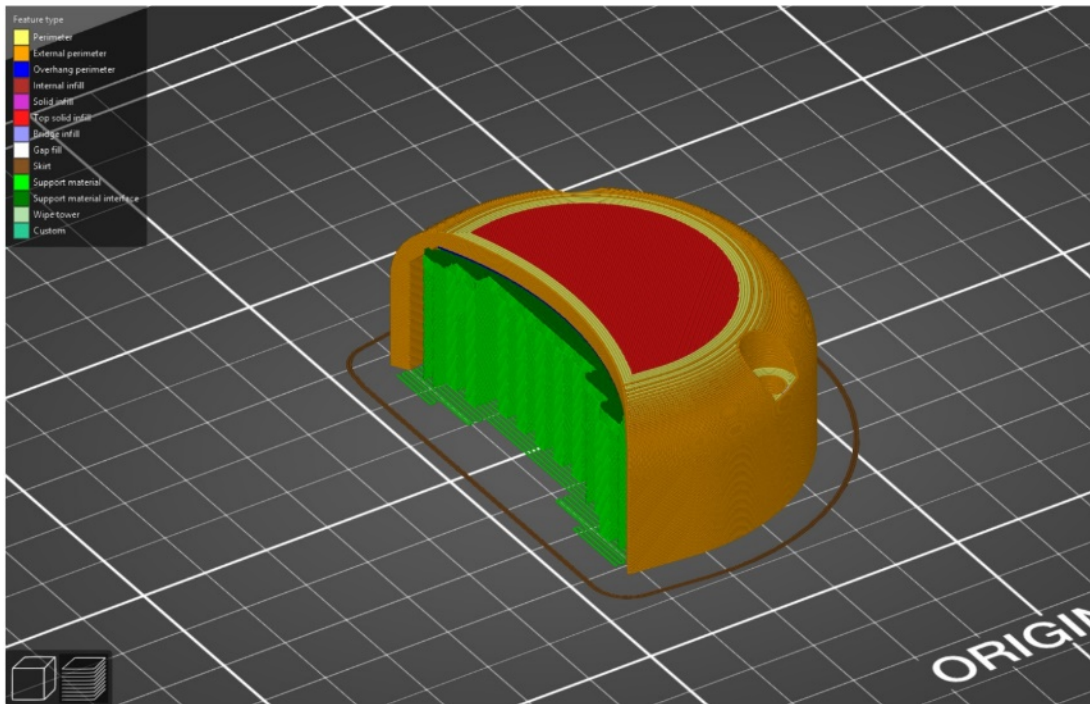
hmotnost použitého filamentu: 52 gramů

odhadovaný čas tisku: 4h 42m



### 5.3.5 Kryt řemenice

Kryt řemenice kromě ochrany řemenového převodu plní také funkci estetickou. Orientace na obr. 46 zaručuje pěkný hladký povrch, ale s nutností využití technologických podpor.



