

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací (KAE)

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Automatizovaný přípravek pro nastavení hloubky fréz
využívané obráběcím systémem LPKF ProtoMat S100**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub HRONEK**
Osobní číslo: **E15B0154P**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Automatizovaný přípravek pro nastavení hloubky fréz
využívané obráběcím systémem LPKF ProtoMat S100**
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Navrhněte přípravek automatizovaného nastavování hloubky fréz LPKF ProtoMat S100, který bude ovládán pomocí aplikace běžící na PC s operačním systémem Windows 7.

1. Zvolte vhodnou metodu posunu frézy vůči distančnímu okruží s přesností $\pm 10\mu\text{m}$.
2. Navrhněte vhodné mechanické řešení a ověřte vhodnost návrhu zařízení modelem v 3D CAD systému (SolidWorks).
3. Navrhněte elektronickou část zařízení.
4. Realizujte celé zařízení a naprogramujte včetně Net aplikace sloužící k obsluze zařízení.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

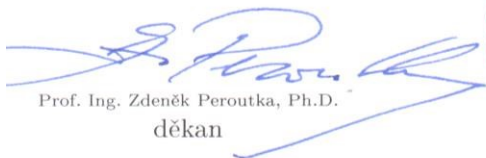
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jindřich Křivka


Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **5. října 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13. června 2019**


Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vývojem a výrobou zařízení k nastavování hloubky nástrojů pro frézky určené k frézování desek plošných spojů (DPS), především pro frézu LPKF. V první části je přiblížen způsob prototypové výroby DPS pomocí frézování. Jsou zde popsány nástroje určené k frézování a možnosti jejich kalibrace. Druhá část se zabývá principy a funkcí krokových motorů a jejich základním rozdělením. Další část je zaměřena na výběr vhodného aktuátoru. V praktické části je poté nastíněn vývoj a výroba elektroniky řízení a mechanické části. Závěr práce mapuje vývoj programu pro mikrokontroler a vývoj ovládacího programu pro PC.

Klíčová slova

Krokový motor, fréza, budič krokového motoru, Autodesk Fusion 360, Altium Designer, 3D tisk, deska plošného spoje

Abstract

This bachelor's thesis deals with design of device for calibrating of milling machine instruments used in production of prototype printed circuit boards (PCB). The principle of prototype PCB's manufacturing by the LPKF milling machine is described in the first part of this thesis. It includes also milling instruments and their calibration. The second part is focused on various types of stepper motors, one of them was selected for use in designed device. The next chapter describes the whole design of the calibrating device, includes the electronic and mechanic design. The end of this thesis deals with software development.

Key words

Stepper motor, milling machine, stepper motor driver, Autodesk Fusion 360, Altium Designer, 3D print, printed circuit boards

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 13.6.2019

Jméno příjmení
Jakub Hronek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jindřichu Křivkovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Žahourovi a Ing. Ondřeji Lufinkovi za pomoc a poskytnuté rady, a to jak při návrhu a realizaci desky plošný spojů, tak při programování mikrokontroléru.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 ZÁKLADNÍ INFORMACE	11
1.1 FRÉZOVÁNÍ DPS	11
1.2 NÁSTROJE PRO FRÉZOVÁNÍ.....	12
1.3 NASTAVENÍ NÁSTROJŮ	13
2 KROKOVÉ MOTORY	14
2.1.1 <i>Krokové motory reluktanční</i>	14
2.1.2 <i>Krokové motory s aktivním rotorem</i>	14
2.1.3 <i>Krokové motory hybridní</i>	14
2.1.4 <i>Krokové motory lineární</i>	15
3 INOVAČNÍ PODNĚT PRO AUTOMATIZACI KALIBRACE NÁSTROJŮ	15
3.1 VÝBĚR AKTUÁTORU A POŽADAVKY NA NĚJ KLADENÉ	15
3.2 BLOKOVÉ SCHÉMA KALIBRAČNÍHO PŘÍSTROJE	16
4 NÁVRH A REALIZACE ŘÍDÍCÍ ELEKTRONIKY	17
4.1 NÁVRH SCHÉMAT JEDNOTLIVÝCH BLOKŮ JEDNOTKY ŘÍZENÍ.....	17
4.1.1 <i>Výběr mikrokontroleru a schéma jeho zapojení</i>	18
4.1.2 <i>Výběr budiče krokového motoru a schéma jeho zapojení</i>	19
4.1.3 <i>Výběr USB-UART převodníku a schéma jeho zapojení</i>	20
4.1.4 <i>Výběr komponentů zdroje a schéma jeho zapojení</i>	21
4.2 NÁVRH A REALIZACE DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ JEDNOTKY ŘÍZENÍ.....	22
4.2.1 <i>První verze desky plošných spojů</i>	23
4.2.2 <i>Finální provedení desky plošných spojů V 2.0</i>	24
5 NÁVRH A REALIZACE MECHANICKÉ ČÁSTI	27
5.1 VÝBĚR MECHANICKÝCH KOMPONENTŮ.....	27
5.2 NÁVRH 3D MODELU	28
5.3 TISK 3D TIŠTĚNÝCH DÍLŮ.....	30
5.4 SESTAVENÍ	31
6 PROGRAMOVÉ ŘEŠENÍ	34
6.1 PROGRAM PRO MIKROKONTROLÉR	34
6.1.1 <i>Vývojový diagram</i>	34
6.1.2 <i>Program C</i>	35
6.2 PROGRAM PRO PC	36
6.2.1 <i>Vývojový diagram</i>	36
6.2.2 <i>Program C#</i>	37
ZÁVĚR	38
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	39
PŘÍLOHY	40-42

Seznam symbolů a zkratk

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
DPS.....	Deska plošného spoje
SMD	Surface Mount Device, povrchově osazené zařízení
THT	Through Hole Technology, technologie osazování součástek s drátovými vývody
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter, druh sériového rozhraní
USB	Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice
PC	Personal Computer, osobní počítač
PWM	Pulse Width Modulation, pulzně šířková modulace
RAM	Random Access Memory, paměť s libovolným přístupem
LED	Light Emitting Diode, svítivá dioda
FTDI	Future Technology Devices International
LQFP	Low profile Quad Flat Package, nízkoprofilové čtvercové ploché pouzdro

Úvod

CNC a NC stroje jsou v dnešní době důležité zejména proto, že nám šetří práci a náklady na výrobu různých komponent, prototypů, ale i sériové výroby. V našem případě jde o stroj na výrobu prototypových desek plošných spojů. Jeden takový stroj se nachází na katedře aplikované elektrotechniky a telekomunikací, konkrétně se jedná o frézu vyráběnou firmou LPKF. Tato fréza je dobrým efektivním pomocníkem při výrobě prototypových DPS a zásadně usnadňuje práci.

Pro frézování prototypových plošných spojů se používá celá řada nástrojů, které jsou třeba nastavovat (tzv. kalibrovat). Cílem této bakalářské práce je vývoj a výroba zařízení k nastavení (kalibraci) nástrojů určených pro frézu LPKF i další frézy určené k frézování desek plošných spojů. Zařízení by mělo být schopné posunout distanční kroužek frézovacího nástroje, který přesně definuje hloubku vniku do materiálu.

Toho bylo docíleno za pomoci krokového motoru, jehož princip je popsán v první části této bakalářské práce. Dalším bodem této práce je návrh, vývoj a výroba elektronické části pro řízení a mechanické části sloužící k fyzické kalibraci. V poslední části této bakalářské práce je řešen program pro mikrokontroler a ovládací program pro PC.

1 Základní informace

1.1 Frézování DPS

Za použití tříosého CNC stroje je frézování DPS využíváno jako metoda výroby prototypových desek plošných spojů. Pro účely naší práce byl vybrán stroj k tomu určený, který je vyráběn firmou LPKF. Konkrétně jde o typ ProtoMat S100, který je zobrazen na (obrázku 1.1). Na trhu se můžeme setkat i se stroji jiných značek, například Bantam, 4MILL, Prometheus atd.

Samotná výroba desky plošného spoje (DPS), se skládá z několika výrobních kroků, které na sebe navazují. Na začátku je potřeba vygenerovat z návrhového systému např. Altium designer výstupní výrobní soubory pro jednotlivé vrstvy DPS. Tyto soubory jsou následně zpracovány v softwaru CircuitCAM, kde se definují trasy pro jednotlivé nástroje vrstvy. Výsledný CAM job, který je založený na formátu Gcode, je načten obslužným softwarem frézy BoardMaster. Pomocí toho programu je pak ovládán samotný chod frézy od zaměření PCB až po výměnu nástrojů.



Obrázek 1.1 - LPKF ProtoMat S100 [1]

1.2 Nástroje pro frézování

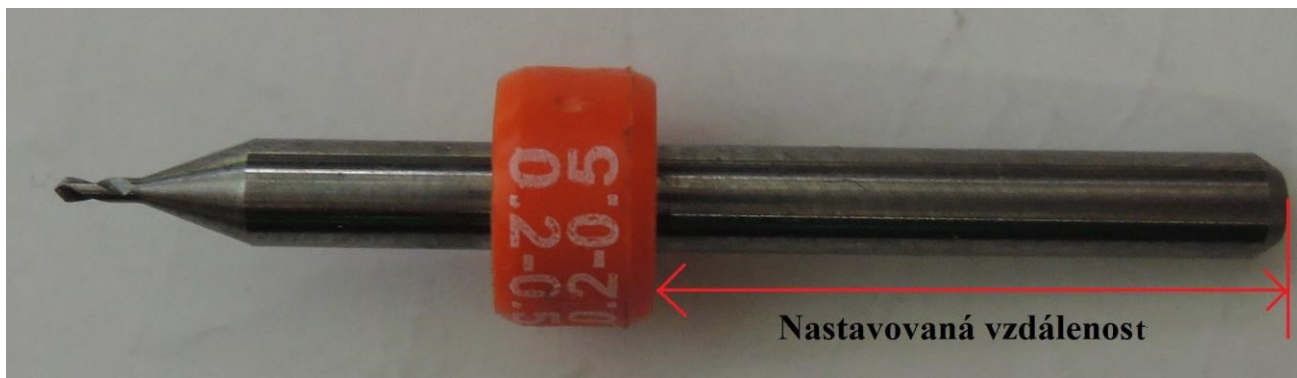
Pro frézování PCB lze použít celou řadu nástrojů. Nejčastěji se využívají základní tři typy (obrázek 1.2), nástroj pro frézování tenkých mezer kolem cest UniCutter 0,2 mm, dále také EndMill o dvou různých délkách pro odstranění větších ploch mědi na DPS. Hloubku frézování určuje zejména distanční kroužek nástroje a dosedová plocha frézovací hlavy, která umožňuje jemné doladění hloubky frézování s krokem jednotek μm . Abychom nemuseli při každém upínání nástroje řešit výšku upnutí, jsou nástroje osazeny plastovými kroužky, které udávají právě hloubku frézování.



Obrázek 1.2 – Nástroje

1.3 Nastavení nástrojů

Nastavování doposud probíhalo manuálně za pomoci přístroje (viz obr 1.3), který je osazen měřidlem ocejchovaným v mikroskopickém kukátku. Nástroj je upnut za plastový kroužek. Zezadu tlačíme na samotný nástroj, čímž ho posouváme v kroužku a dochází tak k jeho kalibraci (nastavování). Úkolem této bakalářské práce je tento proces zautomatizovat.



