



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

## STOLNÍ MÍCHAČKA MODELÁŘSKÝCH BAREV

TABLETOP ACRYLIC PAINT SHAKER

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Vostradovský

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Milan Klapka, Ph.D.

BRNO 2024



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav konstruování  
Student: **Tomáš Vostradovský**  
Studijní program: Základy strojního inženýrství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Milan Klapka, Ph.D.**  
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Stolní míchačka modelářských barev

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Nevýhodou kvalitních akrylových modelářských barev je fakt, že po určité době bez použití dochází k oddělení pigmentu od pojiva. Proto je třeba před prací barvy dobře promíchat, což je v malém objemu (cca 15 ml) obtížné. Nedostatečně rozmíchaná barva nevytváří uniformní povrch a není použitelné pro metodu airbrush. Konstrukce stolní míchačky umožní dosáhnout vysoké kvality rozmíchání barvy oproti ručnímu protřepání, které modeláři běžně užívají.

Typ práce: vývojová – konstrukční

### Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je konstrukce stolní míchačky modelářských akrylových barev s těmito parametry: upevnění nejméně jedné lahvičky s barvou, kompatibilní s barvami Vallejo a Citadel, napájení max 12 V. Vzhledem k rozměrům lze uvažovat použití 3D tisku.

Díličí cíle bakalářské práce:

- navrhnout koncepční řešení míchačky a způsob rozmíchání barvy,
- zkonstruovat prototyp míchačky,
- ověřit funkci míchačky.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<https://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukoncenii/>

### Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHKE, Charles R a BUDYNAS, Richard G. Konstruování strojních součástí. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.

CHILDS, Peter R. N. Mechanical design engineering handbook. Oxford: Butterworth-Heinemann, c2014. ISBN 978-0-08-097759-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí stolní míchačky modelářských barev pro malé nádoby o objemu v řádech ml. Je zde obsažen přehled řešení dostupných na trhu, tvorba konstrukčních návrhu pro realizaci, výběr vhodného řešení a zpracování výrobní dokumentace. Následuje výroba prototypu metodou 3D tisku a ověření jeho funkce.

## KLÍČOVÁ SLOVA

stolní míchačka, modelářské barvy, 3D tisk

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with construction of a model paint desktop shaker for small containers. Included is an overview of solutions available on the market, creation of design proposals, selection of a suitable solution and its finalization into production documentation. Following is production of a prototype and verification of its functionality.

## KEYWORDS

tabletop shaker, model paint, 3D printing



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VOSTRADOVSKÝ, Tomáš. *Stolní míchačka modelářských barev* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-04-16]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157663>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Milan Klapka.





## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Milanu Klapkovi, Ph.D. za odborné rady, vstřícnost a trpělivost při vedení práce.

## PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením doc. Ing. Milana Klapky, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....  
Podpis autora



# OBSAH

<b>TITULNÍ STRANA</b>	<b>1</b>
<b>ZADÁNÍ ZÁVĚREČNÉ PRÁCE</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRAKT</b>	<b>5</b>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>5</b>
<b>KEYWORDS</b>	<b>5</b>
<b>BIBLIOGRAFICKÁ CITACE</b>	<b>7</b>
<b>PODĚKOVÁNÍ</b>	<b>9</b>
<b>PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE</b>	<b>9</b>
<b>OBSAH</b>	<b>11</b>
<b>1 ÚVOD</b>	<b>13</b>
<b>2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>14</b>
2.1 Nádoby na barvy	14
2.1.1 Vallejo	14
2.1.2 Citadel	14
2.1.3 Revell	15
2.2 Řešení dostupná na trhu	15
2.2.1 Rotační míchačky	15
2.2.2 Metlové míchačky	16
2.2.3 Vortexové míchačky	16
2.2.4 Vibrační míchačky	17
2.2.5 Magnetické míchačky	17
2.3 Závěr rešerše	17
<b>3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE</b>	<b>18</b>
3.1 Analýza problému	18
3.2 Cíl práce	18
<b>4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>19</b>

4.1	Volba způsobu rozmíchání	19
<b>5</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ</b>	<b>21</b>
5.1	Volba napájení	21
5.2	Parametry klikového mechanismu	21
5.3	Konstrukce klikového mechanismu	23
5.3.1	Klika	23
5.3.2	Ojnice	24
5.3.3	Vedení a pojezd	24
5.4	Tělo míchačky	25
5.4.1	1. prototyp	25
5.4.2	2. prototyp	26
5.5	Uchycení nádoby s barvou	26
5.6	Volba pohonu	27
5.7	Zamezení pohybu	31
5.7.1	Silové působení	31
5.7.2	Konstrukce svěrky	32
5.8	Volba materiálů	33
<b>6</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>35</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>37</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN</b>	<b>39</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ</b>	<b>40</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>41</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>42</b>

# 1 ÚVOD

U modelářských barev dochází po určitém čase bez použití k oddělení pigmentu od pojiva. Jejich dostatečné rozmíchání je zásadní pro dosažení optimálního výsledku. Nicméně, ruční míchání těchto barev bývá při potřebě kvalitního rozmíchání časově a fyzicky náročné.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na konstrukci míchačky modelářských barev, která má za cíl zefektivnit proces míchání barev. Práce se bude zabývat návrhem, konstrukcí a testováním míchačky s elektrickým pohonem.

První část práce se zaměří na přehled řešení dostupných na trhu a jejich výhody a nevýhody pro použití na modelářských barvách. Dále budou představeny konkrétní návrhy možných řešení, z nichž nejvýhodnější bude zpracováno do prototypu finálního produktu. Poté bude prototyp otestován.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 2.1 Nádoby na barvy

#### 2.1.1 Vallejo

Nádoby Vallejo o objemu 18 ml jsou tvořeny 47 mm dlouhou válcovitou částí o průměru 25 mm a odsazenou částí s kapátkem a víčkem.



Obr. 2-1 Nádoba s barvou Vallejo [1]

#### 2.1.2 Citadel

Nádoby Citadel jsou prodávány v různých objemech od 12 do 24 ml. Všechny nádoby mají stejný průměr 33 mm a liší se pouze ve výšce, která je v rozsahu od 45 mm do 60 mm.



Obr. 2-2 Nádoby s barvou Citadel [2] upraveno

### 2.1.3 Revell

Nádoby Revell o objemu 14 ml jsou válcovité o průměru 30 mm a výškou 12 mm. Tyto nádoby jsou vyrobeny způsobem podobným výrobě nápojových plechovek a v místě spojení nádoby s víkem je nádoba přehnuta. V této 2 mm vysoké části je průměr nádoby 32 mm.



Obr. 2-3 Nádoba s barvou Revell [3]

## 2.2 Řešení dostupná na trhu

### 2.2.1 Rotační míchačky

Pigment je s rozpouštědlem míchán prouděním vytvořeným rotací nádoby kolem svislé osy. Rotační míchačky bývají tvořeny tělem obsahujícím elektromotor, ovládací prvky a případně akumulátor. Na hřídel elektromotoru je nalisována obvykle čtvercová násada, na kterou se nasazují vyměnitelné objímky, o těchto objímek se vkládají nádoby s barvou. Nádoba s barvou musí být v objímce uložena pevně tak, aby neprokluzovala. Pro různé rozměry nádob je třeba mít různé objímky.



Obr. 2-4 (a) Rotační míchačka Green Stuff World [4]; (b) Znárodnění funkce

## 2.2.2 Metlové míchačky

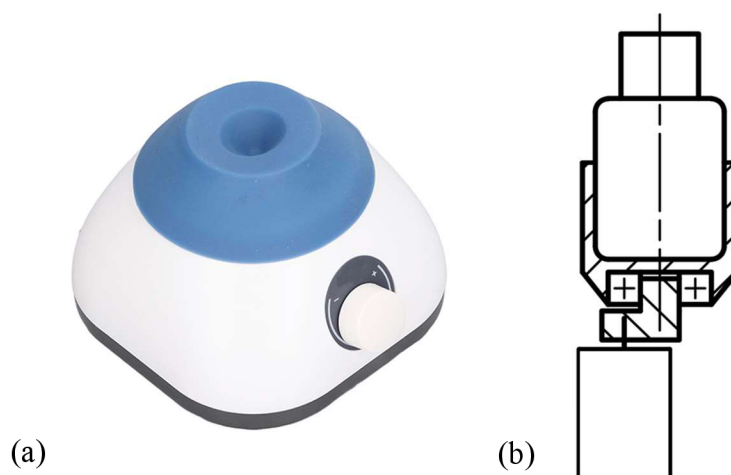
Tyto míchačky jsou konstrukčně podobné tyčovým mixérům. Barva je míchána rotující metlou tvořenou tenkým drátem připomínající toroidní cívku. Tato metla je poháněna elektromotorem, ke kterému je připevněna dlouhou hřídelí. Protože metlu je třeba zkonstruovat tak, aby bylo možné ji prostrčit hrdlem nádoby s barvou, které může být v některých případech velmi úzké, nebude toto řešení dále uvažováno.