Obr. 46 Náhled krytu řemenice v programu PrusaSlicer

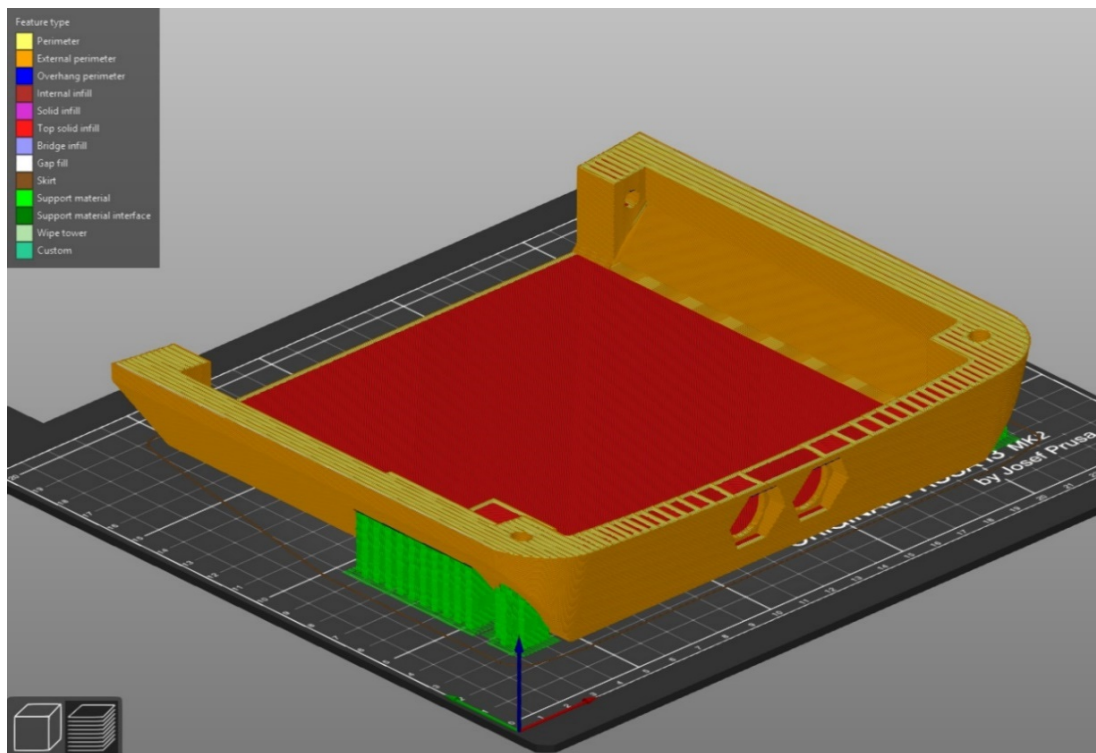
hmotnost použitého filamentu: 27 gramů

odhadovaný čas tisku: 2h 26m

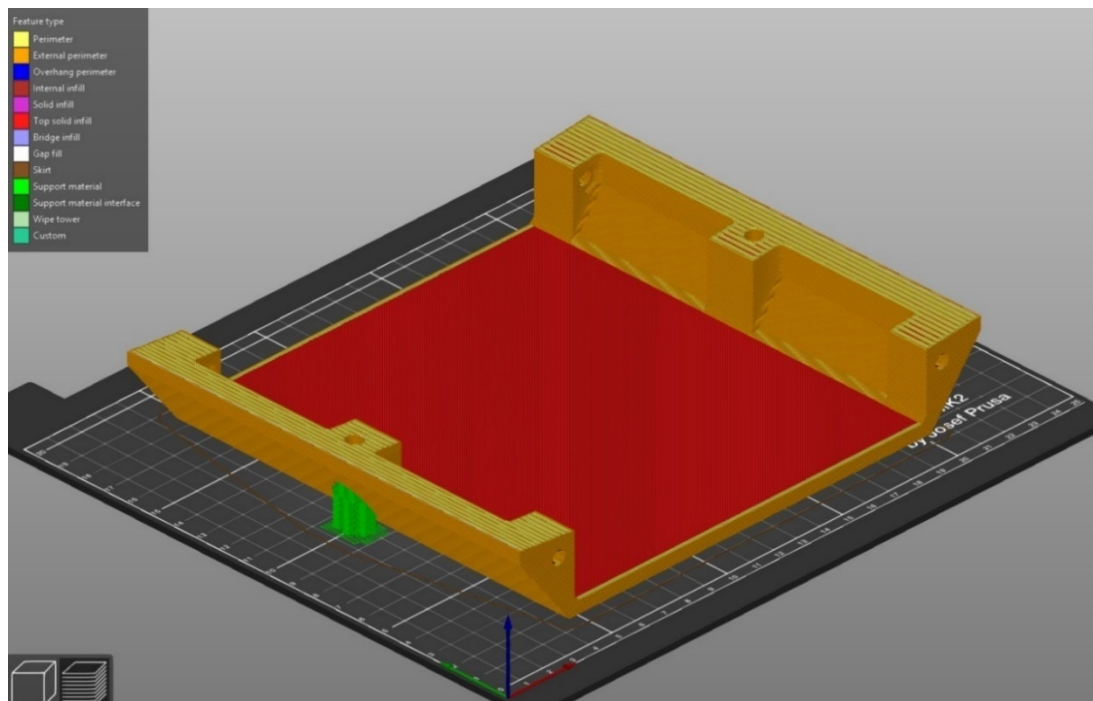
### 5.3.6 Kryt elektrických komponent

Jak již bylo zmíněno výše, kryt elektrických komponent musel být kvůli omezenému tiskovému prostoru tiskárny rozdělen na tři díly, které byly spojeny během postprocessingu.

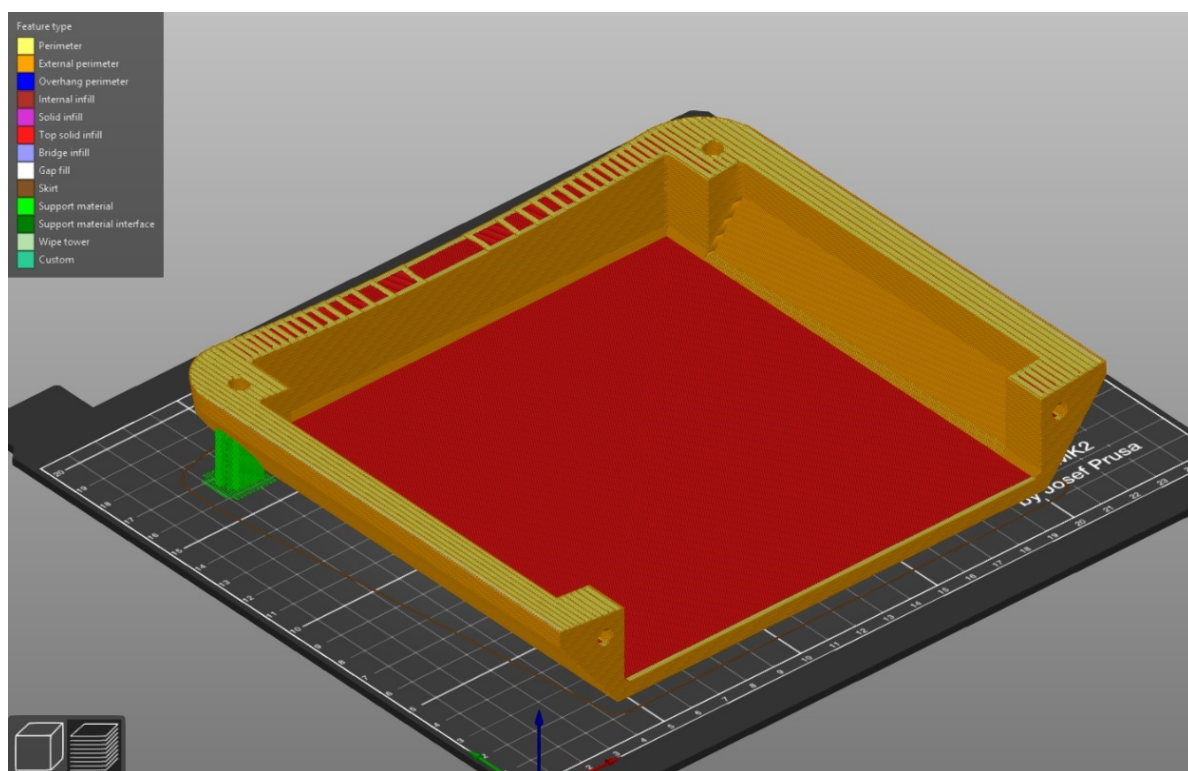
V místech uložení šroubů a otvorů pro konektory byly přidány technologické podpory, s cílem dosažení hezčího povrchu.