Obrázek 1.3 - nastavovaná délka



Obrázek 1.4– přístroj pro kalibraci nástrojů

2 Krokové motory

Namísto točivého pole je u krokových motorů tvořeno tzv. poskakující pole, které je vyvoláno postupným napájením pólových dvojic stejnosměrným proudem. Počet kroků udává počet poloh rotoru na jednu otáčku. Výhodou je jednoduché natočení na potřebný úhel bez použití čidla otáček či enkodéru. Pro řízení je však nutné použít řídicí obvody, takzvané budiče. Nicméně, u tohoto typu motoru může dojít k přeskočení kroku, tedy k jeho vynechání. V konečném důsledku se tak motor nenachází v požadované poloze. U zpětnovazebných systémů tomuto riziku čelit nemusíme. [2]

2.1.1 Krokové motory reluktanční

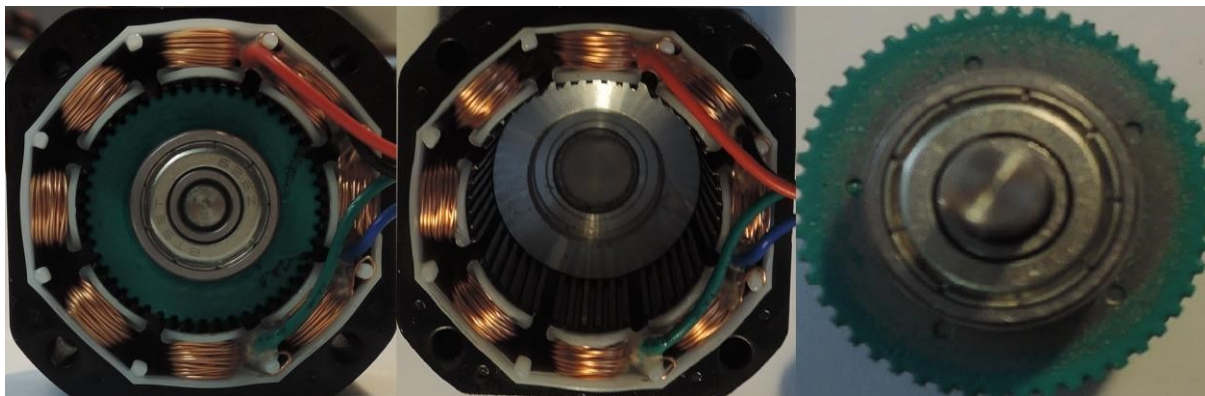
Tento typ krokového motoru, známý také pod označením krokový motor s pasivním rotorem, funguje za podmínky rozdílného počtu zubů rotoru a statoru. Jeho charakteristickým znakem je absence vinutí či permanentních magnetů na rotoru. Rotor se skládá pouze z vhodně tvarovaných plechů, které tvoří pólové nástavce. Stator je tvořen vinutím. Tyto motory bývají tří až pětifázové. Moment vzniká v důsledku rozdílné magnetické vodivosti, způsobené nerovnoměrným rozložením vzduchové mezery v podélné a příčné ose. [2]

2.1.2 Krokové motory s aktivním rotorem

Rotor je tvořen radiálně uloženými permanentní magnety, po jeho obvodu se střídá jižní a severní pól těchto magnetů. Většinou obsahují čtyři a více pólů. [2]

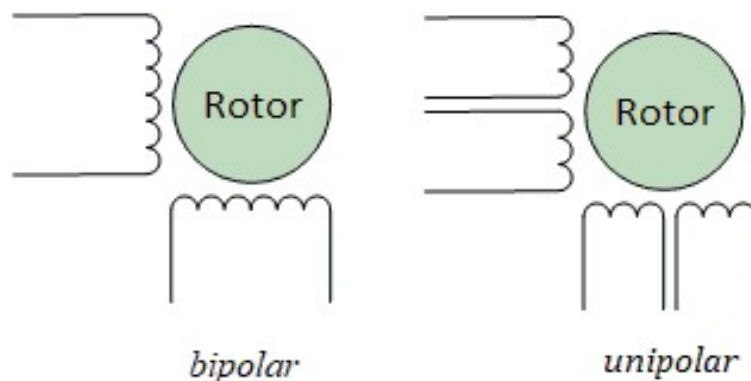
2.1.3 Krokové motory hybridní

Krokové motory hybridní jsou kombinací reluktančních krokových motorů a krokových motorů s aktivním rotorem. Na rotoru se vyskytují axiálně uložené permanentní magnety a na obou koncích těchto magnetů jsou pólové nástavce (viz obr 2.1). [2]



Obrázek 2.1 – hybridní krokový motor konstrukce

Tento typ krokových motorů můžeme také rozdělit na bipolární a unipolární motory, (viz obr 2.2). Tyto dva typy se liší zejména tím, že u bipolárních krokových motorů, jsou vyvedeny pouze dva konce vinutí a u unipolárních jsou navíc vyvedeny středy vinutí. Díky tomuto je rozdílný princip řízení.



Obrázek 2.2–bipolární a unipolární uspořádání krokového motoru

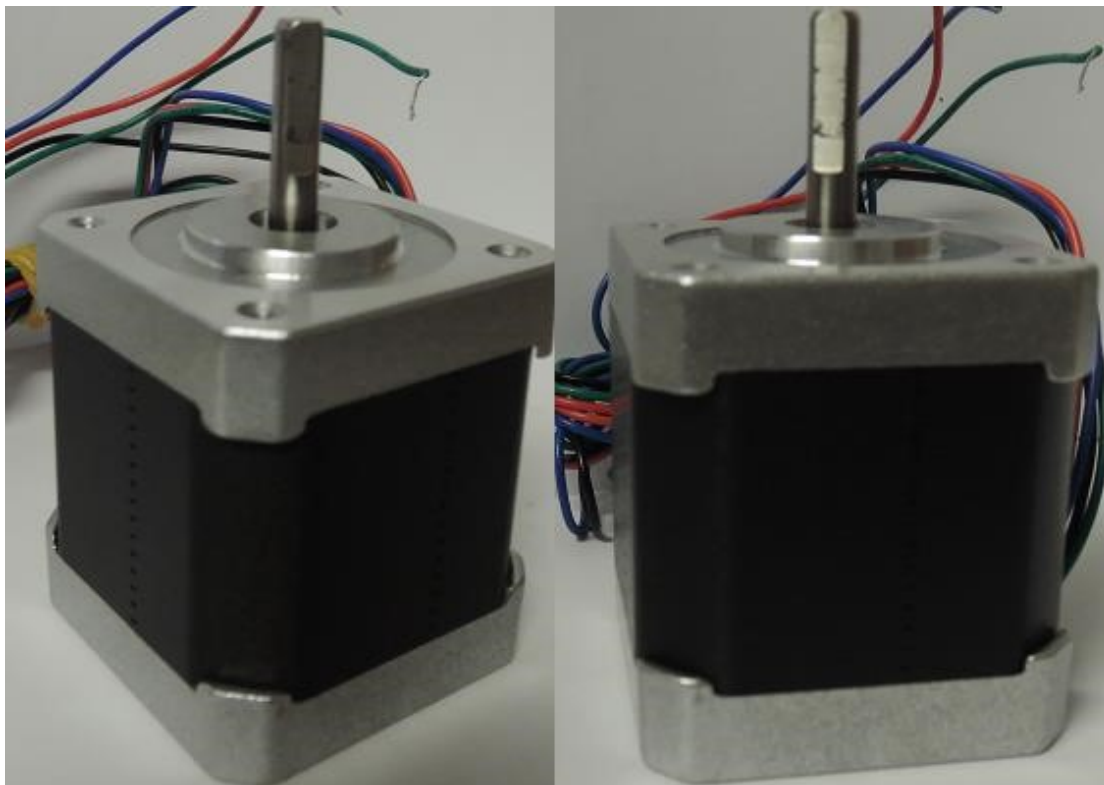
2.1.4 Krokové motory lineární

Lineární typ krokového motoru se pohybuje v lineárním směru po ploše statoru, který je rozvinut. Tyto motory se zatím vyskytují v malém měřítku, jejich nevýhodou může být, že k vinutí dochází na rotoru. Jelikož je rotor pohyblivou částí pohonu, k jejich fungování je potřeba pohyblivý přívodní vodič. Další nevýhodou může být i menší moment oproti ostatním typům. [2]

3 Inovační podnět pro automatizaci kalibrace nástrojů

3.1 Výběr aktuátoru a požadavky na něj kladené

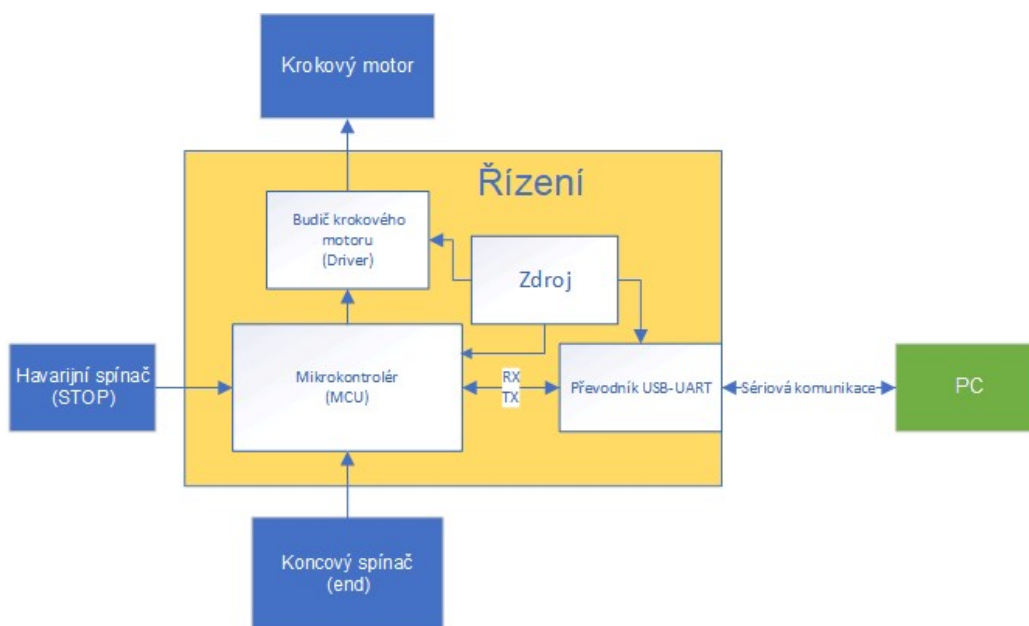
Hlavním požadavkem na aktuátor v této aplikaci je jeho dostatečná síla k posunutí řezného nástroje vůči vymezovacímu plastovému kroužku, který je na nástroji tak natěsno, aby nedocházelo k jeho samovolnému posuvu. Vyžadována je též přesnost při natočení či posunutí. Dalším požadavkem je i jednoduchost řízení, cena a v neposlední řadě i kompaktní rozměry. Těmto požadavkům nejlépe vyhovoval hybridní bipolární krokový motor, který je dnes masově vyráběn a používán například v 3D tiskárnách. Konkrétně se jedná o typ Nema 17 (viz obr 3.1), který disponuje přídržným momentem 0,52 Nm a délkou kroku 1.8 stupně. Alternativním řešením by bylo použití lineárního krokového motoru, který však nevyhovuje spotřebitelům z hlediska ceny.



Obrázek 3.1 - Krokový motor typu Nema 17

3.2 Blokové schéma kalibračního přístroje

Na základě požadavků zadání BP se toto zařízení bude skládat z několika součástí, v první řadě řízením, jehož základním kamenem je mikrokontroler. Mikrokontroler bude ovládat budič krokového motoru dle instrukcí přijatých skrze převodník USB-UART z PC, přičemž vše bude napájeno zdrojem napětí. Další podstatným komponentem je krokový motor, který bude akčním členem potřebným k samotnému nastavení. Zařízení bude obsahovat ještě dva koncové mechanické nebo optické snímače připojené k řídicímu obvodu. Jeden snímač se bude starat o koncovou výchozí polohu, od které budou odpočítány kroky pro nastavení nástroje. Druhý spínač slouží jako havarijný pro případ nepředpokládaného stavu, například pokud by při kalibraci samotného zařízení byl překročen maximální počet kroků a mělo dojít ke kolizi zařízení.

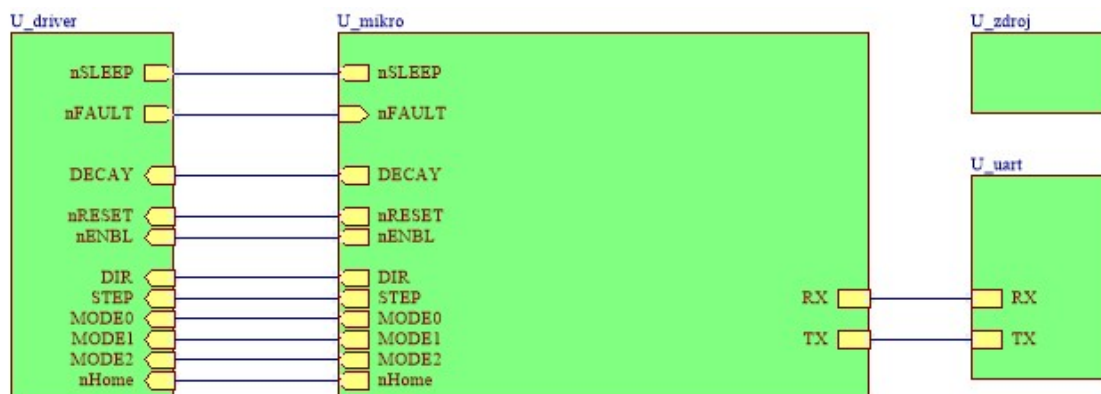


Obrázek 3.2 – blokové schéma zařízení

4 Návrh a realizace řídicí elektroniky

4.1 Návrh schémat jednotlivých bloků jednotky řízení

Všechna schémata a návrhy plošných spojů vznikaly v programu Altium Designer. S tímto programem jsem se blíže seznámil a naučil především díky předmětu Vývojové práce na projektech. Jedná se o uživatelsky příjemný program, který skýtá řadu zajímavých funkcí. Jednou z velmi užitečných funkcí, přínosnou především z hlediska přehlednosti, je rozdělení schématu do jednotlivých bloků (viz obr 4.1). Od verze programu 19.0.14 je dále také k dispozici databáze součástek, kde jsou dostupné ke stažení knihovny přímo od samého výrobce těchto součástek. Během vývoje byly vytvořeny dvě verze desky plošných spojů, proto tedy bylo nutné učinit odpovídající úpravy v schématech.