Obr. 2-5 (a) Metlová míchačka Badger [5]; (b) Znárodnění funkce

## 2.2.3 Vortexové míchačky

Pigment je s rozpouštědlem míchán vírem, vytvořeným nástavcem pohybujícím se po kruhové dráze, ke kterému je přiložena nádoba s barvou. Otáčivý pohyb nástavce vytvořen nákrůžkem s excentrickým čepem poháněným elektromotorem. Na čep nákrůžku je otočně připevněn nástavec. Nádoba může být v nástavci přidržována výškově nastavitelnou objímkou nebo jsou nástavce vyráběny pro specifické rozměry nádoby tak, aby objímky nebylo třeba nebo jsou nádoby k nástavci přidržovány rukou. Právě při přidržování nádoby rukou může při dlouhém míchání může způsobit zúžení cév a poškození nervů [6] [7].



Obr. 2-6 (a) Vortexová míchačka [8]; (b) Znárodnění funkce



## 2.2.4 Vibrační míchačky

U vibračních míchaček je k míchání barvy použito cyklického lineárního pohybu. Tento pohyb bývá nejčastěji vytvořen pomocí klikového mechanismu nebo excentrického závaží na elektromotoru. Takto vytvořený vibrační pohyb je přenášen do mechanismu k upevnění nádoby s barvou.

## 2.2.5 Magnetické míchačky

Tyto míchačky jsou tvořeny permanentně magnetickou tyčinkou, nejčastěji kruhového průřezu, vloženou do nádoby s barvou, jejíž rotací je míchána barva. Rotační pohyb tyčinky je vytvořen rotujícím magnetickým polem, generovaným soustavou elektromagnetů, případně rotujícím permanentním magnetem. Dno nádoby s barvou musí být dostatečně prostorné, aby byla umožněna rotace magnetické tyčinky. To může být u malých nádob problematické, a proto nebudou magnetické míchačky dále uvažovány.

## 2.3 Závěr rešerše

Na základě provedené rešerše a srovnání dostupných variant míchaček lze konstatovat několik klíčových závěrů. Rotační míchačky, ačkoli mohou být použity pro různé tvary nádob, nejsou ideální pro viskóznější barvy, a jejich efektivita může být omezena. Metlové a magnetické míchačky mohou být problematické kvůli konstrukčním omezením. Vortexové a vibrační míchačky se jeví jako efektivní řešení s různými přístupy k míchání, avšak každá má své výhody a nevýhody.

Vortexové míchačky poskytují dobré promíchání pomocí víru, ale vyžadují pečlivou manipulaci kvůli potenciálnímu nebezpečí zranění. Vibrační míchačky jsou snadno ovladatelné, ale mohou být oproti vortexovým méně efektivní při míchání méně viskózních barev.

## 3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

### 3.1 Analýza problému

Použitím míchačky barev je možné nahradit zdlouhavou a fyzicky náročnou prací, spočívající v rozmíchání pigmentu v pojivu. Při konstrukci je třeba uvažovat vlastnosti barev, pro které je míchačka konstruována. Součásti míchačky budou vyrobeny metodou 3D tisku.

Přestože většina součástí míchačky nebude odolávat velkým namáháním, je stále důležité zvolit materiály a tuhost součástí tak, aby byla zajištěna jejich stabilita a zároveň minimalizována spotřeba materiálu. Při výběru materiálu je nutné vzít v úvahu charakter namáhání součástí, rychlost a náročnost tisku. Správná volba materiálu je klíčová pro dosažení požadovaných vlastností a trvanlivosti. Dále je nutné zohlednit velikost diskového prostoru použité 3D tiskárny a míchačku navrhnout tak, aby všechny součásti bylo možno vytisknout během jedné tiskové úlohy.

K pohonu míchačky musí být zvolen motor dostatečně silný, aby zvládl překonat pasivní odpory. Je také důležité vzít v úvahu optimální rychlost míchání pro dosažení správné konzistence barvy. Dále je nutné zvážit, zda bude míchačka napájena z baterie nebo ze sítě, v závislosti na jejím zamýšleném prostředí a použití.

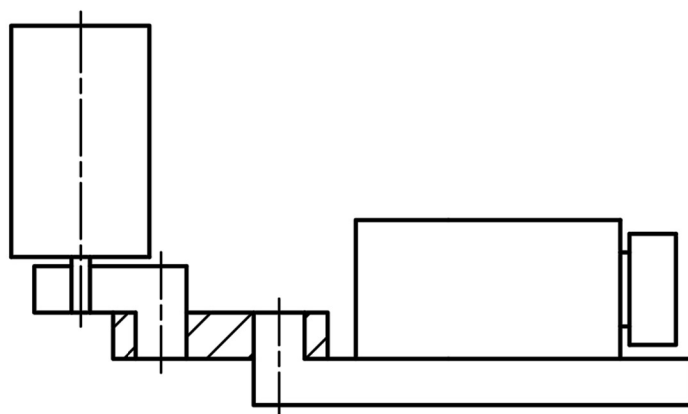
### 3.2 Cíl práce

Hlavním cílem práce je konstrukce stolní míchačky modelářských barev splňující následující parametry: Upevnění nejméně jedné lahvičky s barvou, kompatibilita s barvami Vallejo a Citadel. Dílčími cíli práce jsou: Návrh koncepčního řešení míchačky a způsobu rozmíchání barvy, konstrukce prototypu míchačky a ověření jeho funkce.

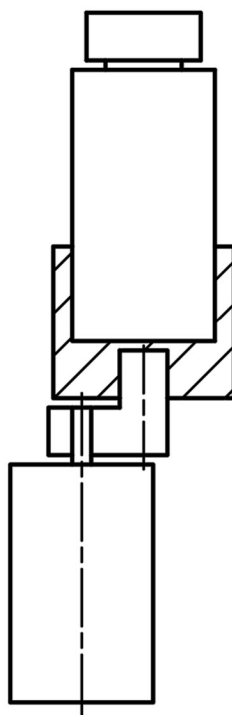
## 4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

### 4.1 Volba způsobu rozmíchání

Na základě provedené rešerše byly předběžně zvoleny dvě koncepce. První možné koncepční řešení je vibrační míchačka, kde nádobou je pohybováno klikovým mechanismem poháněným elektromotorem. Druhé možné řešení je vortexová míchačka poháněná elektromotorem.



Obr. 4-1 Varianta 1



Obr. 4-2 Varianta 2

Pro zvolení vhodné koncepce bude provedena vícekritériální analýza. Hodnoceny budou: Náročnost konstrukce, náročnost výroby, efektivita rozmíchání a adaptovatelnost pro různé rozměry nádob s barvou. Kritériím bude na základě jejich důležitosti přiřazena váha a jednotlivé varianty budou na základě kritérií hodnoceny v rozsahu od jedné do dvou, kdy vyšší hodnocení znamená lepší splnění kritéria.

Tab. 4-1 Vícekritériální analýza

Kritérium	Váha kritéria	Varianta 1	Varianta 2
Náročnost konstrukce	0,15	2	1
Náročnost výroby	0,25	1	2
Efektivita	0,3	2	2
Univerzálnost	0,3	2	1
Výsledek		1,75	1,45

Pro kritérium náročnosti konstrukce byla varianta 1 hodnocena lépe, kvůli nižším otáčkám motoru pro pohon a tedy nižším dynamickým silám v mechanismu. U varianty 2 je také nutné zvážit, zda pro spojení excentru s objímkou nádoby nebude třeba použít ložisko, které by bylo třeba zvolit pro optimální životnost. Pro kritérium náročnosti výroby je hodnocena lépe varianta 2, kvůli nižšímu očekávanému počtu součástí a snadnější montáži. Efektivita obou variant je hodnocena stejně. U varianty 1 je možné očekávat lepší efektivitu pro viskóznější barvy a u varianty 2 pro méně viskózní barvy. Pro kritérium univerzálnosti je lépe hodnocena varianta 2, pro jednodušší očekávanou adaptovatelnost různým tvarům a rozměrům nádob.

Na základě provedené vícekritériální analýzy je nejvýhodnější variantou varianta 1. Ta bude v dalších krocích zpracována podrobněji.