Obr. 47 Náhled zadního dílu krytu elektrických komponent v programu PrusaSlicer  
 hmotnost použitého filamentu: 318 gramů  
 odhadovaný čas tisku: 20h 17m



Obr. 48 Náhled prostředního dílu krytu elektrických komponent v programu PrusaSlicer  
 hmotnost použitého filamentu: 297 gramů  
 odhadovaný čas tisku: 18h 53m



Obr. 49 Náhled předního dílu krytu elektrických komponent v programu PrusaSlicer

hmotnost použitého filamentu: 318 gramů

odhadovaný čas tisku: 19h 50m

## 5.4 Příprava tiskárny

Pro přípravu tiskárny na tisk materiálu ABS byla zvolena stavba skříňky (boxu) pro 3D tiskárnu viz obr. 50. Návod na její stavbu pochází přímo od výrobce tiskárny [42].

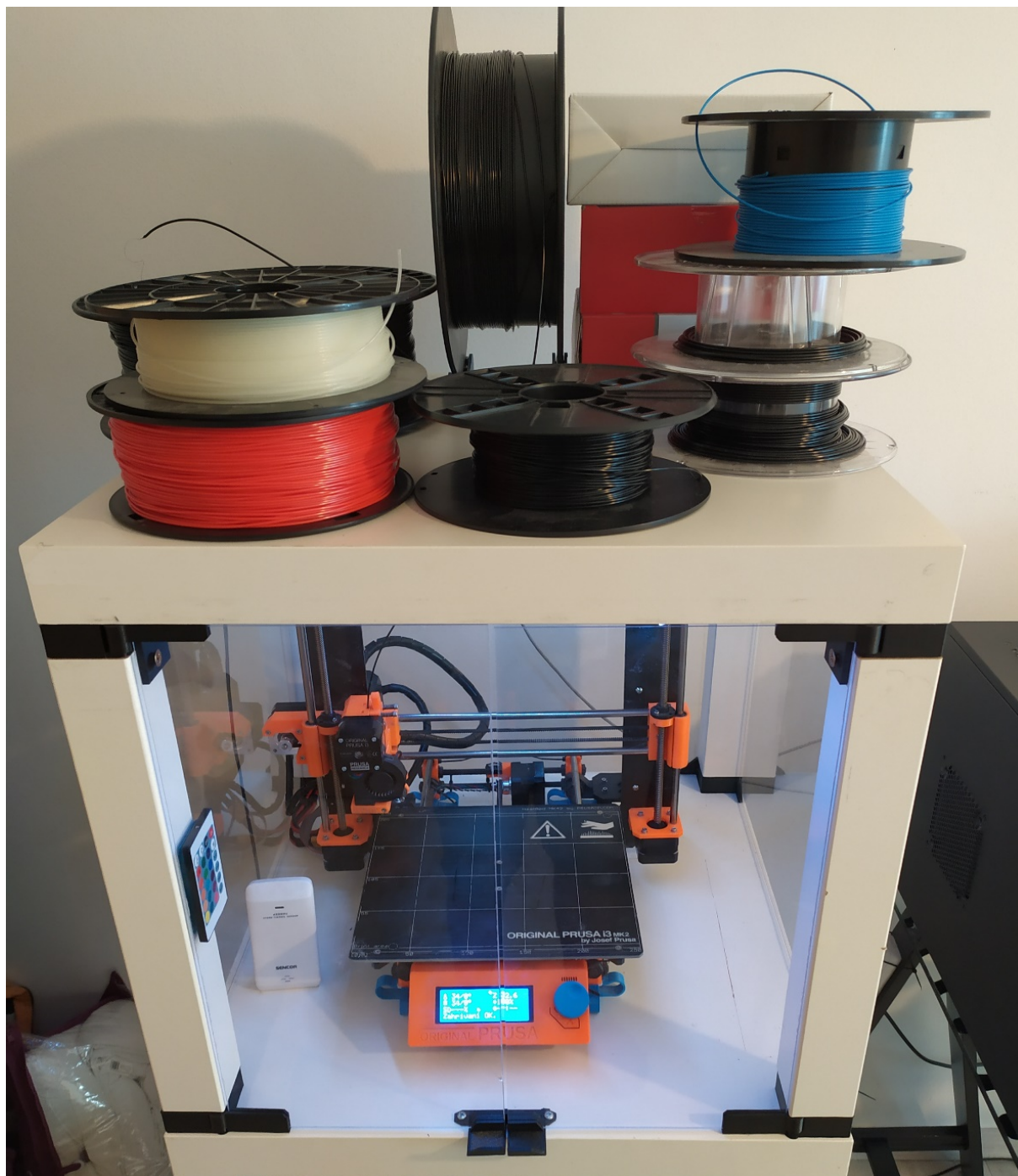
Hlavním účelem je zajištění stabilních tiskových podmínek. Ve skřínce je po celou dobu tisku udržovaná stabilní a vysoká teplota, zabraňující odlepení tisku od vyhřívané podložky, nerovnoměrnému smršťování a špatné adhezi mezi vrstvami. Skříňka neobsahuje samostatné vyhřívání, ale udržuje teplo generované samotnou 3D tiskárnou [42].