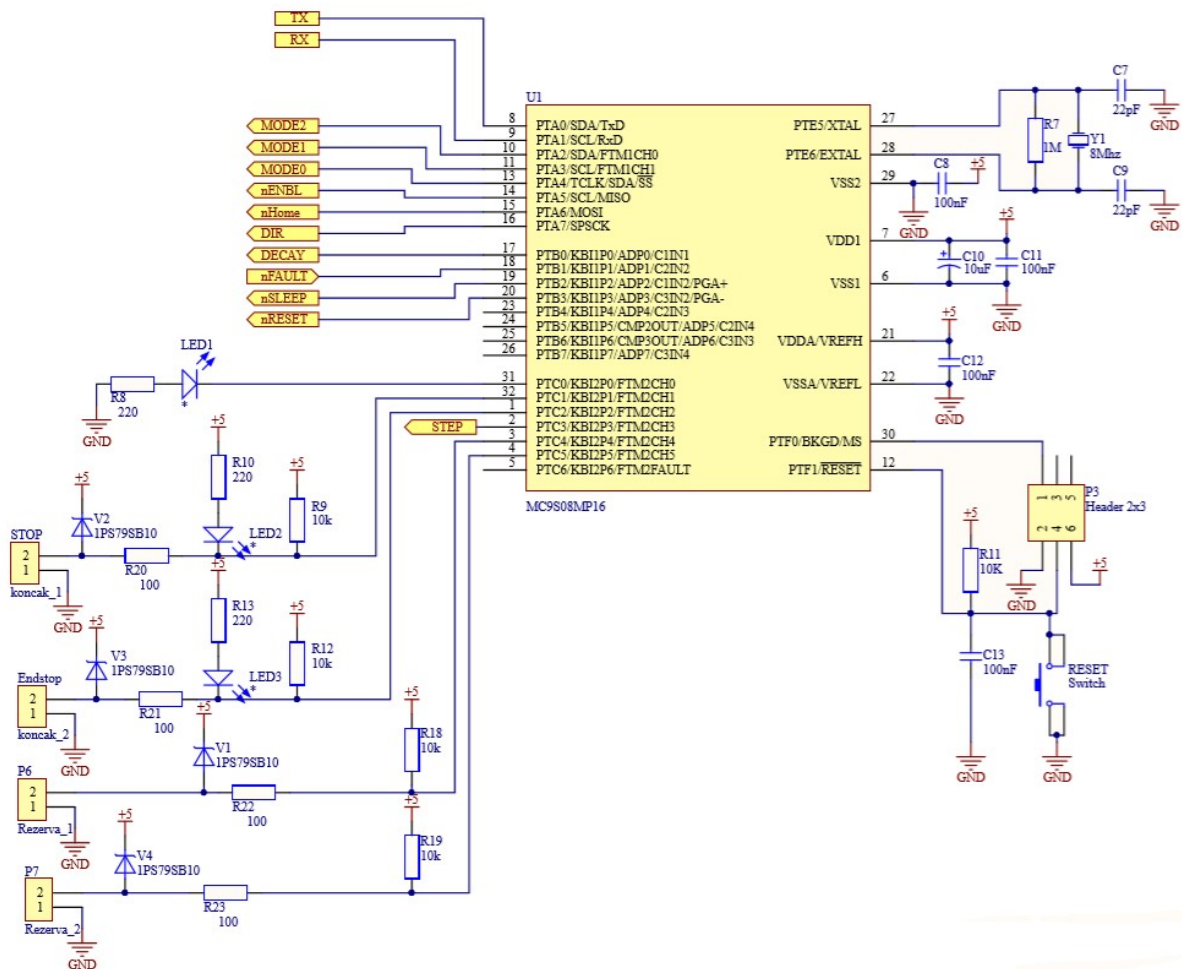
Obrázek 4.1-schéma zapojení jednotlivých bloků

4.1.1 Výběr mikrokontroleru a schéma jeho zapojení

Požadovanými parametry na mikrokontroler jsou možnost tvorby pulsně šířkového signálu, možnost sériové komunikace, přívětivé programovací prostředí a cena. Na základě těchto kritérií byl výběr zúžen na osmibitové mikrokontrolery, kterých je na trhu celá řada různých značek, např. Atmel, Microchip, ST microelectronics, NXP (dříve Freescale). S ohledem na předchozí zkušenosti byla vybrána právě poslední ze jmenovaných značek. Hlavním důvodem pro volbu mikrokontrolerů této značky bylo uživatelsky přívětivé programovací prostředí, jímž se vyznačují. Značka NXP poskytuje celou řadu osmibitových mikrokontrolerů, z nichž byl vybrán mikrokontroler s označením MC9S08MP16 v pouzdře 32-LQFP. Důvodem byla jeho skladová dostupnost na katedře.

Tento mikrokontroler vyhovuje všem požadavkům a má dostatečný počet vstupních a výstupních periférií. Disponuje 16 kB programové paměti a 1 kB paměti RAM. Schéma zapojení (obrázek 4.2) programovacího konektoru, reset tlačítka a všech blokovacích kondenzátorů odpovídá katalogovému listu k mikrokontroleru [3]. Pro taktování byl použit 8 MHz krystalový oscilátor (Y1) a pro napájení využito 5 V napětí. Z mikrokontroleru byl vyveden potřebný počet periférií pro ovládání budiče krokového motoru a dále pro sériovou komunikaci k USB-UART převodníku. Také byly vyvedeny čtyři periférie (konektory STOP, Endstop, P6 a P7) pro koncové mikrospínače, popřípadě stop tlačítko.

Periférie jsou spínány logickou nulou a na každé z těchto periférií jsou připojeny pull up rezistory a ochranné klampovací diody. Tyto klampovací diody se ve schématu první verze desky plošných spojů nenacházely. Jejich nepřítomnost při neopatrném zacházení následně způsobila celou řadu problémů. Na dvou ze zmíněných periférií byly připojeny led diody (LED2, LED3) k indikaci stavu. Další dioda (LED1) slouží k ověření správného průběhu funkcí mikrokontroleru, například taktovací frekvence. Toto schéma se v průběhu vývoje neustále měnilo, mimo jiné byly přidány vývody s konektory pro mikrospínače. K původním dvěma vývodům byly následně doplněny další dva, a sice pro hlavní stop tlačítko a také pro kontrolní spínač. Ten by kontroloval, zda je nástroj při procesu nastavování na svém místě tak, aby nedošlo ke kolizi. Základ schématu však nadále zůstává stejný.

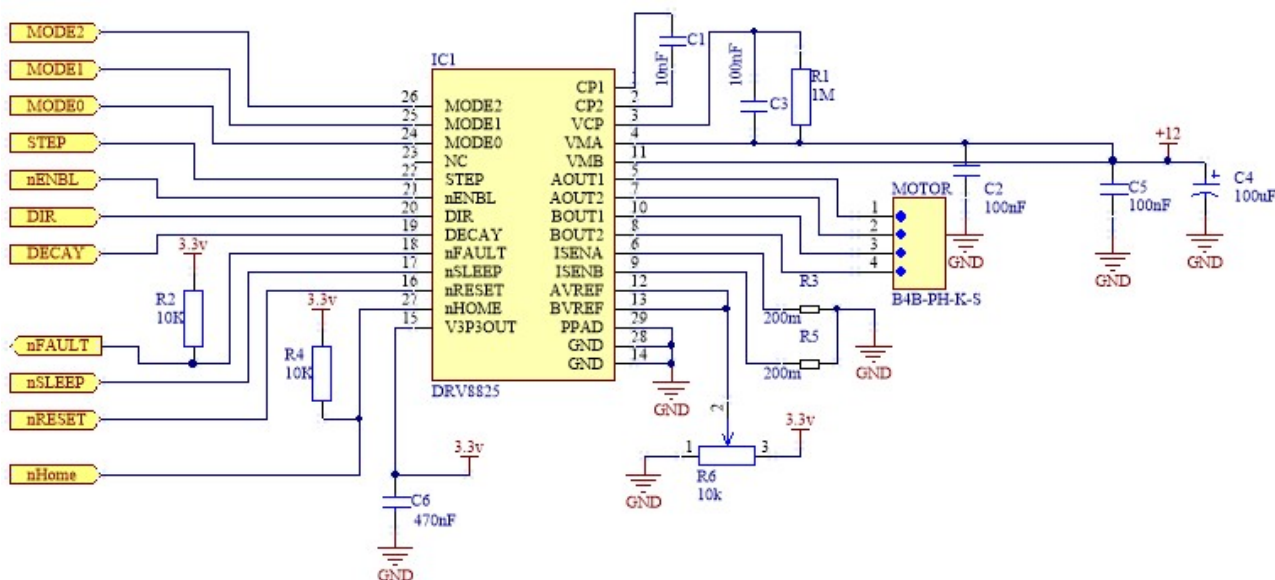


Obrázek 4.2 – Schéma zapojení mikrokontroléru

4.1.2 Výběr budiče krokového motoru a schéma jeho zapojení

K vývoji byl použit budič DRV8825 od firmy Texas instruments. Vybrán byl bez předchozí zkušenosti, avšak s důrazem na přijatelnou cenu, dostupnost a v neposlední řadě také pro jednodušší osazování než u konkurence. Na výběr byla celá řada levnějších či dražších alternativ, např. od firmy Allegro, nebo precizní budiče firmy Trinamic. Zvolený budič je určený pro bipolární krokové motory s rozsahem napájení 8,2 až 45 V. Disponuje interním zdrojem referenčního napětí 3,3 V, také nadproudovou ochranou a tepelnou pojistkou. Pokud tyto chyby nastanou, jsou indikovány na periférii nFAULT logickou nulou. Tento budič má celou řadu užitečných funkcí, jako je například mikrokrokování. Schéma zapojení (viz obr 4.3) i hodnoty blokovacích kondenzátorů a všech ostatních součástek vychází z katalogového listu [4]. Pozměněno bylo zapojení napěťového děliče, kterým se zajišťuje nastavení referenčního proudu, kde namísto děliče bylo využito trimru (R6) o hodnotě deset 10 K Ω . Dále jsou zde dva měřicí odpory (R3,R5) o hodnotě 200 m Ω . Připojeny byly všechny vstupní i výstupní periférie kromě NC, v tomto případě jsme

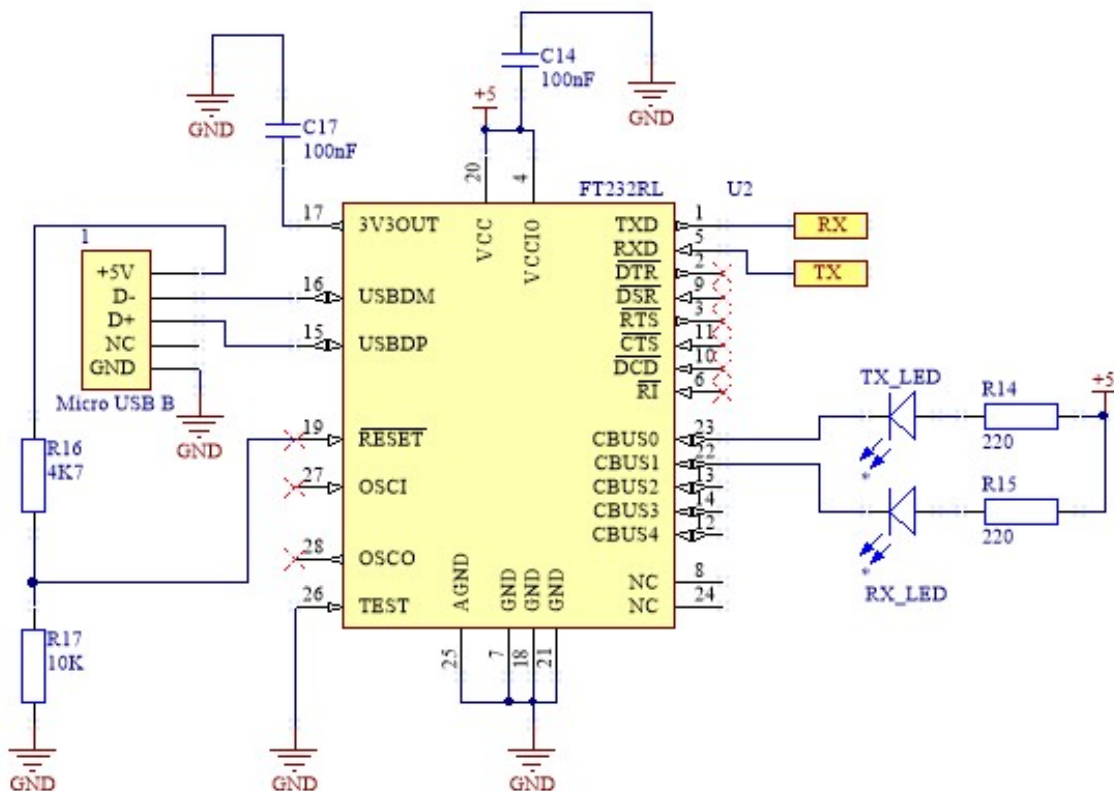
následovali pokynů v katalogovém listě. Pro samotnou funkci jsou však podstatné zejména periférie DIR pro určení směru a STEP, do kterého bude generována pulsně šířková modulace z mikrokontroleru. Neméně důležité jsou pak také periférie nRESET a nSLEEP, na které je třeba pro funkci přivést logickou jedničku. Mikrokování se nastavuje řadou tří periférií MODE. Počet mikro kroků je až 32 mikro kroků.