## 5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

### 5.1 Volba napájení

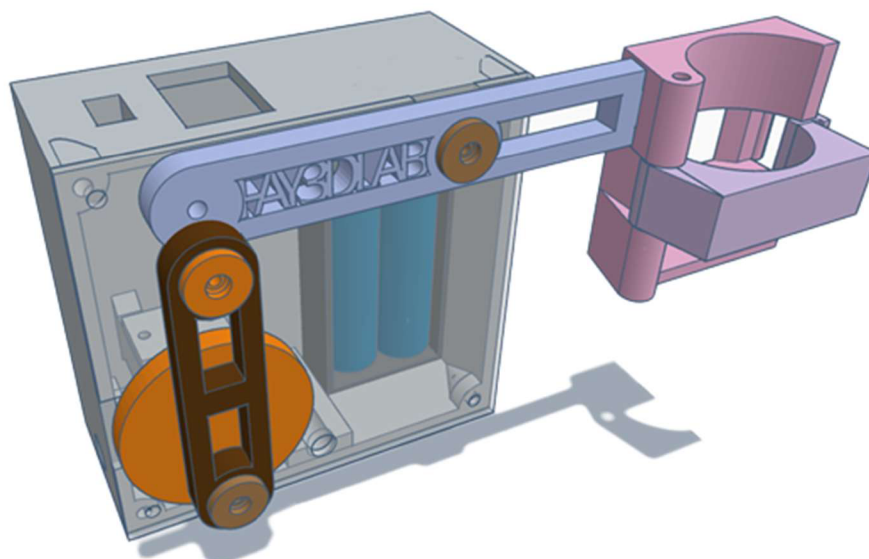
Vzhledem k účelu míchačky připadá v úvahu použití síťového zdroje, elektrického akumulátoru, případně kombinace obou způsobů napájení. Použití akumulátoru by ale znamenalo větší zástavbové rozměry a vyšší výrobní náklady. Dále bude proto uvažováno pouze s použitím síťových zdrojů, konkrétně 5 V USB zdrojů, kvůli jejich široké dostupnosti a relativně nízkým pořizovacím nákladům. Na míchačce bude umístěn USB-C konektor k připojení ke zdroji kabelem.

### 5.2 Parametry klikového mechanismu

Aby docházelo ke kvalitnímu promíchání barev je nutné správně zvolit parametry klikového mechanismu, úhlovou rychlost kliky a její poloměr otáčení. Míchačky využívajícího klikového mechanismu jsou vhodné k míchání barev husté i řídké konzistence, a proto jsou vhodné pro modelářské barvy. Řešení dostupná na trhu využívající klikového mechanismu bývají určené k míchání nádob o větším objemu, například barev na stěnu nebo barev ve spreji.



Obr. 5-1 Míchačka na barvy ve spreji [9]



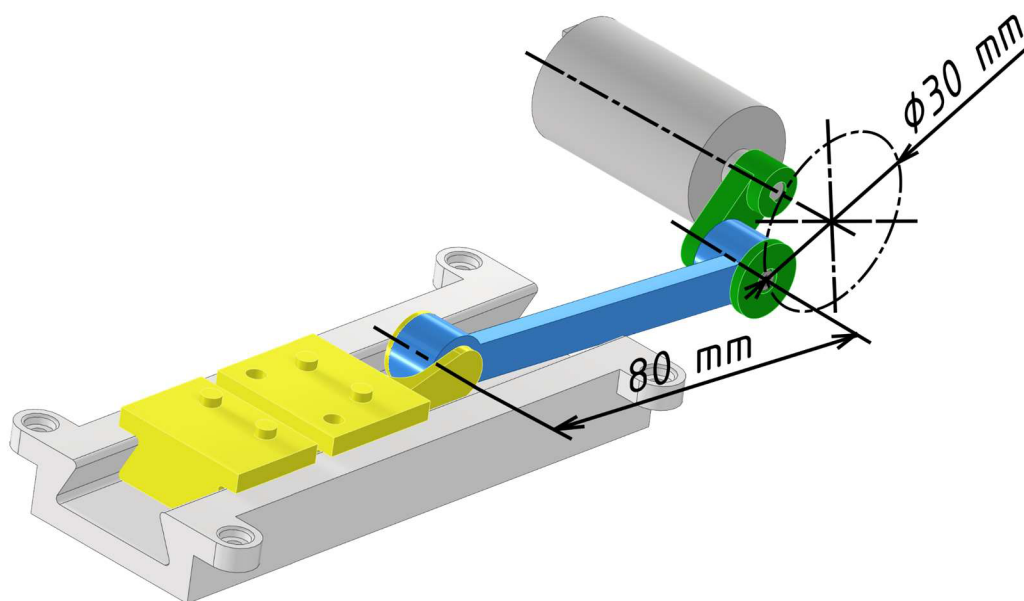
Obr. 5-2 Míchačka na modelářské barvy [10]

Míchaček na modelářské barvy využívajících klikového mechanismu není dostupných dostatečné množství, aby optimální parametry klikového mechanismu mohly být určeny na jejich základě. Parametry tedy budou určeny experimentálně ze záznamu ručního míchání několika barev, kdy ze záznamů bude odečtena frekvence a délka dráhy míchání.

Tab. 5-1 Určení optimálních parametrů klikového mechanismu

Nádoba s barvou	Frekvence [min <sup>-1</sup> ]	Dráha [mm]
Vallejo (plná)	529	32
Vallejo (částečně plná)	467	35
Revell (plná)	492	28
Revell (částečně plná)	428	32
Průměrná hodnota	479	31,75

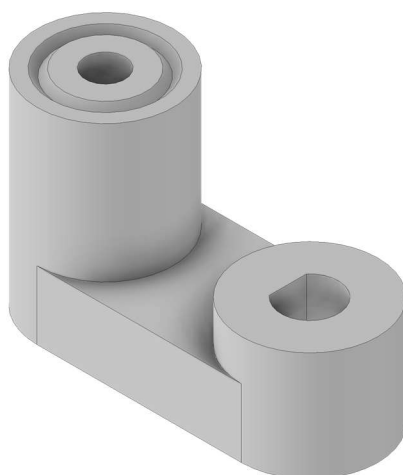
## 5.3 Konstrukce klikového mechanismu



Obr. 5-3 Klikový mechanismus

### 5.3.1 Klika

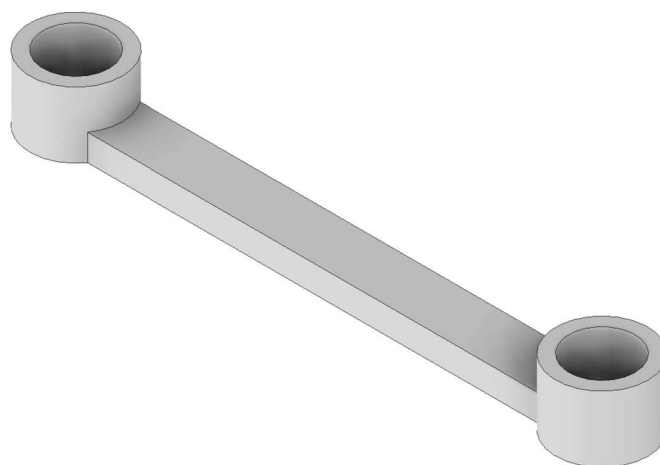
Krouticí moment je z motoru do kliky přenášen tvarovým stykem zploštěným koncem hřídele motoru. Poloha ojnice je na klice vymezena přídržnou destičkou, která je ke klice připevněna šroubem. Na konci kliky je proto díra k nalisování závitové vložky.



Obr. 5-4 Klika

### 5.3.2 Ojnice

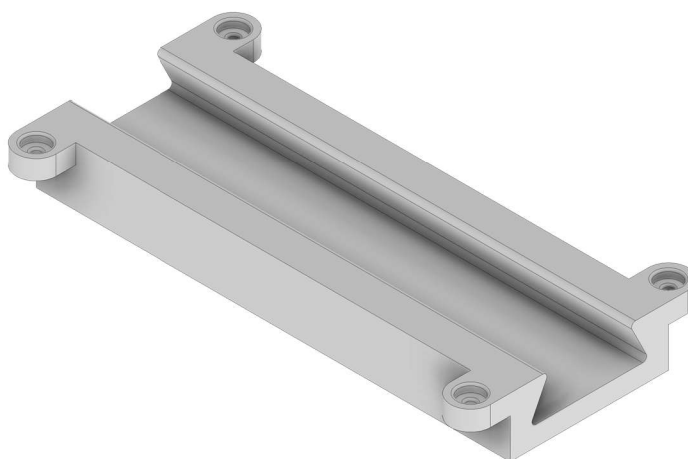
Ojnice zajišťuje přenos sil z kliky do pojezdu. Její délka musí být zvolena tak, aby nedocházelo ke vzpříčení pojezdu ve vedení.