Další funkcí je potlačení zápachu při tisku materiálů, které uvolňují nepříjemné výpary (např. ABS). Skříňka tyto výpary udrží uvnitř a mohou být vyvětrány až po dokončení tisku. Další nespornou výhodou je redukce hluku a zabránění vniku prachu do tiskárny [42].

Skříňka ke své konstrukci využívá dva nebo více běžně dostupných stolků LACK od firmy IKEA, plexisklo a specificky navržené díly, které jsou vytištěny na samotné tiskárně [42].

Zdroj napájení tiskárny byl při stavbě umístěn mimo uzavřenou skříňku, aby nedocházelo k jeho nadměrnému zahřívání. Skříň obsahuje integrované LED osvětlení a snadný přístup k tiskárně poskytují dvířka zajištěná dvojicí neodymových magnetů.

Při tisku součástí z materiálu ABS se teplota uvnitř skříňky pohybovala okolo 40 °C [42].



Obr. 50 Skříň pro zakrytování 3D tiskárny

## 6 Realizace tisku a postprocessing

### 6.1 Realizace tisku

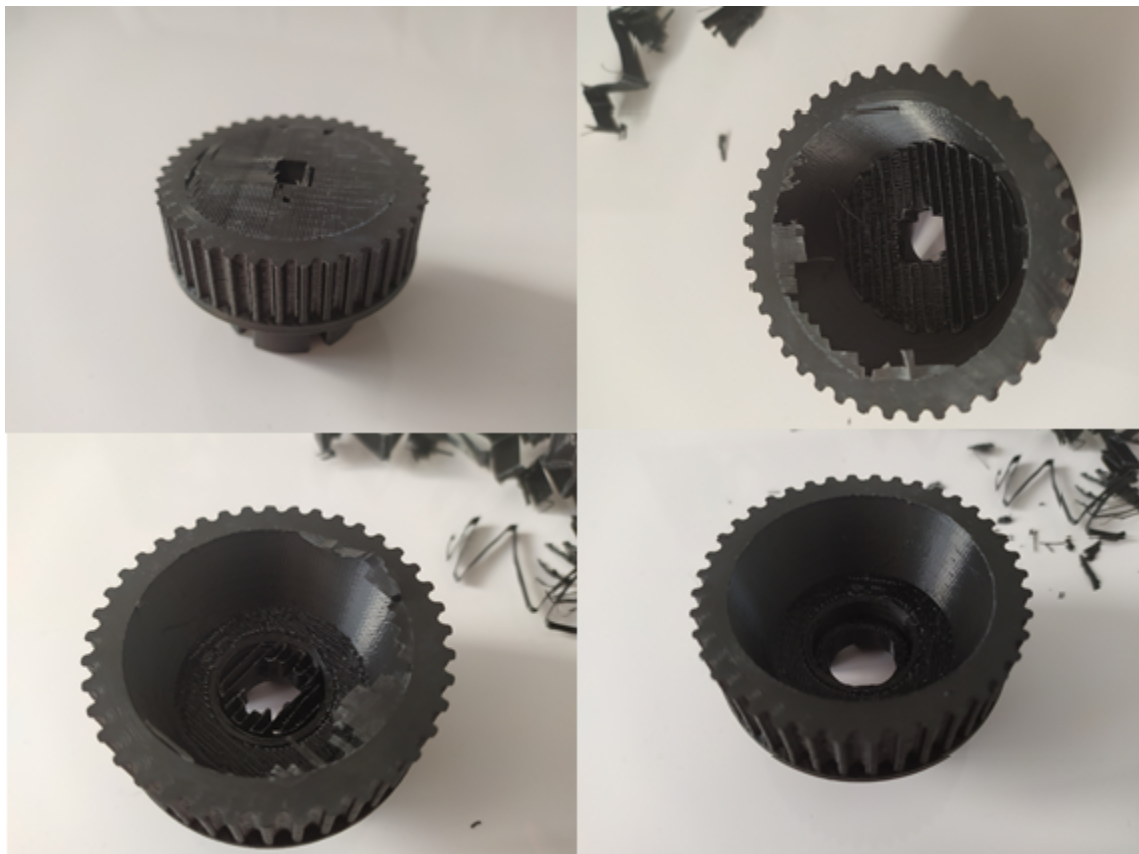
Obr. 51 zachycuje vytištěné součásti.



Obr. 51 Vytištěné součásti

## 6.2 Odstranění technologických podpor

Technologické podpory byly použity u součástí řemenice, krytky řemenice a krytu elektrických komponent. Podpory byly odstraněny použitím kleští.



Obr. 52 Odstranění technologických podpor u ozubené řemenice



Obr. 53 Odstranění technologických podpor u krytky řemenice

## 6.3 Dokončovací operace (postprocessing)

U krytu elektroniky bylo nutné jednotlivé vytištěné díly upravit a spojit do jednoho celku.

Prvním krokem bylo sešroubování jednotlivých částí a zároveň aplikace tmelu s cílem vyplnění mezery mezi díly a zabránění vniku prachu nebo vlhkosti. Přebytečný tmel byl zbroušen brusným papírem o zrnitosti 120 a v místě mezery byl zevnitř po celém obvodu vteřinovým lepidlem nalepen 2 mm plát. Kryt byl dále obroušen po celé ploše brusným papírem o zrnitosti 120. Pro hladký přechod mezi jednotlivými díly byl v těchto místech aplikován tmel ve spreji a ten byl následně přebroušen. Tento postup byl několikrát opakován k odstranění všech nerovností. Poté byl kryt opět po celé ploše obroušen papírem o zrnitosti 240, následně o zrnitosti 320 a před finálním nalakováním povrchu papírem o zrnitosti 800. Nakonec byla aplikována základová barva na plasty a na ni nalakován černý matný rychleschnoucí akrylový lak. Tím byly provedeny všechny dokončovací operace, jejich sled je na obr. 54.