Obrázek 4.3 Schéma zapojení budiče krokového motoru

4.1.3 Výběr USB-UART převodníku a schéma jeho zapojení

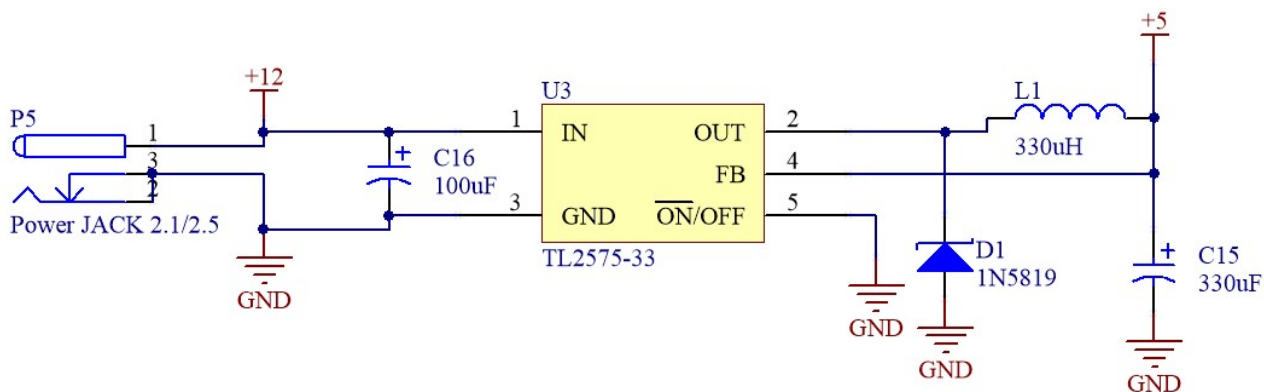
Další stěžejní částí celého obvodu je USB-UART převodník, jeho výběr byl opět usnadněn dostupností na skladě katedry a také v knihovnách programu Altium designer. Z tohoto důvodu byl vybrán převodník od firmy FTDI typ 232RL v pouzdře SSOP28. Zapojení převodníku bylo přebráno z katalogového listu, kde se nachází mnoho rozličných schémat zapojení [5]. Schémata se od sebe vzájemně liší způsobem napájení, u některých zapojení je možnost napájet je skrze USB, jak převodník, tak i ostatní obvody. V našem případě je však převodník zapojen pro napájení z vlastního zdroje (viz. obr 4.4). Dále zde byly přidány dvě led diody (RX_LED, TX_LED) pro indikaci stavu „příjem dat“ či „vysílání dat“. Připojení k PC je zajištěno skrze micro USB konektor.



Obrázek 4.4- schéma zapojení USB-UART převodníku

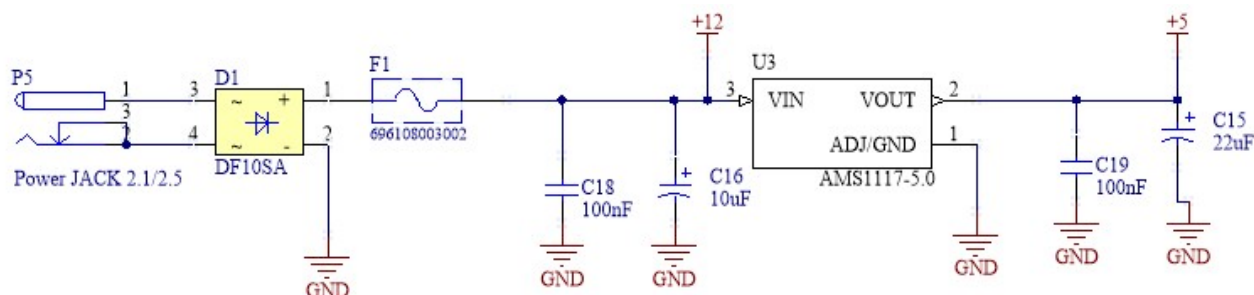
4.1.4 Výběr komponentů zdroje a schéma jeho zapojení

U zdroje musela být vyřešena problematika potřeby dvou napěťových hladin, a to 5V pro napájení mikrokontroléru a USB-UART převodníku, a 12V pro napájení budiče krokového motoru. Pro první verzi desky plošných spojů bylo využito STEP DOWN pulzního měniče pro snižování napětí na 5V, konkrétně obvod TL2575, kde byly převzaty všechny hodnoty součástek a schémata zapojení (viz obr 4.5) z katalogového listu [6].



Obrázek 4.5- schéma zapojení zdroje V 1.0

Tento zdroj 5 V napětí byl však zbytečně výkonově naddimenzován, proto byl ve schématu pro druhou verzi desky plošného spoje (viz obr 4.6) použit lineární stabilizátor napětí AMS1117-5. Tento stabilizátor je pro toto zapojení dostatečný z hlediska výstupního proudu, a dokonce s rezervou. Zapojení stabilizátoru vychází z katalogového listu [7], s tím rozdílem, že k vstupním a výstupním paralelně zapojeným polarizovaným kondenzátorům (C16,C15) byly, na doporučení vedoucího, přidány ještě dva, také paralelně zapojené, keramické kondenzátory (C18,C19) o hodnotě 100 nF. Dále bylo schéma oproti první verzi doplněno pojistkovým pouzdrům a byl také přidán usměrňovací můstek na vstup sloužící k ochraně proti přepólování. Celé toto zapojení je napájeno skrze power jack, do kterého bude připojen 12 V spínaný zdroj napětí.



Obrázek 4.6- schéma zapojení zdroje V 2.0

4.2 Návrh a realizace desky plošných spojů jednotky řízení

Jak už bylo řečeno, pro návrh bylo využito programu Altium designer, který obsahuje řadu užitečných funkcí i pro návrh desek plošných spojů. Například při rozvádění cest, kdy ostatní cesty uhýbají, umožňuje program natáhnutí cest, aniž by bylo nutné posunutí cest ostatních. Další přínosnou funkcí je 3D vizualizace, kterou lze efektivně využít k utvoření lepší představy při rozmisťování součástek. Nachází se zde i možnost vygenerovat tento 3D model a následně ho vložit do mechanického řešení, například krabičky, čehož bylo využito (viz kapitola 5.2). Všechny použité součástky jsou SMD (Surface mount device), až na konektory a RESET tlačítko, které jsou THT (Through-hole technology). Z použitých pasivních součástek bylo využito rezistorů a keramických kondenzátorů v pouzdře 0805, a to až na dva měřicí rezistory, které jsou v pouzdře 2512. Elektrolytické kondenzátory jsou o rozměru 6,3 mm a led diody v pouzdře 1206. Tabulka všech použitých součástek v příloze [A1].

4.2.1 První verze desky plošných spojů

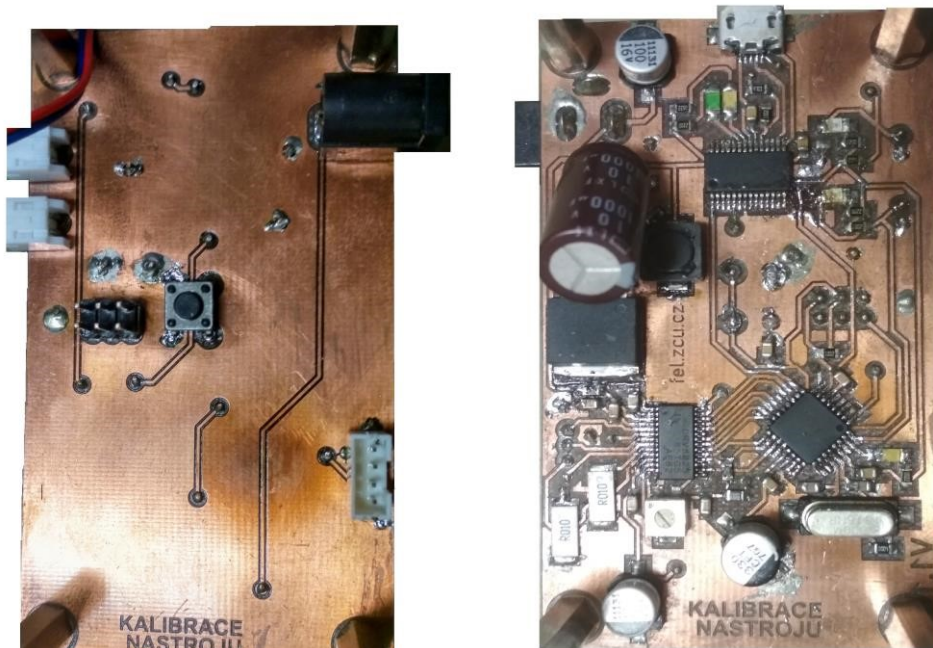
Ze schématu bylo třeba přejít do návrhu plošného spoje, ve kterém se objeví jednotlivé kontejnery (Rooms) součástek. Každý kontejner patří k jednomu schématickému celku. Poté bylo třeba stanovit technologická pravidla (Rules) pro mezery mezi cestami, pájecími body, nápisy a součástkami. Tyto hodnoty byly zvoleny s ohledem na technologii výroby desky plošného spoje, kterých je k dispozici celá řada, ať už se jedná leptání, vypalování laserem, anebo frézování. Právě naposledy jmenovaná technologie byla využita pro výrobu první verze desky plošných spojů. V našem případě jde o dvouvrstvou desku plošných spojů, kdy jsou z jedné strany rozmístěny všechny THT součástky a z druhé součástky SMD. Nejdříve bylo nutné vymezit plochu plošného spoje a určit rozměry. Bylo také potřeba zvolit polohu otvorů pro sloupky tak, aby při pozdějším umístění nedošlo ke kolizi s některou ze součástek.

Dále bylo třeba umístit konektory. Napájecí konektor, který přesahuje desku tak, aby mohl být následně proveden například skrze stěnu krabičky. Umístěn byl i konektor mikro USB. Poloha signálových konektorů byla zvolena u krajů desky plošných spojů, kvůli celkové přehlednosti a jednoduchému připojení. Poté začalo samotné rozmístování součástek, při kterém zásadně pomáhají virtuální kontejnery, o kterých již zde byla zmínka. Výhodou těchto kontejnerů, je jednoznačné přiřazení pull up rezistoru či blokovacích kondenzátorů k dané součástce či obvodu. Po rozmístění a natočení všech součástek dle potřeb, většinou o 90 stupňů, až na mikrokontroler, který byl natočen o 45 stupňů.

Následovalo rozvádění cest mezi jednotlivými součástkami. Dále bylo třeba rozlítí mědi z obou stran (funkcí polygon), která byla definována jako zem. Dalším krokem bylo umístění nápisu do měděné plochy a kontrola návrhových pravidel (DRC). Dále byly vygenerovány gerber a ncd drill soubory, určené pro výrobu desky plošných spojů na fréze. Vyrobenou desku plošného spoje bylo třeba očistit od měděných otřepů, které za sebou fréza zanechává. Následovala kontrola DPS na zjištění zkratů pomocí multimetru.

V dalším kroku byla DPS očištěna od všech nečistot za pomoci izopropylalkoholu. Dále bylo třeba DPS ošetřit proti oxidaci pájitelným lakem (FLUX).

Následovalo zapájení všech součástek nejdříve pasivní SMD a následně THT, a to včetně tenkých drátků, které jsou zde namísto galvanických prokovek. Po zapájení všech součástek (viz obr 4.7) bylo zařízení připojeno k laboratornímu zdroji.