Obr. 5-5 Ojnice

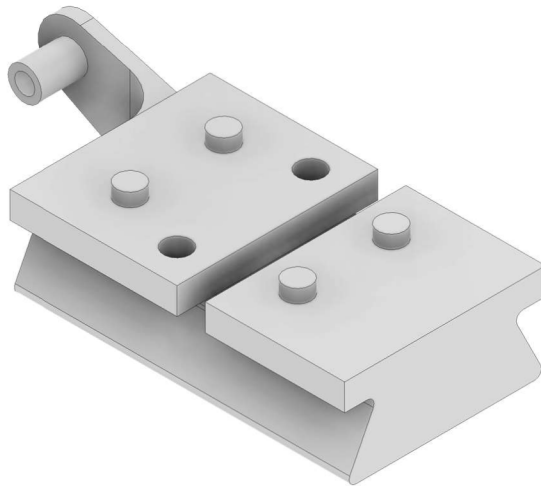
### 5.3.3 Vedení a pojezd

Vedení zajišťuje lineární pohyb pojezdu, ke kterému bude uchycen nástavec na nádobu s barvou. Lichoběžníkový profil zamezuje vyskočení pojezdu z vedení. Vedení bude k tělu míchačky uchyceno pomocí čtyř šroubů. Nástavec na nádobu s barvou bude k pojezdu uchycen čtyřmi čepy. Pokud by časem došlo k jejich opotřebení, jsou v pojezdu dvě díry, do kterých je možné vlepít válcové magnety o průměru 4 mm a délce 3 mm.



Obr. 5-6 Vedení



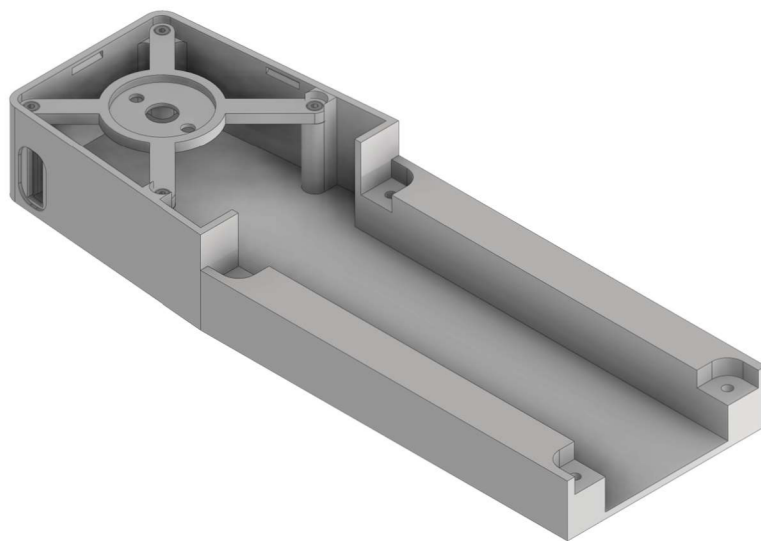


Obr. 5-7 Pojezd

## 5.4 Tělo míchačky

### 5.4.1 1. prototyp

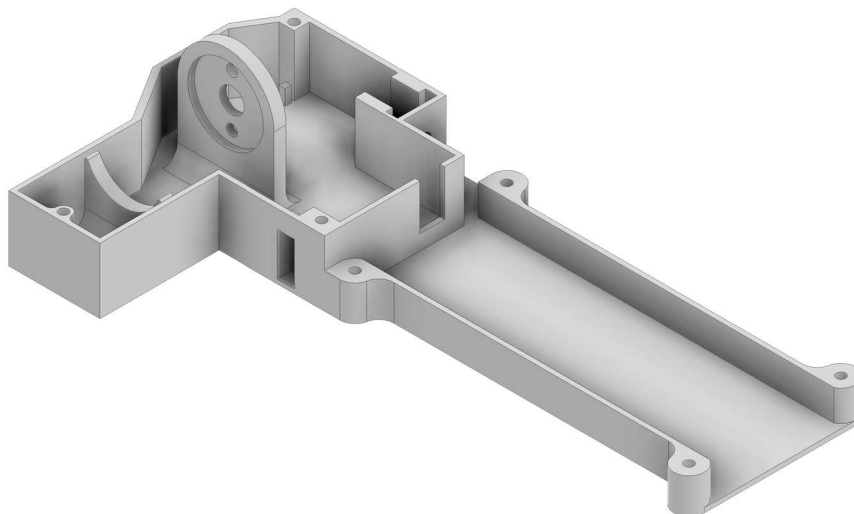
První prototyp byl vytvořen primárně za účelem rychlého ověření funkce míchačky bez ohledu na rozměry nebo optimální využití materiálu. Po ověření funkce bylo přistoupeno k vytvoření druhého prototypu.



Obr. 5-8 1. prototyp

## 5.4.2 2. prototyp

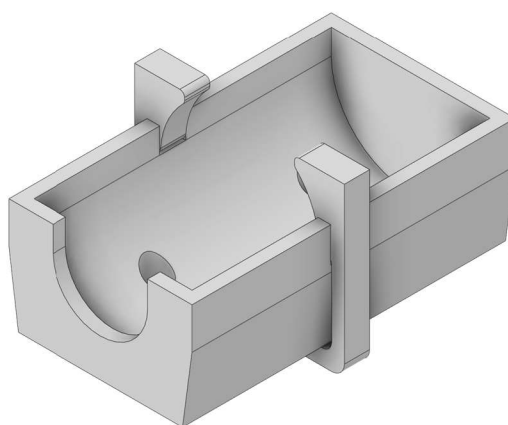
Tento prototyp už byl konstruován jako finální. Při konstrukci bylo postupováno tak, aby využití materiálu bylo co nejúspornější a do prostoru klikového mechanismu nezasahovaly vodiče. Motor je kvůli zmenšení rozměrů uložen vodorovně.



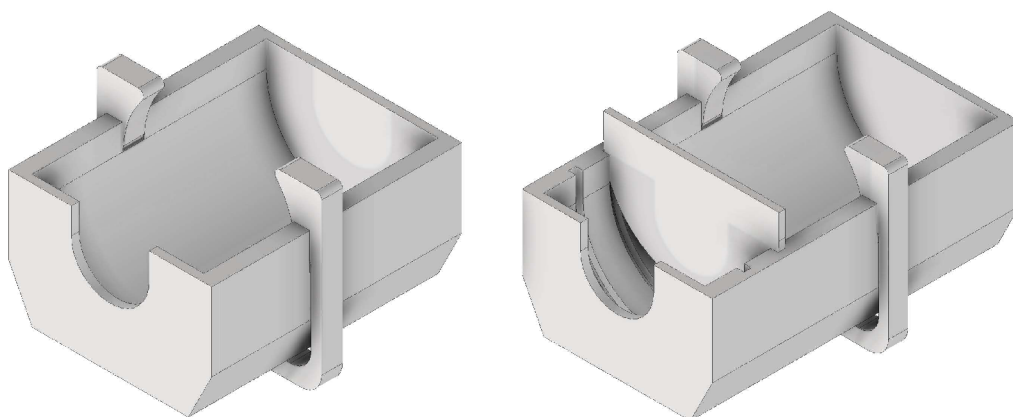
Obr. 5-9 2. prototyp

## 5.5 Uchycení nádoby s barvou

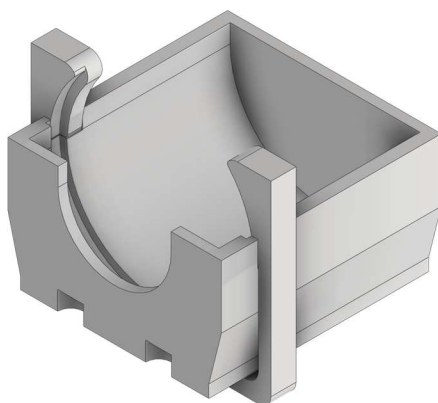
Nádoba s barvou bude k pojezdu uchycena nástavcem kopírujícím tvar nádoby. K přichycení nádoby k nástavci bude použito pružiny. Pružinu je v případě potřeby možné nahradit páskou se suchým zipem. Pro barvy Citadel budou zkonstruovány dva nástavce. Jeden pro nádoby o objemu 12 ml, které jsou používány nejčastěji a druhý pro nádoby o objemu 24 ml s oddělovací přepážkou, umožňující vložení menší nádoby.