Obr. 54 Dokončovací operace krytu elektrických komponent

## 6.4 Sestavení elektrického skateboardu

Prvním krokem bylo sestavení pohonného ústrojí. Na podvozek byly umístěny dvě objímky úchyty motorů a zafixovány šroubovým spojem. Poté byly přimontovány samotné úchyty a byly osazeny elektromotory. Dále byl přimontován kryt motorů a na elektromotory nasazeny ozubené řemenice. Nakonec byla osazena větší ozubená řemenice s kolečkem, řemen a kryt řemenice viz obr. 55.

K přichycení krytu elektrických komponent k desce bylo nutné do desky zavrtat závrtné matice velikosti M5. Na vrch desky byla aplikována protiskluzová vrstva, tzv. skate grip, viz obr. 56-58.

Kryt elektrických komponent byl nejprve pro zabránění vstupu vlhkosti a prachu osazen těsněním. Následně byl vlepen suchý zip, sloužící k uchycení elektronických komponent ke krytu. Dále byl osazen konektor nabíjení a zapínací konektor. Potom byl do krytu umístěn akumulátor, BMS a ESC. Přívodní napájecí kabely motorů byly vedeny pro zajištění vodotěsnosti přes kabelovou průchodku a zapojeny do ESC. Nakonec bylo pohonné ústrojí a kryt elektrických komponent připevněny k desce společně s předním podvozkem osazeným kolečky viz obr. 59.

Sestavený elektrický skateboard je zobrazen na obr. 60.



Obr. 55 Sestavení pohonného ústrojí



Obr. 56 Zašroubování závrtných matic do desky



Obr. 57 Aplikace skate gripu na desku



Obr. 58 Detailní pohled na závrtnou matici v desce



Obr. 59 Umístění komponent do krytu elektrických komponent a montáž pohonného ústrojí



Obr. 60 Sestavený elektrický skateboard

## 7 Ekonomické zhodnocení a porovnání

Při výrobě krytu elektrických komponent z materiálu PET-G bylo spotřebováno celkem 933 gramů filamentu. Při ceně 460 Kč/kg stál materiál na výrobu krytu 429 Kč. Na součásti pohonného ústrojí z materiálu ABS bylo spotřebováno celkem 458 gramů filamentu, při ceně 560 Kč/kg stál materiál na tyto součástky celkem 256 Kč. Celková cena filamentu činila **685 Kč** [43,44].

Firma Prusa Research udává průměrnou spotřebu tiskárny Prusa i3 MK2 při tisku ABS 110 W. Pro tisk materiálu PET-G spotřeba k dispozici není, ale lze vzhledem k obdobným tiskovým teplotám lze očekávat podobné hodnoty jako u ABS. Po sečtení tiskových časů všech součástí vyšlo 89,83 hodin. Po vynásobení této hodnoty průměrnou spotřebou se získala celková energie, která vyšla 9,88 kWh. Pro výpočet ceny byla použita průměrná cena elektřiny v roce 2019, jež činila 4,56 Kč/kWh. Celková cena za energii tedy vyšla **45 Kč** [45,46].

Náklady na materiál a jeho tisk činily celkem **730 Kč**.

Tabulka 1 Náklady na stavbu elektrického skateboardu

Položka	Počet kusů	cena v Kč za kus (vč. DPH)	Cena celkem (vč. DPH)
deska Jet Potato Deerhunter [32]	1	2890	2890
trucky Torqueboards 218 mm [33]	1	1796	1796
kolečka Rough Stuff 110 mm [34]	1	2694	2694
bateriový článek Samsung 30Q 18650 [35]	30	87	2610
10S BMS [36]	1	461	461
ESC FLIPSKY FSESC 4.12 50 A [37]	2	2347	4695
elektromotor FLIPSKY 6354 190KV [27]	2	1658	3316
řemenice HTD 5M 15 mm 15 zubů [47]	2	205	410
řemen HTD 5M 15 mm – 260 mm [48]	2	229	458
ostatní (vodiče, konektory, šrouby, těsnění atd.)	1	1000	1000
náklady na materiál vč. spotřeby el. energie	1	730	730
celkové náklady	-	-	21 060 Kč

Po započítání cen všech komponent a výrobních nákladů byly spočteny celkové náklady 21 060 Kč viz tabulka 1.

Pro lepší pochopení nákladů spojených s výrobou jsem se rozhodl porovnat elektrický skateboard vlastní výroby s hotovým výrobkem běžně dostupným na trhu. Pro toto porovnání

byl zvolen model G2T od firmy Backfire viz obr. 61, který je běžně dostupný v České republice v oficiální distribuci za cenu 16 990 Kč [49].

Tabulka 2 Porovnání elektrických skateboardů

parametry	elektrický skateboard vlastní výroby	Backfire G2T [50]
výkon	2000 W	700 W
rychlost	53 km/h	40 km/h
kapacita akumulátoru	324 Wh	216 Wh
průměr koleček	110 mm	83 a 96 mm
délka	91 cm	94 cm
hmotnost	10,6 kg	6,5 kg
pořizovací cena	21 060 Kč	16 990 Kč

Z tabulky 2 vyplývá, že elektrický skateboard vlastní výroby vykazuje znatelně lepší technické parametry ve srovnání s hotovým výrobkem dostupným na trhu. Vyšší výkon, rychlost, kapacita akumulátoru a průměr koleček je však na úkor vyšší hmotnosti a ceny.

Hlavní výhodou elektrického skateboardu vlastní výroby spočívá v možnosti přizpůsobení elektrického skateboardu osobním požadavkům, jako jsou například výkon, rychlost a dojezd.