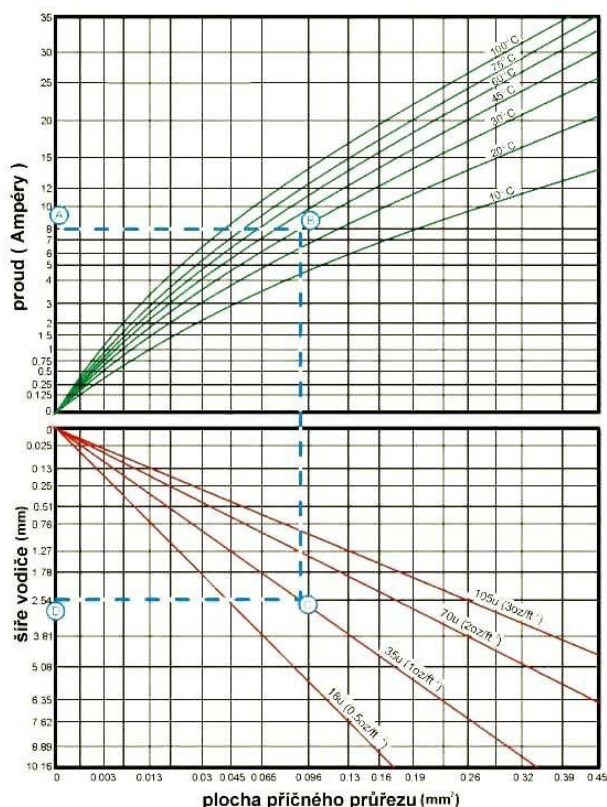


Obrázek 4.7 -Deska plošného spoje V1.0

Zařízení se jevílo v pořádku, v průběhu testování a ladění však došlo k elektrické destrukci mikrokontroléru, což přisuzují tomu, že nebyla dodržena některá pravidla pro rozvádění cest. Například zem byla pouze rozlita funkcí polygon a vznikly tak velké proudové smyčky. Na základě této skutečnosti bylo zapotřebí vytvořit návrh nové DPS, a tak vznikla DPS V 2.0.

4.2.2 Finální provedení desky plošných spojů V 2.0

Postup při návrhu druhé verze desky plošných spojů byl podobný. Zásadní rozdíl je v technologii výroby, kde na rozdíl od první verze, bylo využito profesionální prototypové výroby DPS, a tak musela být použita jiná technologická pravidla (Rules). Po počátečních problémech s verzí DPS V1.0 jsem byl vedoucím poučen o některých pravidlech, které byly u předchozí verze porušeny. Při rozmisťování součástek zde jsme dbali zejména na to, aby se blokovací kondenzátor nacházel co nejbližší k integrovaným obvodům, ke kterým patří. Šířka cest byla naddimenzována dle grafu na obrázku 4.8, kde je znázorněno oteplení v závislosti na protékajícím proudu a šířce cesty.



Obrázek 4.8 – Dimenzování cest DPS [8]

Při rozvádění cest bylo nejdříve rozvedeno napájení a zem, až poté byly natahány cesty mezi jednotlivými komponenty. Následovalo rozlité měděné plochy z obou stran pomocí funkce polygon. Měděná plocha byla definována jako zem, ale také slouží jako chlazení. Dalším krokem bylo rozmístění popisek součástek a změna jejich velikostí. Poté bylo vloženo mé logo a logo univerzity do měděných ploch i do nepájivé masky. Následovala kontrola návrhových pravidel (DRC). Díky 3D vizualizaci lze vidět předpokládaný výsledek (viz obrázek 4.9).

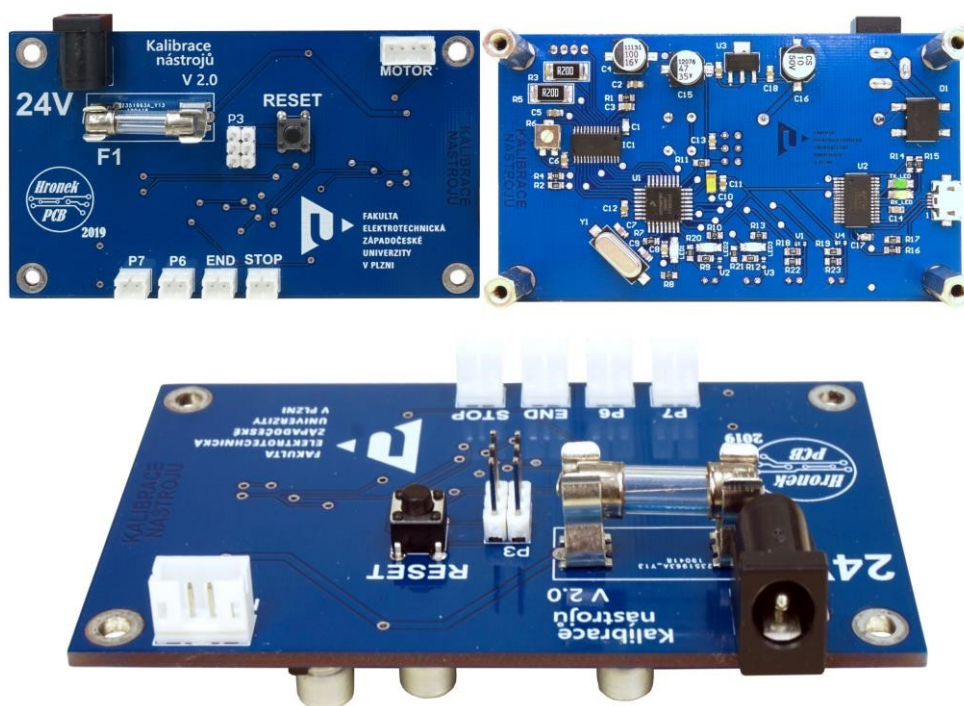


Obrázek 4.9 – 3D vizualizace deska plošného spoje V 2.0

Další fází bylo generování Gerber souborů pro měděné plochy i pro nepájivou masku a popisky s logy z obou stran. Byly také vygenerovány soubory pro vrtání nedrill. Tato data byla zabalena a nahrána na web výrobce, kde byl zvolen materiál DPS, a to konkrétně FR4, a také povrchová úprava pájecích ploch, u kterých bylo zvoleno pocínování. Barvou nepájivé masky byla zvolena modrá. Také zde byla možnost objednání laserem vypálené nerezové šablony, sloužící k nanášení pájecí pasty a následné pájení horkým vzduchem. Tuto možnost jsem nezvolil, zejména z důvodu omezenému počtu vyrobených desek. Byl zvolen čínský výrobce JLPCB, jehož výhodou je zejména nízká cena.

Hotové DPS byly vizuálně zkontrolovány a omyty izopropylalkoholem. A následovalo osazování jednotlivých součástek pomocí pájecí stanice mikrohrotem a pinzety. Nejprve byly osazeny všechny komponenty zdroje, poté byl obvod zdroje připojen na laboratorní zdroj napětí, kde byl nejprve změřen proudový odběr a poté výstupní napětí zdroje. Tím byla ověřena správná funkce zdroje.

Následně byly osazeny všechny pasivní součástky. Osazování dosti ulehčily popisky jednotlivých součástek na nepájivé masce. Na řadu přišly ostatní součástky, například budič krokového motoru, který má zespolu pouzdra zemnicí bod, kterým se tento integrovaný obvod zároveň chladí. Při osazování je zapotřebí použít horkovzdušnou pájecí stanici. Po osazení všech SMD součástek přišla řada na THT, tedy konektory, reset tlačítko a pojistkové pouzdro. Po osazení všech součástek (viz obrázek 4.10) bylo zkontrolováno, že není některá z větví napájení ve zkratu.



Obrázek 4.10 – Osazená deska plošného V2.0

Následovalo připojení k laboratornímu zdroji napětí. S omezením proudu dle multimetru vykazoval celý plošný spoj proudový odběr 50 mA, což je předpokládaná hodnota odebíraného proudu bez krokového motoru. Funkce mikrokontroleru byla ověřena připojením USBDM programátoru přes programovací konektor a nahráním jednoduchého programu do mikrokontroleru. Takovým programem může být například rozblikání led diody.

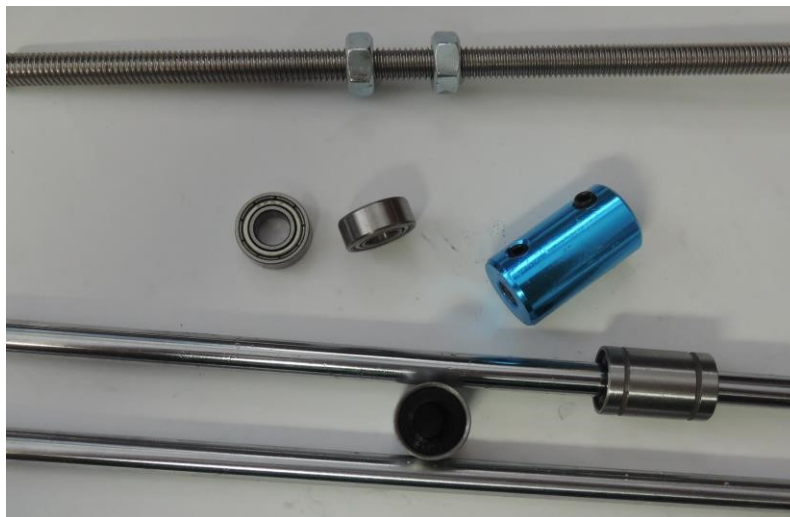
5 Návrh a realizace mechanické části

5.1 Výběr mechanických komponentů

Bylo nutné vyřešit několik úkolů: zvolit komponenty pro přesné vedení posuvací části v lineárním směru tak, aby nedocházelo k jejímu vychylování, dále vybrat pro posuv vhodnou závitovou tyč včetně ložisek. Dalším hledaným komponentem byla spojovací část mezi krokovým motorem a závitovou tyčí.

Při hledání lineárního vedení byla objevena celá řada možností, jak tento posuv zrealizovat, například lineární kolejnice využívaná ve strojních aplikacích, dále kuličková ložiska usazená v hliníkovém profilu. Nakonec však byly zvoleny lineární hlazené tyče, po kterých se pohybují lineární ložiska. Tento způsob vedení je hojně používán zejména u 3D tiskáren, také z toho důvodu jde o poměrně levné a dostupné řešení. K dispozici je celá řada průměrů, pro naši aplikaci však postačí 6 mm. Závitových tyčí je na trhu celá řada, ať už se jedná o metrický závit, nebo o trapézový s obyčejnou maticí či s kuličkovou maticí o různých průměrech. Z důvodu ceny byla zvolena závitová tyč z uhlíkové oceli o průměru 6 mm s metrickým hrubým závitem, stoupáním 1 mm a pevnostní třídou 4.8. Tato však vykazovala velké nepřesnosti a jevila známky pokřivení již z výroby. Proto byla nahrazena závitovou tyčí z nerezů o stejném průměru a stoupání, u které se již tyto problémy nevyskytovaly.

Dalším komponentem je spojka mezi motorem a závitovou tyčí, kde byla volba pro výběr jednodušší. Pro daný účel lze nalézt na internetových obchodech pouze několik vhodných typů spojek, byla tedy zvolena hliníková spojka. Podstatným komponentem pro dosažení přesnosti posuvu jsou ložiska, která zajišťují, aby vlivem tlaku nedocházelo k vychýlení rotoru krokového motoru ve vertikálním směru. Tato ložiska také zabezpečují hladký chod rotačního pohybu. Byla zvolena kuličková ložiska s označením 686 krytá z obou stran s vnitřním průměrem 6 mm a vnějším 13 mm. Tabulka obsahující použitý materiál je uvedena v příloze [A2].