Obr. 5-11 Nástavec na barvy Vallejo



Obr. 5-12 Nástavce na barvy Citadel



Obr. 5-13 Nástavec na barvy Revell

## 5.6 Volba pohonu

Pro pohon připadá v úvahu použití střídavého motoru, bezkartáčového motoru nebo stejnosměrného motoru s převodovkou. Střídavé a bezkartáčové motory vyžadují použití regulátoru, který by zvýšil výrobní náklady. Míchačka tedy bude poháněna stejnosměrným elektromotorem zvoleným tak, aby bylo možné ho napájet ze vstupního napětí bez využití regulace. Elektrický obvod tedy bude tvořen pouze USB konektorem, vypínačem a elektromotorem.

Výstupní otáčky běžně dostupných stejnosměrných motorů se vstupním napětím kolem 5 V se běžně pohybují kolem  $10\,000\text{ min}^{-1}$  a bude proto nutné použití převodovky. Aby nebylo nutné zkonstruovat vlastní převodovku, bude výběr motoru omezen na motory s vestavěnou převodovkou.

Zvoleným parametrům dobře odpovídá motor JGA25-370 od výrobce Shenzhen Xinyongtai Motor s následujícími parametry:

Tab. 5-2 Parametry motoru JGA25-370 [11]

Jmenovité napětí V	Otáčky na prázdně $\text{min}^{-1}$	Proud na prázdně A	Záběrný proud A	Záběrný moment N·mm
6	620	0,1	1,3	73,53

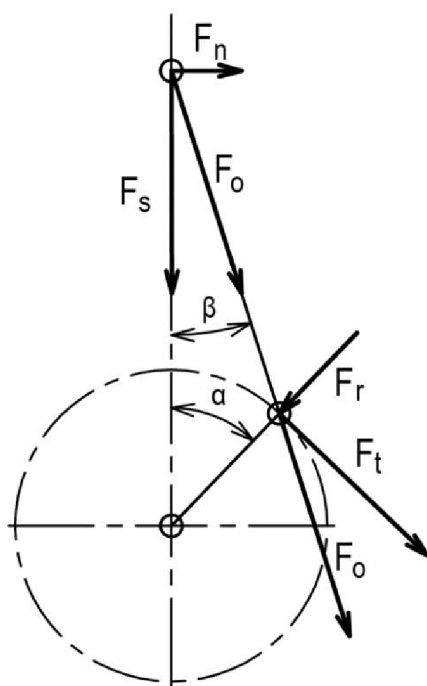


Obr. 5-14 Motor JGA25-370 [11]

Jmenovité napětí tohoto motoru je vyšší než vstupní napětí ze zdroje, dá se proto očekávat, že otáčky budou nižší. Je také třeba vzít v úvahu, že některé USB zdroje nemusí mít dostatečný výstupní proud, který by pro rozběhnutí motoru měl být vyšší než záběrný proud.

Pro účely dalších výpočtů je nyní třeba vypočítat otáčky motoru při zatížení a sníženém vstupním napětí.

Prvním krokem je odhad momentové zátěže motoru. Motor bude zatížen třecími silami ve vedení.



$\alpha$ ; úhel natočení kliky  
 $\beta = \alpha \cdot \sin^{-1} \left( \frac{r}{l} \right)$ ; úhel natočení ojnice  
 $r$ ; poloměr otáčení kliky  
 $l$ ; délka ojnice  
 $F_s$ ; setrvačná síla  
 $F_o = \frac{F_s}{\cos(\beta)}$ ; ojnicí síla  
 $F_n = F \cdot \operatorname{tg}(\beta)$ ; normálová síla  
 $F_t = F_o \cdot \sin(\alpha + \beta)$ ; tečná síla  
 $F_r = F_o \cdot \cos(\alpha + \beta)$ ; radiální síla

Obr. 5-15 Rozbor sil v klikovém mechanismu [12] překresleno

$$F_T = g \cdot m_s \cdot \mu_{PLA} = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 0,061 \text{ kg} \cdot 0,2 = 0,12 \text{ N} \quad (1)$$

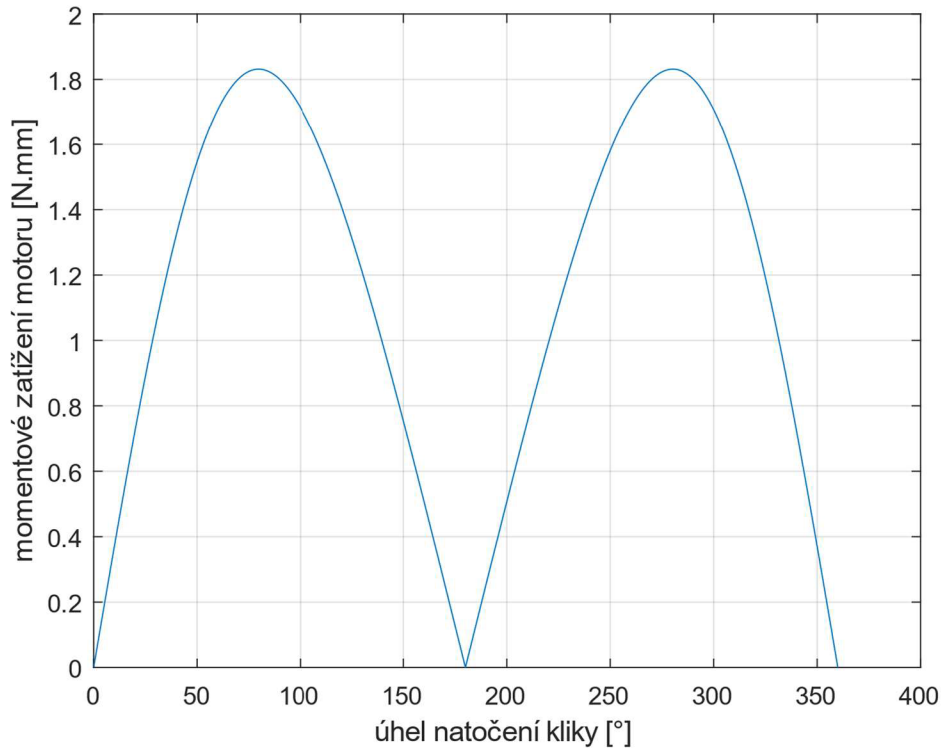
kde  $F_T$  je třecí síla v N,  $g$  je tíhové zrychlení v  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  a  $\mu_{PLA}$  je součinitel tření mezi dvěma součástmi z materiálu PLA [13].

Dosažením této síly do kinematických rovnic klikového mechanismu lze vypočítat tečnou složku ojnicí síly, která na poloměru kliky způsobuje momentové zatížení motoru, které je vyjádřeno následující rovnicí: [12]

$$M = r \cdot F_T \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos(\beta)} \quad (2)$$

kde  $M$  je momentové zatížení motoru v  $\text{N} \cdot \text{m}$ ,  $r$  je poloměr kliky v m,  $F_T$  je třecí síla v N,  $\alpha$  je úhel natočení kliky v  $^\circ$  a  $\beta$  je úhel natočení ojnice.

V intervalu natočení kliky od  $0^\circ$  do  $360^\circ$  velikost momentového zatížení nabývá hodnot zobrazených v grafu níže. Třecí sílu je nutné v intervalu natočení kliky od  $180^\circ$  do  $360^\circ$  dosadit se záporným znaménkem, neboť působí proti směru pohybu. Průměrná hodnota této funkce je  $M_s = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}$ .



Obr. 5-16 Momentové zatížení motoru

Se známým momentovým zatížením motoru je nyní možné pokračovat ve výpočtu otáček motoru. [14]

$$C_n = \frac{U_0}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n_0}{60}} = \frac{6 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{620 \text{ min}^{-1}}{60}} = 92,4 \cdot 10^{-3} \text{ V} \cdot \text{s} \quad (3)$$

kde  $C_n$  je otáčková konstanta motoru ve  $\text{V} \cdot \text{s}$ ,  $U_0$  je jmenovité napětí motoru ve  $\text{V}$  a  $n_0$  jsou otáčky na prázdno v  $\text{min}^{-1}$ .

$$I_a = \frac{M_s}{C_n} = \frac{1,1 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}}{92,4 \cdot 10^{-3} \text{ V} \cdot \text{s}} = 119 \cdot 10^{-3} \text{ A} \quad (4)$$

kde  $I_a$  je proud procházející motorem v  $\text{A}$ ,  $M_s$  je průměrná hodnota momentového zatížení v  $\text{N} \cdot \text{m}$  a  $C_n$  je otáčková konstanta motoru v  $\text{V} \cdot \text{s}$ .

$$\omega = \frac{U_1 - R_a \cdot I_a}{C_n} = \frac{5 \text{ V} - 2,3 \Omega \cdot 0,119 \text{ A}}{92,4 \cdot 10^{-3} \text{ V} \cdot \text{s}} = 51,15 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (5)$$

kde  $\omega$  je úhlová rychlost motoru v  $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $U_1$  je upravené vstupní napětí ve  $\text{V}$ ,  $R_a$  je odpor kotvy motoru v  $\Omega$  a  $C_n$  je otáčková konstanta motoru ve  $\text{V} \cdot \text{s}$ .