Obr. 61 Elektrický skateboard Backfire G2T [49]



## 8 Závěr

Cílem této bakalářské práce byl návrh a realizace elektrického skateboardu s využitím technologie FDM.

V teoretické části byl definován pojem aditivní technologie a stručně shrnuty dostupné metody 3D tisku, s bližším zaměřením na materiály využívané technologií FDM. Dále byl definován pojem elektrický skateboard, byla popsána jeho funkce a komponenty nutné k jeho chodu.

Úkolem praktické části bylo navržení funkčního řešení elektrického skateboardu, proto byly vypočteny potřebné parametry pro návrh a byly vybrány vhodné a navzájem kompatibilní komponenty. Po definování požadovaných mechanických vlastností a funkcí elektrického skateboardu byly zvoleny vhodné tiskové materiály pro jednotlivé součásti. Následně byl proveden konstrukční návrh pro pohonné ústrojí a kryt elektrických komponent. Po exportu modelu do programu PrusaSlicer 2.0 byl po nadefinování tiskových parametrů vygenerován soubor gcode pro tiskárnu a všechny funkční díly byly vytištěny. Z hotových výtisků byly poté odstraněny technologické podpory a u vybraných dílů byl proveden postprocessing zahrnující operace broušení, lakování atd.

Po přípravě všech vytištěných dílů, elektronických a mechanických komponent byl elektrický skateboard sestaven. Sestavený výrobek je plně funkční a splnil očekávané předpoklady pro využití v běžném životě.

Na závěr bylo provedeno ekonomické zhodnocení a porovnání s hotovým výrobkem, který lze zakoupit v obchodě. Elektrický skateboard vlastní výroby vyšel na cenu 21 060 Kč a byl porovnán s elektrickým skateboardem Backfire G2T, který je možno oficiálně zakoupit v České republice za cenu 16 990 Kč. Vlastní výroba je očekávaně finančně nákladnější, avšak takto vyrobený skateboard má daleko lepší technické parametry než jeho sériově vyráběný protějšek. Produkt, který by se v cenové kategorii kolem 20 000 Kč vyrovnal elektrickému skateboardu vyrobenému v rámci této práce, v současné době na běžném trhu zakoupit nelze.

## 9 Seznam literatury

[1] SEDLÁK, Josef. *Aditivní technologie - metody Rapid Prototyping* [online]. [cit. 2019-07-10].

Dostupné z:

[http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto\\_bak/cv\\_STV\\_04\\_Aditivni\\_tecnologie\\_metydy\\_Rapid\\_Prototyping.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_tecnologie_metydy_Rapid_Prototyping.pdf)

[2] CHUA, C, K. F. LEONG a C. S. LIM. 2005. *Rapid prototyping: principles and applications*.

2nd ed. Hackensack: World Scientific, 420 s. ISBN 98-123-8120-1

[3] HOMOLA, Jan. *Stereolitografie. 3D-tisk* [online]. 26. 2. 2013 [cit. 2019-07-10]. Dostupné z:

<https://www.3d-tisk.cz/stereolitografie/>

[4] Využití rapid prototyping technologií. *CAD.cz* [online]. [cit. 2019-07-10]. Dostupné z:

<https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/2715-vyuziti-rapid-prototyping-technologiei.html>

[5] JASTER, Larissa. *3D printing processes. Print space 3D* [online]. [cit. 2019-07-10].

Dostupné z: <https://www.printspace3d.com/3d-printing-processes/>

[6] HOMOLA, Jan. *Selective Laser Sintering. 3D-tisk* [online]. 30. 4. 2013 [cit. 2019-07-10].

Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/selective-laser-sintering/>

[7] STŘÍTESKÝ, Ondřej. *Základy 3D tisku s Josefem Průšou* [online]. Praha: Prusa Research,

2019 [cit. 2019-07-10].

[8] Heated Bed. *RepRap* [online]. [cit. 2019-07-10]. Dostupné z:

[https://reprap.org/wiki/Heated\\_Bed](https://reprap.org/wiki/Heated_Bed)

[9] Filament: Jaký vybrat a kde ho koupit. *Futlab* [online]. 2. 1. 2018 [cit. 2019-07-10].

Dostupné z: <https://futlab.cc/filament/>

[13] ROZDÍL MEZI ABS,PLA, PETG. *Materiál pro 3D* [online]. 20. 7. 2017 [cit. 2019-07-10].

Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/blog/rozdily-abs-pla-petg/>

[11] ABS. *RepRap* [online]. [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://reprap.org/wiki/ABS>

[12] HOMOLA, Jan. *ABS. 3D-tisk* [online]. 15. 2. 2019 [cit. 2019-07-10]. Dostupné z:

<https://www.3d-tisk.cz/wiki/abs/>

- [13] Průvodce materiály. *Prusa Research* [online]. [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/materialy/>
- [14] PLA. *RepRap* [online]. [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://reprap.org/wiki/PLA>
- [15] HOMOLA, Jan. PLA. *3D-tisk* [online]. 15. 2. 2019 [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://www.3d-tisk.cz/wiki/pla/>
- [16] Materiálový slovník: PET-G. *Materiál pro 3D* [online]. [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pet-g/>
- [17] Materiálový slovník: HIPS. *Materiál pro 3D* [online]. [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/hips/>
- [18] Materiálový slovník: PP. *Materiál pro 3D* [online]. [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pp/>
- [19] Materiálový slovník: NYLON. *Materiál pro 3D* [online]. [cit. 2019-07-10]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/nylon/>
- [20] *DIY Eboard* [online]. 2019 [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://diy-eboard.com/>
- [21] *Battery University* [online]. 2019 [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://batteryuniversity.com>
- [22] Samsung INR18650-30Q 3000mAh. *Lygte info* [online]. [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://lygte-info.dk/review/batteries2012/Samsung%20INR18650-30Q%203000mAh%20%28Pink%29%20UK.html>
- [23] BARSUKOV, Yevgen a Jinrong QIAN. *Battery Power Management for Portable Devices*. Artech House, 2013, 268 s.
- [24] ŠIMON, Josef. BLDC aneb DC motor s nulovými náklady na údržbu. *Elektro* [online]. **2011**(10) [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/bldc-aneb-dc-motor-s-nulovymi-naklady-na-udrzbu--10016>
- [25] ICE, Charlie. Bezsenzorové řízení BLDC motorů pro široké využití. *DPS* [online]. **2013**(4) [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/soucastky/id:2700/bezsenzorove-řízení-blcd-motoru-pro-siroke-vyuziti>

- [26] BRUSHLESS MOTOR KV CONSTANT EXPLAINED. *Learning RC* [online]. 29. 7. 2015 [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <http://learningrc.com/motor-kv/>
- [27] BLDC Belt Motor 6354 190KV 2450W for Electric Skateboard. *FLIPSKY* [online]. [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://flipsky.net/products/6354-190kv-2450w-2>
- [28] VESC – Open Source ESC. In: *Vedder* [online]. 1. 7. 2015 [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <http://vedder.se/2015/01/vesc-open-source-esc/>
- [29] *VESC Project* [online]. 2017 [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://vesc-project.com/>
- [30] Ozubené řemeny. *Pikron* [online]. [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://www.pikron.cz/admin/images/1004.pdf>
- [31] Mechanické převody. *ELEKTRONICKÁ UČEBNICE* [online]. [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1900>
- [32] Longboard Deska Jet Potato 36" Deer Hunter. *Longshop longboards* [online]. [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://longshop.cz/shop/longboard-deska-jet-potato-36-deer-hunter/>
- [33] TORQUEBOARDS 218MM TRUCKS. *DIYELECTRICSKATEBOARD* [online]. [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://diyelectricskateboard.com/collections/longboard-trucks/products/torqueboards-218mm-trucks>
- [34] Black Rough Stuff Wheels. *Slick Revolution* [online]. [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://slickrevolution.co.uk/product/rough-stuff-wheels-black/>
- [35] Samsung INR18650-30Q 3000mAh - 15A. *NKON* [online]. [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://eu.nkon.nl/samsung-inr-18650-30q-3000mah.html>
- [36] 10S BMS. *Electric Skateboard Solutions* [online]. [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://electricboardsolutions.com/products/10s-bms>
- [37] FSESC 4.12 50A Based on VESC® 4.12. *FLIPSKY* [online]. [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://flipsky.net/collections/electronic-products/products/torque-esc-vesc-%C2%AE-blDC-electronic-speed-controller>
- [38] PRŮŠA, Josef. Original Prusa i3 MK2 release!. *Prusa Printers* [online]. 14. 5. 2016 [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://blog.prusaprinters.org/original-prusa-i3-mk2-release/>

- [39] CHAKRAVORTY, Diba. STL File Format (3D Printing) – Simply Explained. *ALL3DP* [online]. 14. 2. 2019 [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://all3dp.com/what-is-stl-file-format-extension-3d-printing/>
- [40] PRŮŠA, Josef. Vydáváme PrusaSlicer 2.0 s hromadou novinek!. *Josef Průša* [online]. 20. 5. 2019 [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://josefprusa.cz/vydavame-prusaslicer-2-0-s-hromadou-novinek/>
- [41] CÍSAŘ, Dominik. Slicuj jako bůh! Průvodce začátečníka po Slic3r Prusa Edition. *Josef Průša* [online]. 7. 3. 2018 [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://josefprusa.cz/slicuj-jako-buh-pruvodce-zacatecnika-slic3r-prusa-edition/>
- [42] ZUZA, Mikuláš. Jak si snadno a levně vyrobit box na 3D tiskárnu. *Josef Průša* [online]. 13. 4. 2018 [cit. 2019-07-11]. Dostupné z: <https://josefprusa.cz/jak-si-snadno-a-levne-vyrobic-box-na-3d-tiskarnu/>
- [42] Backfire G2T. *Wattboards* [online]. [cit. 2019-07-16]. Dostupné z: [http://www.wattboards.com/shop/electric-longboard\\_g2t/](http://www.wattboards.com/shop/electric-longboard_g2t/)
- [43] PET-G FILAMENT 1,75 MM ČERNÝ DEVIL DESIGN 1 KG. *Materiál pro 3D* [online]. [cit. 2019-07-16]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/1-75-mm-2/pet-g-1-75mm-cerny-dd/>
- [44] ABS+ FILAMENT 1,75 MM ČERNÝ DEVIL DESIGN 1 KG. *Materiál pro 3D* [online]. [cit. 2019-07-16]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/abs-1-75/abs--1-75-cerny-dd/>
- [45] STAVEBNICE 3D TISKÁRNÝ ORIGINAL PRUSA I3 MK2S. *Prusa3D* [online]. [cit. 2019-07-16]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/3d-tiskarna-stavebnice-prusa-i3/>
- [46] Průměrná cena elektřiny za kWh v roce 2019 zdražila na 4,6 korun. Kdo ji prodává levněji?. *Elektrina* [online]. 18. 3. 2019 [cit. 2019-07-16]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/cena-elektriny-za-kwh-2019-cez-eon-pre-a-dalsi-dodavatele>
- [47] ALUMINUM MOTOR PULLEY HTD5M 15MM WIDE 15 TEETH. *Electric Skateboard Solutions* [online]. [cit. 2019-07-16]. Dostupné z: <https://electricboardsolutions.com/products/motor-pulley-htd5m-15mm-wide-15-teeth>
- [48] HTD5M BELT 15MM WIDE LENGTH: 250->420 MM. *Electric Skateboard Solutions* [online]. [cit. 2019-07-16]. Dostupné z: <https://electricboardsolutions.com/products/copy-of-copy-of-htd5m-belt-15mm-wide-length-250-340-mm>
- [49] Backfire G2T. *Wattboards* [online]. [cit. 2019-07-16]. Dostupné z: [http://www.wattboards.com/shop/electric-longboard\\_g2t/](http://www.wattboards.com/shop/electric-longboard_g2t/)