Obrázek 5.1 – Mechanické komponenty

5.2 Návrh 3D modelu

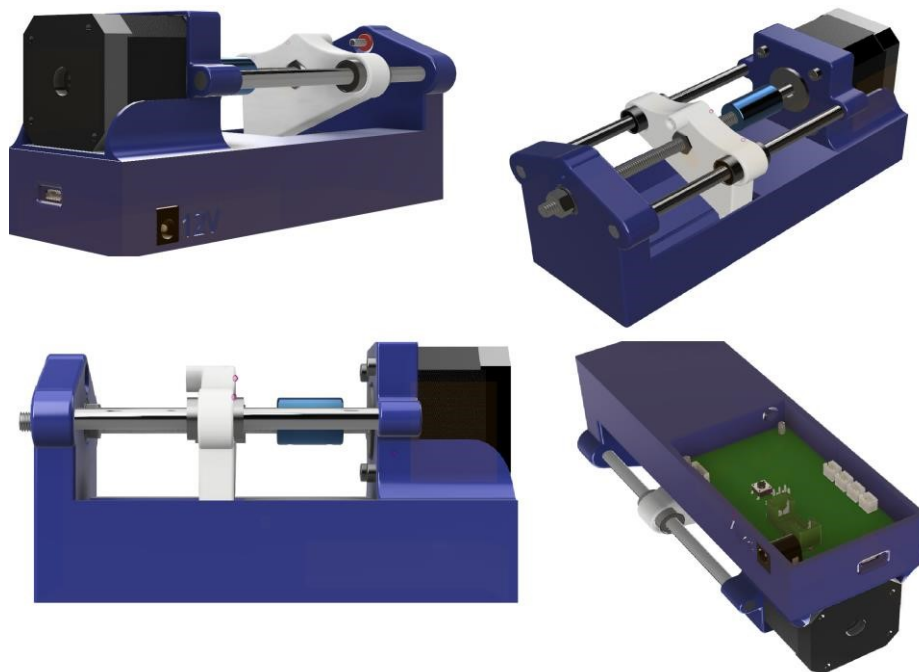
K vytvoření návrhu 3D modelu bylo využito programu Fusion 360 od firmy Autodesk. Jedná se o uživatelsky přívětivé prostředí, které obsahuje řadu zajímavých funkcí, například databázi konstrukčních běžně používaných dílů. Lze zde realizovat i řadu různých simulací, animací a vizualizací. Existuje zde také možnost jednoduše vygenerovat technickou dokumentaci. Velkým benefitem je automatické ukládání na Cloud, což zabraňuje ztrátě práce, například poškozením disku. Díky této funkci lze své práce i jednoduše sdílet s ostatními konstruktéry.

Při návrhu byly nejdříve přidány či nakresleny všechny vybrané mechanické komponenty a také krokový motor, koncové mikrospínače a vygenerovaný 3D model DPS. Celé zařízení se skládá ze dvou hlavních částí. Jedné stacionární a druhé pohyblivé. Funkcí pohyblivé části je tlačit na frézovací nástroj. Jako první byl navržen základ stacionární části. Podle modelu motoru bylo vymodelováno jeho uchycení tak, že je uchycen čtyřmi šrouby o průměru 3 mm. Tyto byly vygenerovány z databáze šroubů. Díry pro tyto šrouby jsou vytvořeny o průměru 3,2 mm tak, aby při sestavování nebyl problém s osazením motoru. Pokračováním v návrhu konstrukce bylo osazení a uchycení hlazených vodících tyčí, sloužících k lineárnímu vedení. Pod motorem byl vytvořen prostor pro DPS. Díky tomuto řešení je přívod k motoru zakryt a nehrozí jeho mechanické poškození a není narušena designová linie.

Obdobným způsobem bylo zvoleno umístění koncového mikrospínače, který je umístěn z čela pod motorem, a tak je jednoduše připojitelný. V dalším kroku byla umístěna již vymodelovaná spojka se závitovou tyčí na hřídel motoru a také hlazené vodící tyče. To

umožnilo dokreslení pohyblivé části, na které bylo vytvořeno uložení pro lineární ložiska a také pro dvě M6 matice, které budou vymezovat vůle na závitové tyči. Dále bylo vytvořeno sedlo, o které se tlačný nástroj bude opírat a které bude mít zaoblení takové, že v případě špatně osazeného nástroje dojde ke sklouznutí po této ostré hraně a dosednutí na rovnou plochu (sedlo). Ve spodní části bylo nakresleno usazení pro šroub 3 mm, který dosedá na koncový mikrospínač. Tímto šroubem lze toto zařízení manuálně kalibrovat či jemně doladit softwarové kalibrování.

V dalším kroku již bylo možné dokreslit stacionární část. Zde bylo nejprve vytvořeno čelo pro uložení vodících tyčí a dutina pro umístění nastavovaného nástroje. Do tohoto čela byla zasazena dvě ložiska tak, aby nedocházelo k zatlačování rotoru do statoru motoru při nastavování. Poslední úpravou, vytvořenou na doporučení vedoucího práce, bylo přidání havarijního koncového spínače naproti koncovému spínači. Dále přišlo na řadu zaoblení a zakulacení některých z ostrých hran. V posledním kroku bylo třeba umístit všechny komponenty této sestavy a vytvořit mezi nimi vazby. Z důvodu následné výroby pomocí 3D tisku nebyla provedena simulace působící síly (mechanického napětí) na sedlo pohyblivé části. Technická dokumentace s základními rozměry se nachází v přílohové části práce[B1].



Obrázek 5.2 – Model kalibračního zařízení

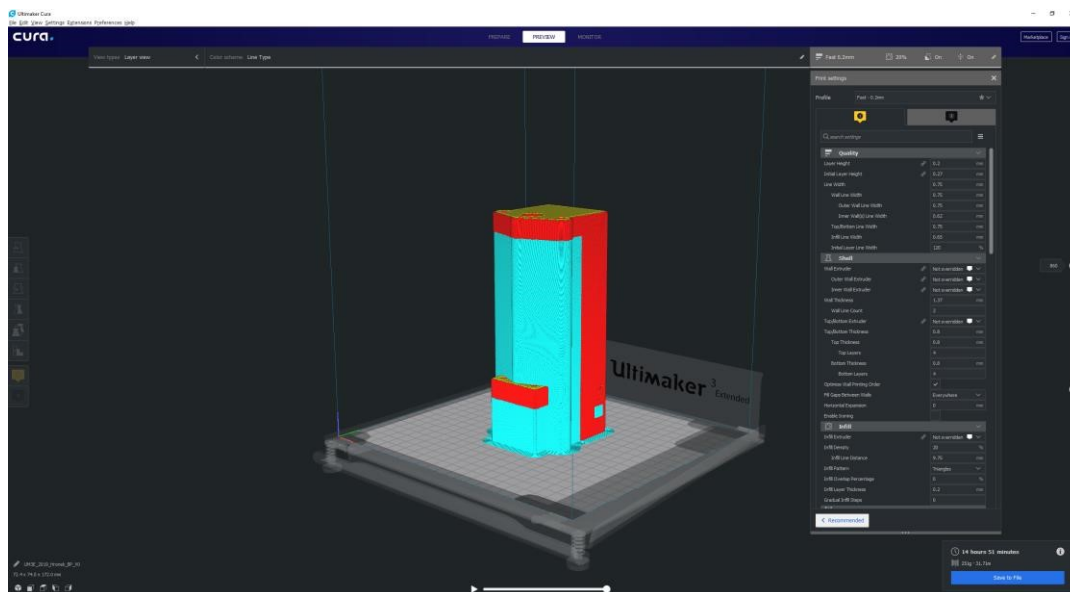
5.3 Tisk 3D tištěných dílů

Pro výrobu mechanických součástí, to znamená stacionární části a pohyblivé části, byl zvolen 3D tisk. Technologií 3D tisku je celá řada. Nemusí se vždy nutně jednat jen o tisk plastových dílů. V současnosti se již vyskytují technologie i pro tisk kovových součástek, tyto technologie jsou ale zatím cenově hůře dostupné. Mezi nejrozšířenější technologie patří FDM (Fused Deposition Modeling) a SLA (Stereolithography Apparatus). Technologie FDM je založená na vrstvení roztavené plastové struny (Filamentu) v osách x y z na sebe.

K dispozici je celá řada materiálů, od nejčastěji používaného PLA (polylactic acid), materiálu lehce mechanicky opracovatelného a také ze kterého je tisk snazší i při nižších teplotách. Z toho však vyplývá jeho nízká odolnost při následném tepelném namáhání. Dalšími používanými materiály jsou například ABS (Acrylonitrile butadiene styrene) či PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol). Tyto materiály snesou vyšší tepelné namáhání, ale hůře se tisknou. Výše zmíněná technologie SLA je založena také na vrstvení, materiálem však není plastová struna, ale fotocitlivá pryskyřice, která je vytvrzována UV světlem generovaným laserem. Tento typ tiskáren disponuje pouze osou x. Uvedená technologie je vhodná pro malé detailní modely [9].

Z důvodu ceny výroby, dostupnosti na katedře, a i osobního vlastnictví 3D tiskárny, byla použita technologie FDM. Postup při tisku byl následující: nejprve bylo třeba vyexportovat model z návrhového prostředí do formátu STL a tento vygenerovaný soubor byl následně vložen do Sliceru (program, který rozřeže model na jednotlivé vrstvy a na základě toho generuje Gcode). V tomto programu je možné nastavit řadu parametrů, jako například výšku vrstvy, sílu stěn, vnitřní výplň (infill) a tiskové teploty. Z tohoto nastavení se pak vytvoří Gcode, kterým je ovládána 3D tiskárna. Nejprve byla na tiskárně Ultimaker 3 s tryskou 0,8 mm vytisknuta stacionární část. Byl použit slicer Cura (viz obrázek 5.3), který je dodáván k tiskárně. V tomto sliceru byla nastavena výška vrstvy 0,2 mm, síla stěn 1,37 mm s výplní 90 %. Při tisku bylo využito podpěr (viz obrázek 5.3 modrá místa), aby tiskárna netiskla do vzduchu. Model byl při tisku umístěn na výšku a tisková podložka byla ošetřena 3D lakem, který zabezpečuje lepší adhezi výtisku. Pro tisk bylo využito materiálu PLA od firmy Verbatim. Doba tisku byla přibližně 14 h 50 min, což je vzhledem k velikosti výtisku krátká doba. To je způsobeno použitím trysky 0,8 mm namísto standardně používané 0,4 mm. Na celý výtisk bylo včetně podpěr spotřebováno 251 g materiálu. Pohyblivá část byla vytisknuta již značně modifikovanou tiskárnou Tevo Tarnatula s tryskou 0,4 mm a bylo využito stejného sliceru s nastavením výšky vrstvy 0,1

mm, silou stěn 1,6 mm a vnitřní výplní 25 %. Při tisku této části nebylo třeba žádných podpěr. Pro tisk bylo využito materiálu PLA od firmy Devil design a bylo spotřebováno 17 g materiálu a tisk trval zhruba čtyři hodiny.



Obrázek 5.3 – slicer

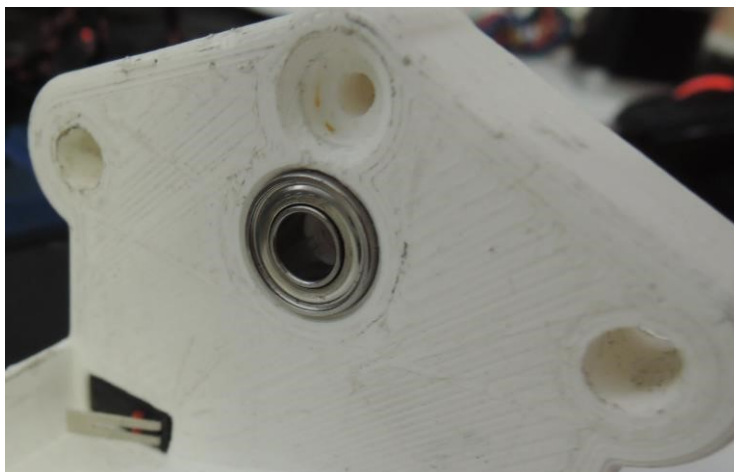
5.4 Sestavení

Před samotným sestavením zařízení bylo třeba odstranit podpěry z 3D tištěného dílu stacionární části. V dalším kroku byly 3D tištěné díly očištěny od ořepů pomocí jehlového pilníku a smirkového papíru. Poté přišla řada na přivedení vodiče k havarijnímu mikrospínači a samotnému umístění mikrospínače. Zde se ukázala chyba v návrhu modelu v podobě úzké cesty pro vodič, a tak byla jeho instalace složitější. Spínač byl na svou pozici zafixován pomocí tavného lepidla. Uchycení sloupků, na kterých je přišroubována DPS, bylo vyřešeno mosaznými závitovými vložkami se závitem o průměru 3 mm (viz obr 5.4). Tyto vložky byly osazeny tak, že pájecí stanice byly nahřáty a vtlačeny do otvorů, které k tomu byly rozměrově uzpůsobeny. Stejným způsobem bylo vyřešeno uchycení koncového mikrospínače.



Obrázek 5.4 - Mosazná závitová vložka

Do stacionární části byly také nalisovány dvě kuličková ložiska, zamezující pohybu závitové tyče a zatlačování rotoru krokového motoru lineárním směrem i zabezpečují hladký otáčivý pohyb (viz obr 5.5).