## 5.7 Zamezení pohybu

### 5.7.1 Silové působení

Vlivem setrvačných sil bude při míchání barvy docházet k nežádoucímu pohybu míchačky po podložce. Pokud bude zároveň docházet k míchání dvou barev tak, aby polohy obou nádob byly fázově posunuty o  $180^\circ$ , setrvačné síly budou při pohybu působit proti sobě a vzájemně se vyruší. Toto řešení nemusí být praktické, vzhledem k tomu, že zároveň musí být míchány dvě barvy podobné hmotnosti.

Dalším možným řešením tohoto problému je zvýšení hmotnosti míchačky tak, aby tečná síla mezi míchačkou a podložkou byla větší než síla setrvačná. Velikost setrvačné síly je možné vyjádřit za pomoci hmotnosti dílů konajících posuvný pohyb a kinematických rovnic klikového mechanismu: [12]

$$\begin{aligned} F_s &= m_s \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \left( \cos(\alpha) + \frac{r}{l} \cdot \cos(2 \cdot \alpha) \right) = & (6) \\ &= 0,061 \text{ kg} \cdot 0,015 \text{ m} \cdot (51 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1})^2 \cdot \left( \cos(0^\circ) + \frac{0,015 \text{ m}}{0,08 \text{ m}} \cdot \cos(2 \cdot 0^\circ) \right) = 2,83 \text{ N} \end{aligned}$$

kde  $F_s$  je velikost setrvačné síly v N,  $m_s$  je hmotnost součástí konajících posuvný pohyb včetně nádoby s barvou,  $r$  je poloměr kliky v m,  $\omega$  je úhlová rychlost kliky v  $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $l$  je délka ojnice v m a  $\alpha$  je natočení kliky, zvoleno  $0^\circ$ , kde bude velikost setrvačné síly nejvyšší.

Potřebnou hmotnost míchačky pak lze vyjádřit z rovnice pro tečnou sílu, která musí být větší než setrvačná síla:

$$m \geq \frac{F_s}{g \cdot \mu_0} = \frac{2,83 \text{ N}}{9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot 0,65} = 444 \text{ g} \quad (7)$$

kde  $m$  je hmotnost míchačky, taková, aby nedocházelo k pohybu po podložce v kg,  $g$  je tíhové zrychlení v  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$  a  $\mu_0$  je statický součinitel tření, jehož hodnota byla získána experimentem s nakloněnou rovinou.

Hmotnost míchačky, která i s nádobou barvy je 252 g je tak třeba doplnit o dalších 192 g. Dosažení takové hmotnosti přidáním závaží do míchačky je nepraktické. Možným řešením dosažení takové hmotnosti je doplnění míchačky o úložný prostor pro barvy a štětce, který může být použit jako kompaktní řešení pro přepravu. Vzhledem k omezené použitelnosti tohoto řešení bude dále uvažováno pouze zamezením pohybu upevněním míchačky ke stolu za pomoci svěrky, případně je možno míchačku uchytit do modelářského svěráku.

## 5.7.2 Konstrukce svěrky

Do těla míchačky bude přidán závit. Samotná svěrka bude tvořena závitovou tyčí, klikou pro utažení a přídržkou. Přídržka bude k závitové tyči otočně připevněna pojistnou destičkou, uchycenou k závitové tyči šroubem.

Pro použití ve svěrce je nutné použít samosvorný závit. Závit je samosvorný, je-li třecí úhel závitu větší než úhel stoupání závitu. Při volbě závitu je také nutné vzít v úvahu, že bude vyráběn metodou 3D tisku a je nutné, aby závit byl dostatečně robustní a dobře snášel silové zatížení v něm působící. S ohledem na tyto parametry byl zvolen čtvercový závit s průměry  $d_3 = 16 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 20 \text{ mm}$  a  $d_1 = 24 \text{ mm}$  a roztečí  $P = 8 \text{ mm}$ . Únosnost závitu byla ověřena empiricky, neboť zjistit materiálové vlastnosti součástí vyrobených 3D tiskem je obtížné. Dále je možné ověřit samosvornost závitu: [15]

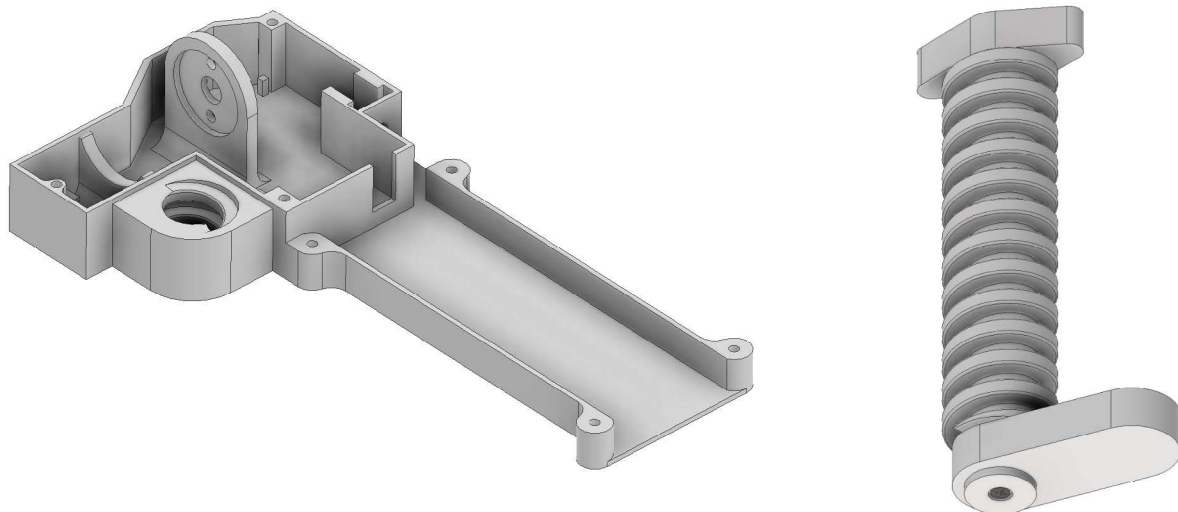
$$\psi_{tř} = \text{atan}(\mu) = \text{atan}(0,2) = 11,31^\circ \quad (8)$$

kde  $\psi_{tř}$  je třecí úhel ve  $^\circ$  a  $\mu$  je součinitel tření mezi dvěma díly z materiálu PLA.

$$\psi = \text{atan}\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right) = \text{atan}\left(\frac{8 \text{ mm}}{\pi \cdot 20 \text{ mm}}\right) = 7,26^\circ \quad (9)$$

kde  $\psi$  je úhel stoupání závitu ve  $^\circ$ ,  $P$  je rozteč závitu v mm a  $d_2$  je střední průměr závitu

Dále je nutné, aby uložení šroubu v matici bylo s vůlí. To zajistím zvětšením průměrů a šířky drážky v matici. Na základě předchozích zkušeností budou průměry o 0,3 mm větší a drážka o 0,3 mm širší.



Obr. 5-17 (a) Tělo míchačky doplněné o závit; (b) Svěrka



## 5.8 Volba materiálů

Tab. 5-3 Vlastnosti běžně používaných materiálů pro 3D tisk [16]

Materiál	Teplota trysky [°C]	Teplota podložky [°C]	Zakrytování tiskárny	Teplotní odolnost	Rázová houževnatost	Odolnost v tahu
PLA	185-235	50-60	ne	1,6/5	0,8/5	3,8/5
PET-G	215-270	70-90	ne	2,3/5	2,4/5	3,8/5
ASA	220-275	90-110	ano	3,4/5	2,1/5	3,1/5
ABS	230-275	95-110	ano	3,3/5	1,6/5	3/5

Nejvíce mechanicky namáhanou součástí míchačky je klika klikového mechanismu. V místě kontaktu kliky a hřídele elektromotoru dochází k přenosu krouticího momentu. Vzhledem k cyklickému charakteru namáhání vznikajícího v tomto místě je žádoucí, aby materiál použitý pro kliku byl dostatečně houževnatý a časem nekřehl. Z tohoto důvodu bude k výrobě kliky použito materiálu PET-G, jehož vlastnosti tuto podmínku splňují.

Použití materiálu PET-G bude také vhodné pro pružiny přidržující nádobu s barvou k nástavci.