[50] BACKFIRE 2019 G2T ELECTRIC LONGBOARD. *Backfire Skateboards* [online]. [cit. 2019-07-16]. Dostupné z:  
[https://backfireboardsusa.com/products/backfire\\_g2t\\_electric\\_longboard\\_2019](https://backfireboardsusa.com/products/backfire_g2t_electric_longboard_2019)

## 10 Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma metody stereolitografie [5] .....	10
Obr. 2 Schéma metody SLS [5].....	11
Obr. 3 Schéma metody FDM [5] .....	12
Obr. 4 BLDC elektromotor [27] .....	16
Obr. 5 Vedder Electronic Speed Controller.....	17
Obr. 6 Pohonné ústrojí elektrického skateboardu [20] .....	18
Obr. 7 Skateboardová deska JET Potato Deer Hunter [32] .....	20
Obr. 8 Trucky Torqueboards 218 mm [33].....	21
Obr. 9 Kolečka Rough Stuff [34].....	21
Obr. 10 Bateriový článek Samsung 30Q [35] .....	22
Obr. 11 Akumulátor 10S3P .....	22
Obr. 12 BMS [36] .....	23
Obr. 13 FSESC 4.12 [37] .....	23
Obr. 14 Schéma BLDC motoru FLIPSKY 6354 190KV [27].....	24
Obr. 15 BLDC motor FLIPSKY 6354 190KV [27]. .....	24
Obr. 16 Pozice součástí v sestavě pohonného ústrojí.....	26
Obr. 17 Sestava elektrického skateboardu pohled zespodu.....	26
Obr. 18 Sestava elektrického skateboardu pohled ze shora.....	26
Obr. 19 Schéma rozložení komponent.....	27
Obr. 20 Pohled na uchycení objímky k podvozku .....	27
Obr. 21 Objímka úchytu motoru .....	27
Obr. 22 Úchyt motoru v sestavě .....	28
Obr. 23 Úchyt motoru.....	28
Obr. 24 Kryt motorů.....	29
Obr. 26 Kryt motorů v sestavě .....	29
Obr. 25 Řez krytu motorů a sestavou .....	29
Obr. 27 Kolečko s jádrem typu ABEC11 .....	30
Obr. 28 Ozubená řemenice .....	30
Obr. 29 Schéma profilu HTD .....	30
Obr. 30 Řemenice v sestavě.....	30
Obr. 31 Řez řemenicí a sestavou.....	30
Obr. 32 Kryt řemenice v sestavě .....	31
Obr. 33 Kryt řemenice.....	31
Obr. 34 Kryt elektrických komponent ze shora.....	32
Obr. 35 Kryt elektrických komponent zespodu.....	32
Obr. 36 Porovnání rovnoměrného rozprostření tepla na podložce oproti předchozí generaci podložky.....	33
Obr. 37 3D tiskárna Prusa i3 MK2 .....	33

Obr. 38 Pohled na kalibrační indukční sondu .....	33
Obr. 39 Uživatelské prostředí programu PrusaSlicer 2.0 .....	34
Obr. 40 Náhled objímky úchytu motoru v programu PrusaSlicer .....	37
Obr. 41 Náhled úchytu motoru v programu PrusaSlicer .....	38
Obr. 42 Náhled krytu motorů v programu PrusaSlicer .....	39
Obr. 43 Nevhodně zvolená orientace krytu motorů v programu PrusaSlicer .....	39
Obr. 44 Náhled ozubené řemenice v programu PrusaSlicer .....	40
Obr. 45 Náhled vnitřní vrstvy ozubené řemenice v programu PrusaSlicer .....	40
Obr. 46 Náhled krytu řemenice v programu PrusaSlicer .....	41
Obr. 47 Náhled zadního dílu krytu elektrických komponent v programu PrusaSlicer .....	42
Obr. 48 Náhled prostředního dílu krytu elektrických komponent v programu PrusaSlicer ....	42
Obr. 49 Náhled předního dílu krytu elektrických komponent v programu PrusaSlicer .....	43
Obr. 50 Skříň pro zakrytování 3D tiskárny .....	45
Obr. 51 Vytištěné součásti .....	46
Obr. 52 Odstranění technologických podpor u ozubené řemenice .....	47
Obr. 53 Odstranění technologických podpor u krytky řemenice .....	47
Obr. 54 Dokončovací operace krytu elektrických komponent.....	49
Obr. 55 Sestavení pohonného ústrojí .....	51
Obr. 56 Zašroubování závrtných matic do desky .....	52
Obr. 57 Aplikace skate gripu na desku .....	52
Obr. 58 Detailní pohled na závrtnou matici v desce .....	52
Obr. 59 Umístění komponent do krytu elektrických komponent a montáž pohonného ústrojí .....	53
Obr. 60 Sestavený elektrický skateboard.....	54
Obr. 61 Elektrický skateboard Backfire G2T [49] .....	56