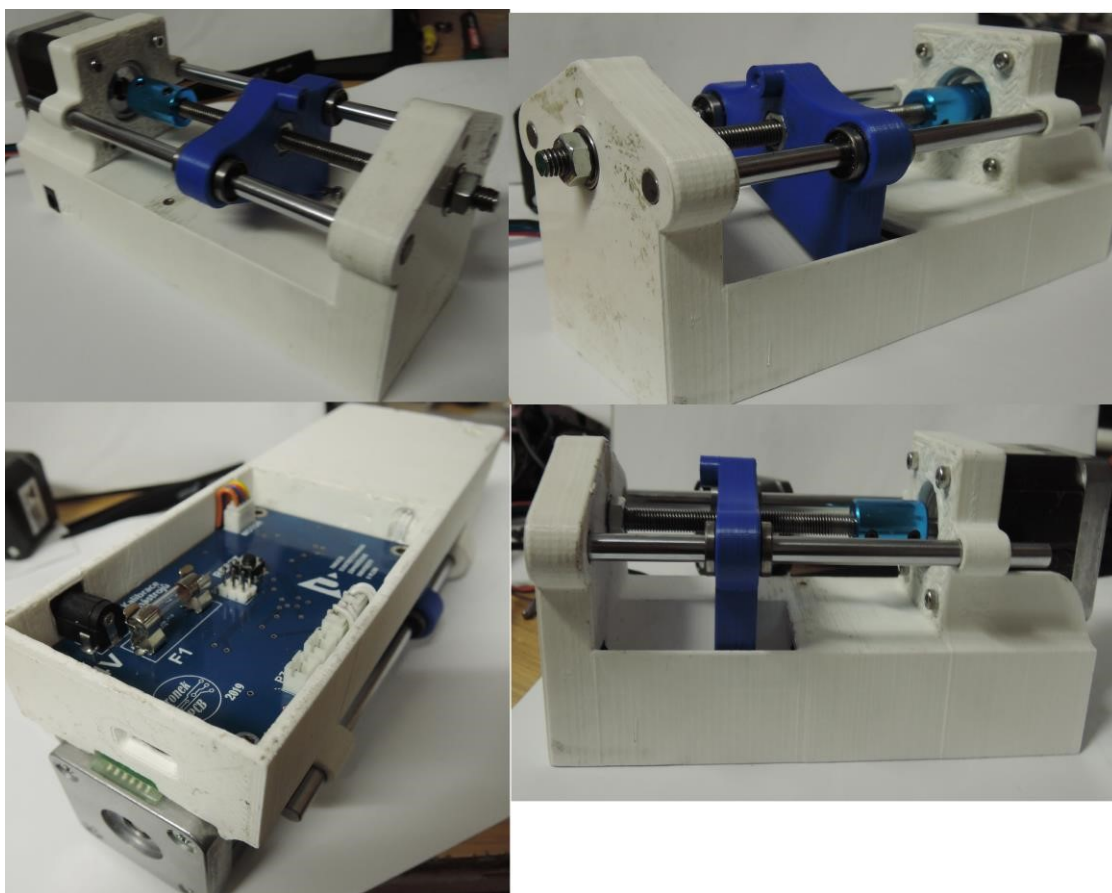
Obrázek 5.5 – nalisované kuličkové ložisko do stacionární části

Taktéž do pohyblivé části byla nalisována dvě lineární ložiska i dvě matice M6, které zajišťují vymezený vůle. Toto řešení se ukázalo jako správné, závitová tyč nevykazuje téměř žádnou vůli (viz obr 5.6).



Obrázek 5.6 – Nalisovaná lineární ložiska do pohyblivé části

Dále byl do stacionární části vložen a přišroubován krokový motor, na jehož hřídel byla umístěna spojka, která spojuje tuto hřídel se závitovou tyčí. Následovalo umístění pohyblivé části a prostrčení vodících hlazených tyčí skrze lineární ložiska a jejich uchycení. Umisťování jednotlivých komponent se neobešlo bez úprav pomocí jehlových pilníků. Na závěr byly připájeny a připojeny všechny vodiče k DPS, která byla umístěna na své místo. Oba mikrospínače byly zapojeny jako rozpínací tak, aby v případě přerušení vodiče nedošlo ke kolizi.



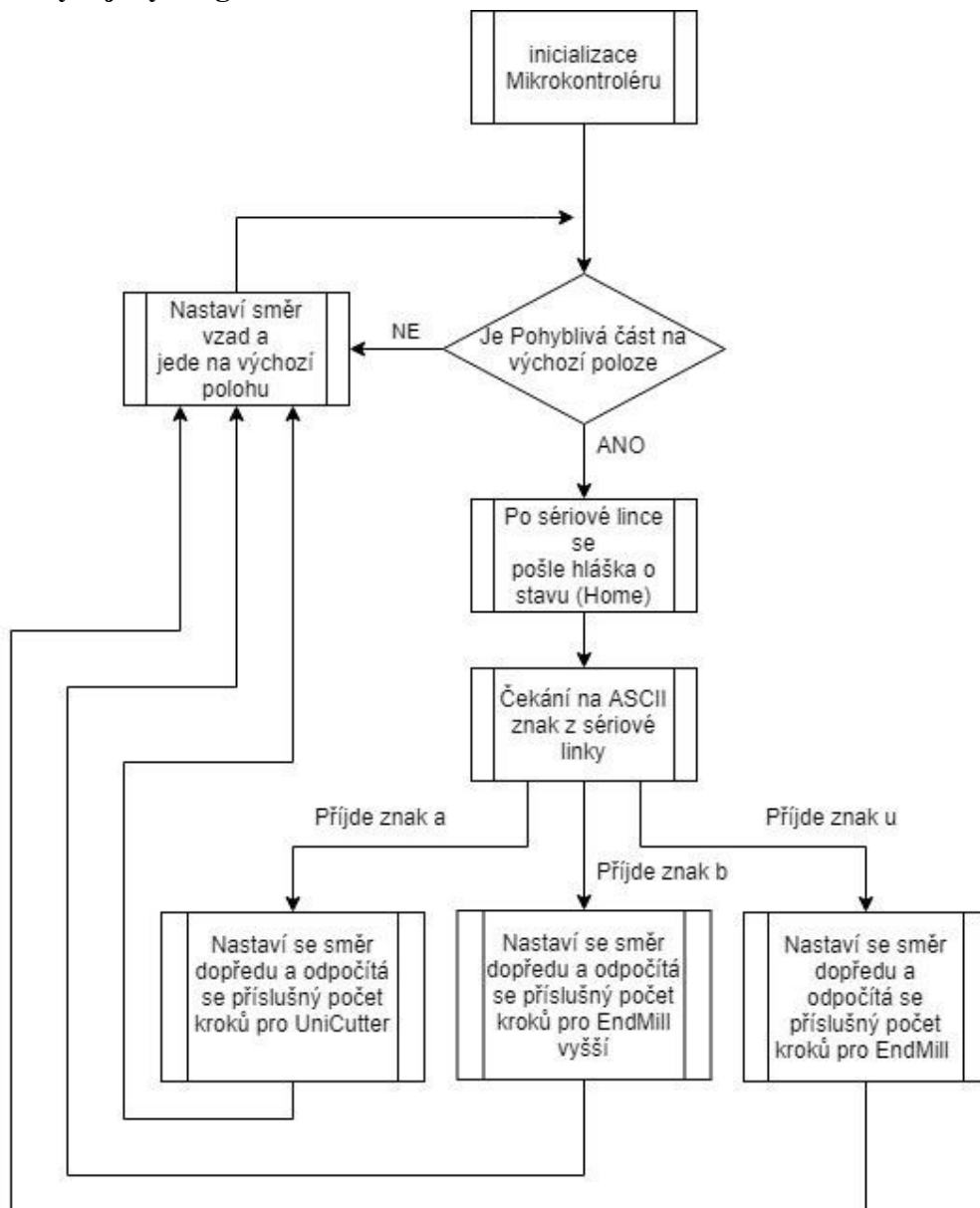
Obrázek 5.5 – reálně sestavený přípravek

6 Programové řešení

Pro funkci samotného zařízení a jeho ovládání bylo třeba vytvořit programy pro mikrokontroler a program pro jeho ovládání skrze PC. Program pro mikrokontroler byl napsán v jazyce C a program pro PC v jazyce C#.

6.1 Program pro mikrokontrolér

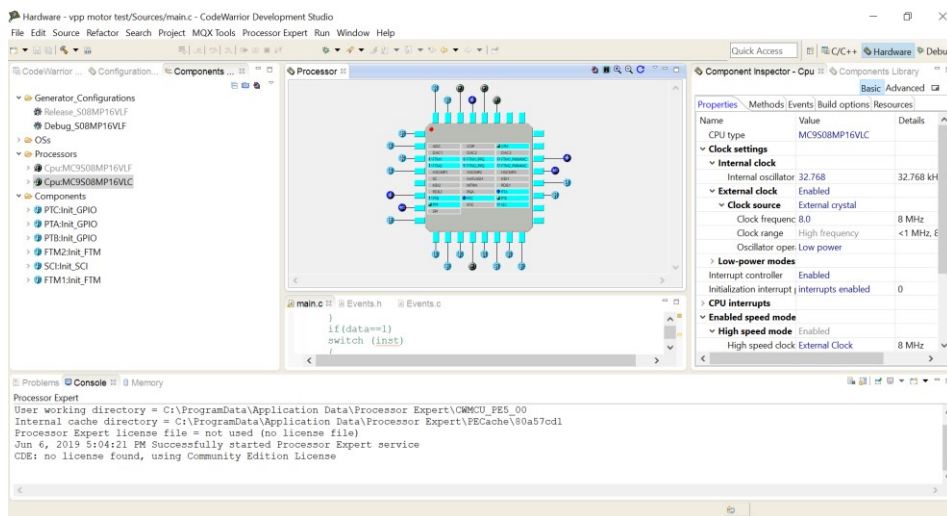
6.1.1 Vývojový diagram



Obrázek 6.1 – Vývojový diagram programu pro mikrokontrolér

6.1.2 Program C

K vývoji programu pro mikrokontrolér bylo využito prostředí CodeWarrior, které je dodáváno k mikrokontrolerům firmy NXP. Jedná se o uživatelsky přívětivé prostředí, které obsahuje celou řadu zajímavých a užitečných funkcí. Mezi tyto zajímavé funkce patří například Processor Expert (viz obr. 6.2), pomocí kterého se snadno nastavuje a inicializuje mikrokontrolér. Jedná se například o jednoduché nastavení vstupů, výstupů, taktování, časovače, čítače, sériové komunikace nebo AD převodníku. Další užitečnou funkcí je Debugger, který se využívá při ladění programu a vyhledávání chyb v programu i hardwaru. Díky této funkci lze program pozastavit a vyčíst proměnné z mikrokontroléru. Jde také program krokovat a přerušovat v potřebném místě. [10]



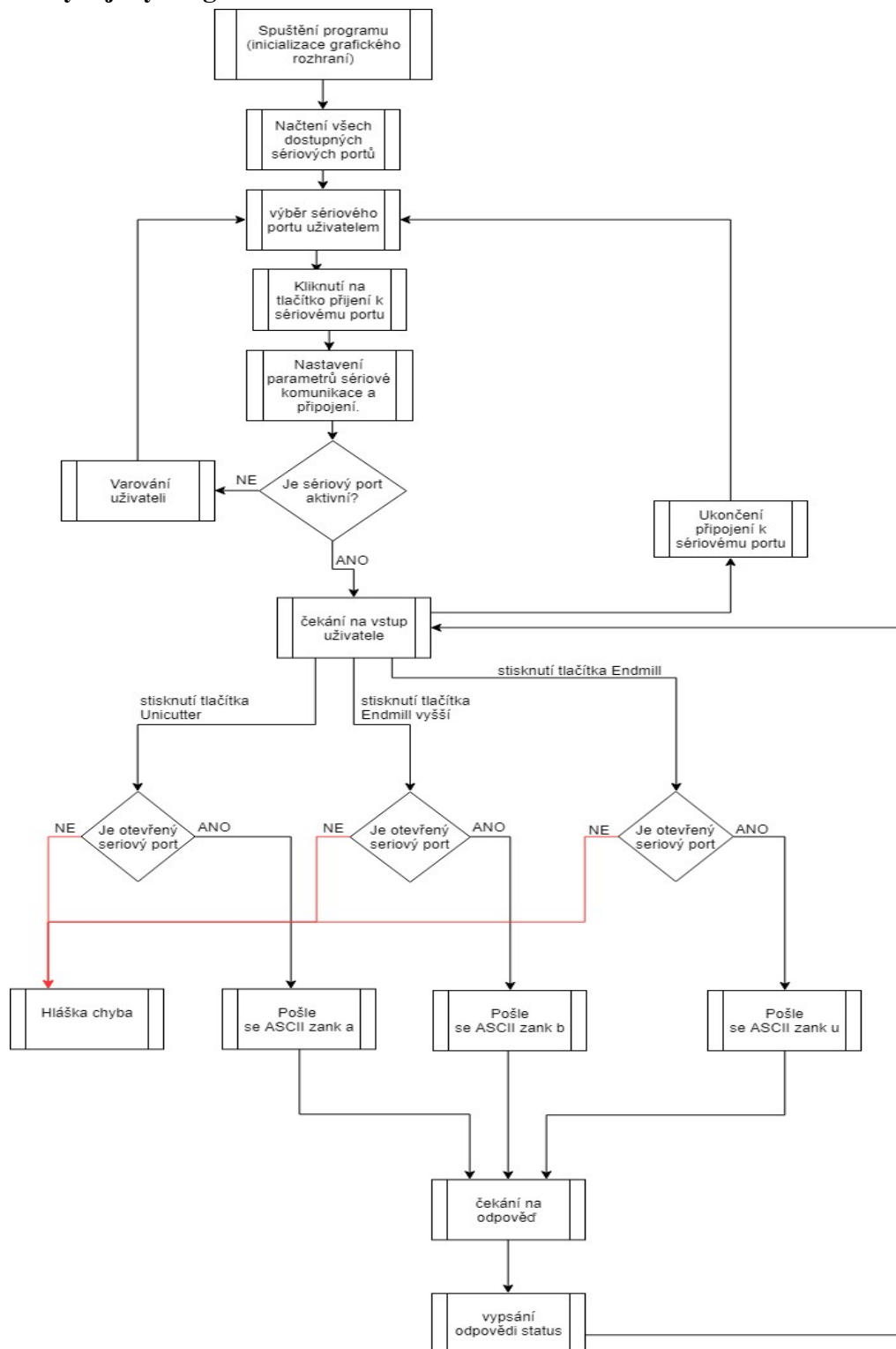
Obrázek 6.2 – Náhled Processor Expert v programu CodeWarrior