U ostatních součástí nebude docházet k významnému mechanickému namáhání. Pro tyto součásti bude hlavně pro jeho poměrně nízkou cenu a vysokou rychlost tisku použit materiál PLA.

## 6 DISKUZE

V rámci této práce byl zkonstruován a vyroben prototyp stolní míchačky modelářských barev. K výrobě součástí bylo zvoleno použití 3D tisku pro jeho dostupnost. S ohledem na tuto výrobní metodu byly součásti konstruovány tak, aby při jejich tisku docházelo k co nejoptimálnějšímu využití materiálu vhodnou volbou rozměrů a tvarů součástí.

Zkonstruovaný prototyp využívá elektrického pohonu, při jehož volbě pohonu bylo využito informací získaných v rešeršní části práce k volbě parametrů klikového mechanismu a analýzou silového působení byl zvolen vhodný motor.

Oproti řešením dostupným na trhu, zkonstruovaná míchačka je použitelná pro široké spektrum barev. Nevýhodou je nutnost použití svěrky k připevnění míchačky ke stolu, aby při míchání nepohybovala, což komplikuje její použití. Výrobní náklady jsou s řešeními dostupnými na trhu srovnatelné.

Tab. 6-1 Výrobní náklady

Položka	Množství	Cena
Filament	152 g	106,3 Kč
Spotřeba el. energie 3D tiskárny	1,013 kWh	4,2 Kč
Motor s převodovkou	1 ks	178 Kč
Šrouby M2	10 ks	29 Kč
Šrouby M3	2 ks	5,8 Kč
Závitové vložky M2	10 ks	34,8 Kč
Vodič	300 mm	21 Kč
USB konektor	1 ks	28 Kč
Vypínač	1 ks	8 Kč
Celkem		414,8 Kč

Při výpočtu spotřeby filamentu je uvažován tisk varianty se svěrkou pro upevnění ke stolu a cenu 699 Kč za kg filamentu [11] [12]. Výpočet spotřeby elektrické energie vychází z času tisku h, m na 3D tiskárně Prusa MK4 s šířkou vrstvy 0,2 mm, průměrné spotřeby energie při tisku PLA filamentu 80 W a cenu jedné kWh elektrické energie 4,12 Kč [13] [14] [15] [16].

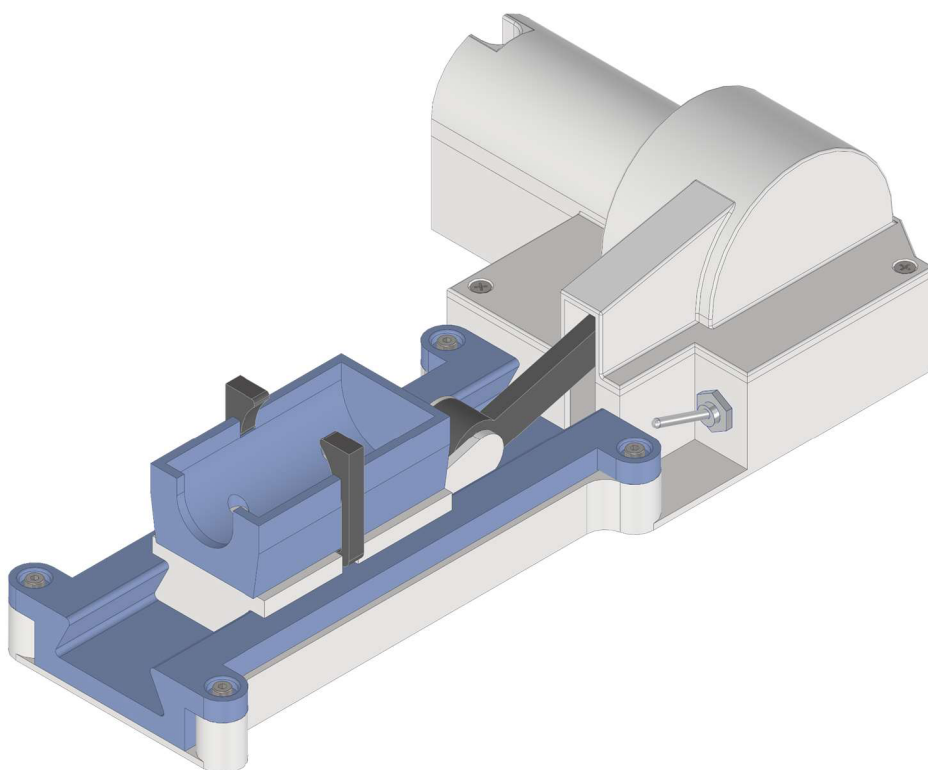
Po vyrobení a sestavení prototypu byl tento prototyp v průběhu zhruba tří měsíců testován. Po tuto dobu nedošlo na prototypu k žádné poruše. Na vedení jsou vidět očekávané nepatrné známky abrazivního opotřebení.

## 7 ZÁVĚR

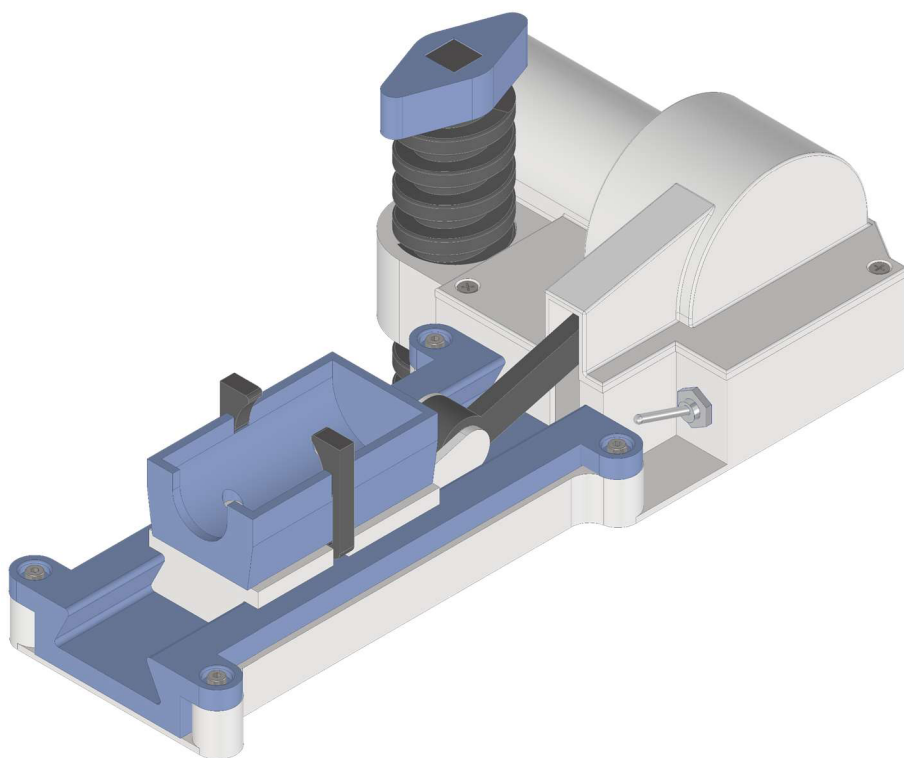
Hlavním cílem práce byla konstrukce nízkonákladové stolní míchačky modelářských barev s využitím 3D tisku. Zkonstruovaná míchačka byla zpracována do podoby finálního produktu, který splňuje svou funkci.

Z poznatků získaných z provedeného přehledu současného stavu poznání byly vypracovány dva koncepční návrhy. Z dvou koncepčních návrhů byl nejvýhodnější z nich zpracován do 3D modelu. K napájení míchačky bylo zvoleno stejnosměrné napětí 5 V z USB zdroje a pohon je realizován stejnosměrným kartáčovým motorem s převodovkou. Vyroběný a sestavený prototyp je schopný rozmíchání barvy a splňuje veškeré zadané parametry. Účinnost míchačky je možné výrazně zvýšit vložením těžké kuličky do nádoby s barvou.

K realizaci prototypu bylo zvoleno použití 3D tisku a tato výrobní metoda byla brána na vědomí při konstrukci součástí tak, aby výroba byla co nejvíce ekonomická. Náklady na výrobu 3D tištěných součástí a nákup ostatních součástí činí přibližně 415 Kč. Tato cena, ač nízká v porovnání s míchačkami aktuálně dostupnými na trhu, jejichž ceny se nejčastěji pohybují v mezích zhruba od 200 Kč do 1 500 Kč, nezahrnuje náklady spojené s pořízením vybavení nutného k výrobě a sestavení míchačky.



Obr. 7-1 Míchačka bez svěrky



Obr. 7-2 Míchačka se svěrkou



Obr. 7-3 Zhotovený prototyp

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Toxic Yellow. *Acrylicos Vallejo* [online]. [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://acrylicosvallejo.com/en/product/hobby/game-color-en/toxic-yellow-72109/>
2. What Everyone Is Saying About Citadel Contrast Paints. *Spikey Bits* [online]. [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://spikeybits.com/tabletop-news/what-everyone-is-saying-about-citadel-contrast-paints/>
3. Email Color, Clear, Matt, 14ml. CARRERA REVELL EUROPE GMBH. *Revell Online-Shop* [online]. [cit. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://www.revell.de/en/products/modelmaking/colors-accessories/email-colours/email-color-clear-matt-14ml.html>
4. Rotational Paint Shaker. *Green Stuff World* [online]. [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://www.greenstuffworld.com/en/paint-shaker/2382-rotational-paint-shaker.html>
5. BADGER Airbrush Paint Mixer BA121. *Amazon* [online]. [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://www.amazon.co.uk/BADGER-Airbrush-Paint-Mixer-BA121/dp/B000BROV02/>
6. Vibration white finger – hand arm vibration syndrome. *DERMNET. DermNet* [online]. [cit. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://dermnetnz.org/topics/vibration-white-finger-hand-arm-vibration-syndrome#:~:text=Vibration%20white%20finger%2C%20also%20known,the%20hanh%2C%20wrist%20and%20arm.>
7. In my lab, I have to touch vortex some tubes for 5 minutes straight... In: *QUORA. Quora* [online]. [cit. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://www.quora.com/In-my-lab-I-have-to-touch-vortex-some-tubes-for-5-minutes-straight-When-I-take-my-hands-off-the-vortex-machine-afterwards-my-hands-have-this-strange-somewhat-painful-sensation-Is-there-harm-in-this-long-term>
8. Mini Vortex Mixer Laboratory Paint Shaker Adjustable Speed 50ML Laboratory Test Tube Vortex Paint Mixer AC100-240V (US Plug). *Amazon* [online]. [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/Vortex-Laboratory-Shaker-Adjustable-AC100-240V/dp/B0CDYNNK7Q>
9. *DIY Automatic Motorized Paint Shaker!* [online]. 2024, 2024 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=MPvR0hKDGkY>
10. Model Paint Shaker. *Autodesk Instructables* [online]. [cit. 2024-04-25]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/Model-Paint-Shaker/>
11. Motor JGA25-370 6V s převodovkou. *LaskaKit* [online]. [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/motor-jga25-370-6v-s-prevodovkou/>

12. KŘÍŽ, Rudolf, Karel WEIGNER a Jaroslav SVOBODA. *Stavba a provoz strojů III: Mechanismy*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1979. 1979. L13-C2-V-43f/25561.
13. ZHANG, Peng; HU, Zhichao; XIE, Huanxiong; LEE, Gwang-Hee a LEE, Chul-Hee. Friction and wear characteristics of polylactic acid (PLA) for 3D printing under reciprocating sliding condition. Online. *Industrial Lubrication and Technology*. 2020, roč. 72, s. 533-539. ISSN 0036-8792. Dostupné z: <https://doi.org/10.1108/ILT-11-2016-0280>. [cit. 2023-4-16].
14. SMEJKAL, Jan; HAMMER, Miloš; KUDLÁČ, Bohumil; KUNČÍK, Jan; NOSEK, Jaroslav et al. *Elektrotechnika*. Brno: VUT Brno, 1991. ISBN 80-214-0388-8.
15. BUDYNAS, Richard G. (Richard Gordon) a NISBETT, J. Keith. *Shigleyho konstruování strojních součástí*. Vydání první. Brno: Vysoké učení technické v Brně - Nakladatelství VUTIUM, 2023. ISBN 978-80-214-5471-2.
16. Prusa tabulka materiálů. *Prusa Research* [online]. [cit. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://help.prusa3d.com/cs/materials>
17. Prusament PLA Pristine White 1kg. *Prusa Research* [online]. [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/prusament-pla-pristine-white-1kg/>
18. Prusament PETG Jet Black 1kg. *Prusa Research* [online]. [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/prusament-petg-jet-black-1kg/>
19. 3D tiskárna Original Prusa MK4. *Prusa Research* [online]. [cit. 2024-04-14]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/original-prusa-mk4-2/#specs>
20. Aktuální (průměrná) cena 1 kWh elektřiny. *Energie123.cz* [online]. [cit. 2024-04-01]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
21. Páčkový přepínač 6A 125VAC. *LaskaKit* [online]. [cit. 2024-04-01]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/packovy-prepinac-6a-125vac/>
22. Napájecí kabel JQ-118 USB-C do JST-PH-2 2mm 10cm. *LaskaKit* [online]. [cit. 2024-04-01]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/napajeci-kabel-jq-118j-usb-c-do-jst-ph-2-2mm-10cm/?variantId=11517>

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

$\alpha$ [°]	úhel natočení kliky
$\beta$ [°]	úhel natočení ojnice
$C_n$ [V·s]	otáčková konstanta motoru
$F_n$ [N]	normálová síla
$F_o$ [N]	ojniční síla
$F_r$ [N]	radiální síla
$F_s$ [N]	setrvačná síla
$F_t$ [N]	tečná síla
$F_T$ [N]	třecí síla
$g$ [m·s <sup>-2</sup> ]	tíhové zrychlení
$I_a$ [A]	proud procházející motorem
$l$ [m]	délka ojnice
$M, M_s$ [N·m]	momentová zátěž motoru, průměrná hodnota momentové zátěže motoru
$m$ [kg]	hmotnost míchačky
$m_s$ [kg]	hmotnost posuvných součástí míchačky a plné nádoby s barvou Vallejo o objemu 18 ml
$\mu_0$	součinitel tření mezi míchačkou a stolem
$\mu_{PLA}$	součinitel tření mezi dvěma povrchy z PLA
$n_0$ [min <sup>-1</sup> ]	otáčky motoru na prázdno
$\omega$ [rad·s <sup>-1</sup> ]	úhlová rychlost motoru
$\psi$ [°]	úhel stoupání závitu
$\psi_{tr}$ [°]	třecí úhel
$r$ [m]	poloměr otáčení kliky
$R_a$ [Ω]	Odpor kotvy motoru
$U_0$ [V]	Jmenovité napětí motoru
$U_1$ [V]	Upravené vstupní napětí motoru

## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 2-1	Nádoba s barvou Vallejo [1]. .....	15
Obr. 2-2	Nádoby s barvou Citadel [2] upraveno .....	15
Obr. 2-3	Nádoba s barvou Revell [3]. .....	16
Obr. 2-4	(a) Rotační míchačka Green Stuff World [1]; (b) Znázornění funkce.....	16
Obr. 2-5	(a) Metlová míchačka Badger [2]; (b) Znázornění funkce. ....	17
Obr. 2-6	(a) Vortexová míchačka [3]; (b) Znázornění funkce.....	17
Obr. 4-1	Varianta 1 .....	20
Obr. 4-2	Varianta 2 .....	20
Obr. 5-1	Míchačka na barvy ve spreji [4] .....	22
Obr. 5-2	Míchačka na modelářské barvy [5].....	23
Obr. 5-3	Klikový mechanismus.....	24
Obr. 5-4	Klika .....	24
Obr. 5-5	Ojnice .....	25
Obr. 5-6	Vedení .....	25
Obr. 5-7	Pojezd .....	26
Obr. 5-8	1. prototyp .....	26
Obr. 5-9	2. prototyp .....	27
Obr. 5-11	Nástavec na barvy Vallejo.....	27
Obr. 5-12	Nástavce na barvy Citadel .....	28
Obr. 5-13	Nástavec na barvy Revell .....	28
Obr. 5-14	Motor JGA25-370 [11] .....	29
Obr. 5-15	Rozbor sil v klikovém mechanismu [12] upraveno .....	30
Obr. 5-16	Momentové zatížení motoru .....	31
Obr. 5-17	(a) Tělo míchačky doplněné o závit; (b) Svěrka .....	33
Obr. 6-1	Míchačka bez svěrky .....	36
Obr. 6-2	Míchačka se svěrkou.....	37
Obr. 6-3	Zhotovený prototyp .....	37



## 11 SEZNAM TABULEK

Tab. 4-1	Vícekritériální analýza.....	21
Tab. 5-1	Určení optimálních parametrů klikového mechanismu.....	23
Tab. 5-2	Parametry motoru JGA25-370 [4] .....	29
Tab. 5-3	Vlastnosti běžně používaných materiálů pro 3D tisk.....	21
Tab. 6-1	Výrobní náklady .....	0

## 12 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Ukázka funkce
- Příloha 2 Výrobní dokumentace