Funkce programu

Funkce tohoto programu je založena na přijímání ASCII (American Standard Code for Information Interchange) znaků skrze sériovou linku. Nejprve je však zkontrolováno, zda je pohyblivá část ve výchozí poloze, pokud ne, posouvá se pohyblivá část na výchozí polohu a děje se tak dokud není sepnut mikropřínač. V případě, že se pohyblivá část nachází ve výchozí poloze, jsou přijaté ASCII znaky vyhodnoceny. Vzápětí je dle nich nastaven příslušný počet kroků, které ve skutečnosti představují počet pulzů PWM. Tyto PWM pulzy jsou generovány mikrokontrolérem. Po vykonání příslušného počtu kroků se v programu nastaví opačný směr otáčení a pohyblivá část se vrací zpět na výchozí polohu. Při dojezdu na výchozí polohu je skrze sériovou linku poslána zpráva (HOME), složená také z ASCII znaku.

6.2 Program pro PC

6.2.1 Vývojový diagram



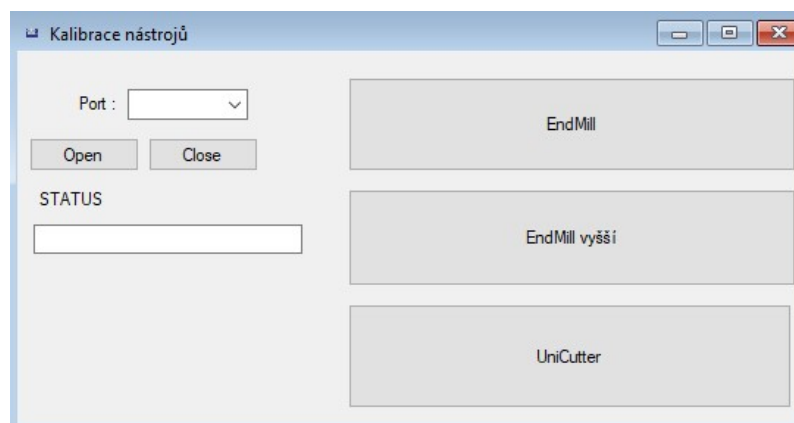
Obrázek 6.3 – Vývojový diagram programu pro PC

6.2.2 Program C#

K vývoji ovládacího programu pro PC bylo využito programovacího prostředí Visual studio, kde byla vytvořena aplikace typu Windows Forms (NET.Framework). Zajímavostí tohoto prostředí při tvorbě C# aplikací je postup, kdy je nejprve tvořen takzvaný frontend, grafický náhled programu, ve kterém jsou umístěny tlačítka rozbalovací roletky atd. Na základě tohoto uspořádání je generován kód pro rozmístění komponenty, jako například tlačítka, které lze rozkliknout a poté začít psát zdrojový kód do jejich těla.

Funkce Programu

Hlavní funkce tohoto programu je posílání ASCII znaků, které ovládají program v mikrokontroléru. Do programu je po sériové lince také posílána indikace stavu zařízení (STATUS). Pro funkčnost programu je nejprve nutné vybrat Comport, na kterém je zařízení připojeno. Do chvíle než je Comport vybrán, nelze kliknout na žádné tlačítko. V opačném případě lze zvolit tlačítko Open, které otevře Comport, a zároveň je interně v programu nastaven baud rate (Přenosová rychlost). Po zvolení a otevření Comportu jsou zaktivněna tlačítka, a pokud je připojený přípravek ve výchozí pozici, je do okénka STATUS vypsáno HOME. Tento indikátor stavu je přijat z mikrokontroléru. V ten moment lze stisknout tlačítko (EndMill, EndMill vyšší, UniCutter) pro nastavení některého z nástrojů, který zašle nějaký z ASCII znaků po sériové lince. Po stisknutí následuje zaslání tohoto znaku, a dokud se zařízení nedostane zpět na výchozí polohu, v okénku STATUS je vypsáno Nastavuji. Po vrácení přípravku na výchozí polohu je pak opět vypsáno HOME. Náhled vizualizace programu (viz.obr 6.4).



Obrázek 6.4 – Náhled vizualizace programu

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a zkonstruovat automatizovaný přípravek, schopný nastavit (kalibrovat) hloubku frézovacích nástrojů. Pro posuv byla zvolena metoda využívající závitové tyče a krokového motoru, kdy se rotační pohyb převádí na pohyb v lineárním směru. V praktické části byly navrženy a vyrobeny dvě verze DPS, jednotky řízení celého zařízení, na které byl osazen mikrokontrolér od firmy NXP a budič krokových motorů od firmy Texas Instruments. Sériovou komunikaci zabezpečuje integrovaný obvod od firmy FTDI. Postup vývoje navrhování a výroby je popsán v kapitole 4. Dále byly vybrány mechanické součásti, od kterých se následně odvíjel celý návrh. Při realizaci bylo použito technologie 3D tisku, to je popsáno v kapitole 5. Dále byl vyvinut program v jazyce C pro mikrokontrolér, který je funkční, nicméně vyžaduje ještě úpravy. Jeho funkce a stručný popis je uveden v podkapitole 6.1. Byl také vytvořen program pro ovládání celého zařízení v programu C#. Popisem programu se zabýváme v podkapitole 6.2. Do budoucna by však bylo praktičtější vytvořit program například v jazyce Java, aby bylo možné přípravek ovládat ze zařízení založených na jiných platformách než je Windows, například Mac os nebo Linux. Všechny komponenty byly složeny do funkčního celku. Bylo také ověřeno, že zařízení disponuje dostatečnou silou pro posuv nástroje v kroužku. Kalibrace samotného kalibračního přípravku zatím probíhá skrze software mikrokontroléru, do budoucna by však bylo zajímavé kalibraci vyřešit prostřednictvím ovládacího programu. Následkem čehož by byl přípravek uživatelsky přívětivější. Zařízení prošlo základní kalibrací, ale zatím nebyla ověřena jeho přesnost. Nabízí se zde možnost dalšího vývoje kalibračního přípravku.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ProtoMat [online]. In: . [cit. 2019-06-12]. Dostupné z: http://www.lpkfusa.com/downloads/support/docs/man_s_qs.pdf
- [2] CIBULKA, Ing. Jiří. Elektrické Pohony KEV/EP folie k přednáškám [online]. 2019. [cit. 2019-06-12]. Dostupné z: <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kev/ep/studijni-materialy.html>
- [3] MC9S08MP16 Reference Manual [online]. 09.2009 [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <https://www.nxp.com/docs/en/reference-manual/MC9S08MP16RM.pdf>
- [4] DRV8825 Stepper Motor Controller IC Datasheet [online]. 07.2014 [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf>
- [5] FT232R USB UART IC Datasheet Version 2.15 [online]. 4.4.2019 [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: https://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf
- [6] TL2575, TL2575HV 1-A Simple Step-Down Switching Voltage Regulators Datasheet [online]. 11.2014 [cit. 2019-06-08]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl2575-05.pdf>
- [7] AMS1117 1A LOW DROPOUT VOLTAGE REGULATOR Datsheet [online]. [cit. 2019-06-08]. Dostupné z: <http://www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf>
- [8] Proudová zatížitelnost vodiče [online]. In: . [cit. 2019-06-08]. Dostupné z: http://pragoboard.cz/images/graf_spoj.jpg
- [9] GRIESER, Franz. 3D Printing Technologies Compared [online]. 18.9.2018 [cit. 2019-06-07]. Dostupné z: <https://all3dp.com/fdm-vs-sla/>
- [10] Vojáček A.: Program běžícího textu pro MCU MC9S08LC60 [online]. Poslední změna 22. 10. 2007, [cit. 06. 6. 2019]. Dostupné z: vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/program-beziciho-textu-pro-mcu-mc9s08lc60.html

Přílohy

Příloha A1

Seznam všech součástek použitých na DPS (Bill of materials)				
Value	Description	Designator	Footprint	Quantity
	Micro USB Type B	J1	SMD_USB_MICRO_B_FEMALE	1
10nF	Capacitor	C1	SMD_CAPACITOR_0805	1
100nF	Capacitor	C2, C3, C5	SMD_CAPACITOR_0805	3
100uF	Capacitor_POL	C4	SMD_CAPACITOR_D_6.3MM	1
470nF	Capacitor	C6	SMD_CAPACITOR_0805	1
22pF	Capacitor	C7, C9	SMD_CAPACITOR_0805	2
100nF	Capacitor	C8, C11, C12, C13, C14, C17, C19, C18	SMD_CAPACITOR_0805	7
	TAJ Series Standard Tantalum,	C10	AVX-1206-2-H1.8 L	1
22uF	Capacitor_POL	C15	SMD_CAPACITOR_D_6.3MM	1
10uF	Capacitor_POL	C16	SMD_CAPACITOR_D_6.3MM	1
DF10SA	DIO Bridge rectifier 1000V, 1A	D1	SM_DIO_DFS4_PIT200_W250	1
	Header JST 1x2	END	THT_HEADER_78MIL_JST_1X2_MALE	1
	WR-FSH Fuse Holder Blocks F	F1	696108003002	1
		IC1	HTSSOP28	1
	LED	LED1, LED2, LED3, RX_LED, TX_LED	SMD_LED_1206	5
B4B-PH-K-S	CON JST, header, THT, 2mm, 2	MOTOR	th_con_jst_b4b_ph-k-s	1
	Header 2x3	P3	THT_HEADER_100MIL_2X3_MALE	1
Power JACK 2.1/	Low Voltage Power Supply Con	P5	THT_POWER_JACK_2.1/2.5	1
Conector	Header JST 1x2	P6	THT_HEADER_78MIL_JST_1X2_MALE	1
Conector	Header JST 1x2	P7	THT_HEADER_78MIL_JST_1X2_MALE	1
100	Resistor	R12, R15, R19, R17	SMD_RESISTOR_0805	4
200m	RL Series 2512 1 W 0.15 Ohm	R2, R4	R2512	2
10k	Resistor Var	R6	SMD_TRIMMER_HORIZONTAL_4.5MM	1
1M	Resistor	R7, R1	SMD_RESISTOR_0805	2
10K	Resistor	R11, R16, R3, R5, R18, R10, R14, R23	SMD_RESISTOR_0805	8
220	Resistor	R8, R9, R13, R20, R22	SMD_RESISTOR_0805	5
4K7	Resistor	R21	SMD_RESISTOR_0805	1
Switch	Tactile Switch	RESET	THT_SWITCH_SPST	1
	Hexagon metal spacer M3	S1, S2, S3, S4	THT_HEX_SPACER_M3L20	4
Conector	Header JST 1x2	STOP	THT_HEADER_78MIL_JST_1X2_MALE	1
FT232RL	USB UART Asynchronous Serial	U2	SMD_SSOP-28	1
AMS1117-5.0	Sot223/Pkg 1-Amp 5-Volt Low	U3	*SOT229P700X180-4N	1
1PS79SB10	DIO schottky 30V 0.2A	V1, V2, V3, V4	sm_dio_SOD523	4
8Mhz	Crystal Oscillator	Y1	SMD_XTAL_HC-49	1

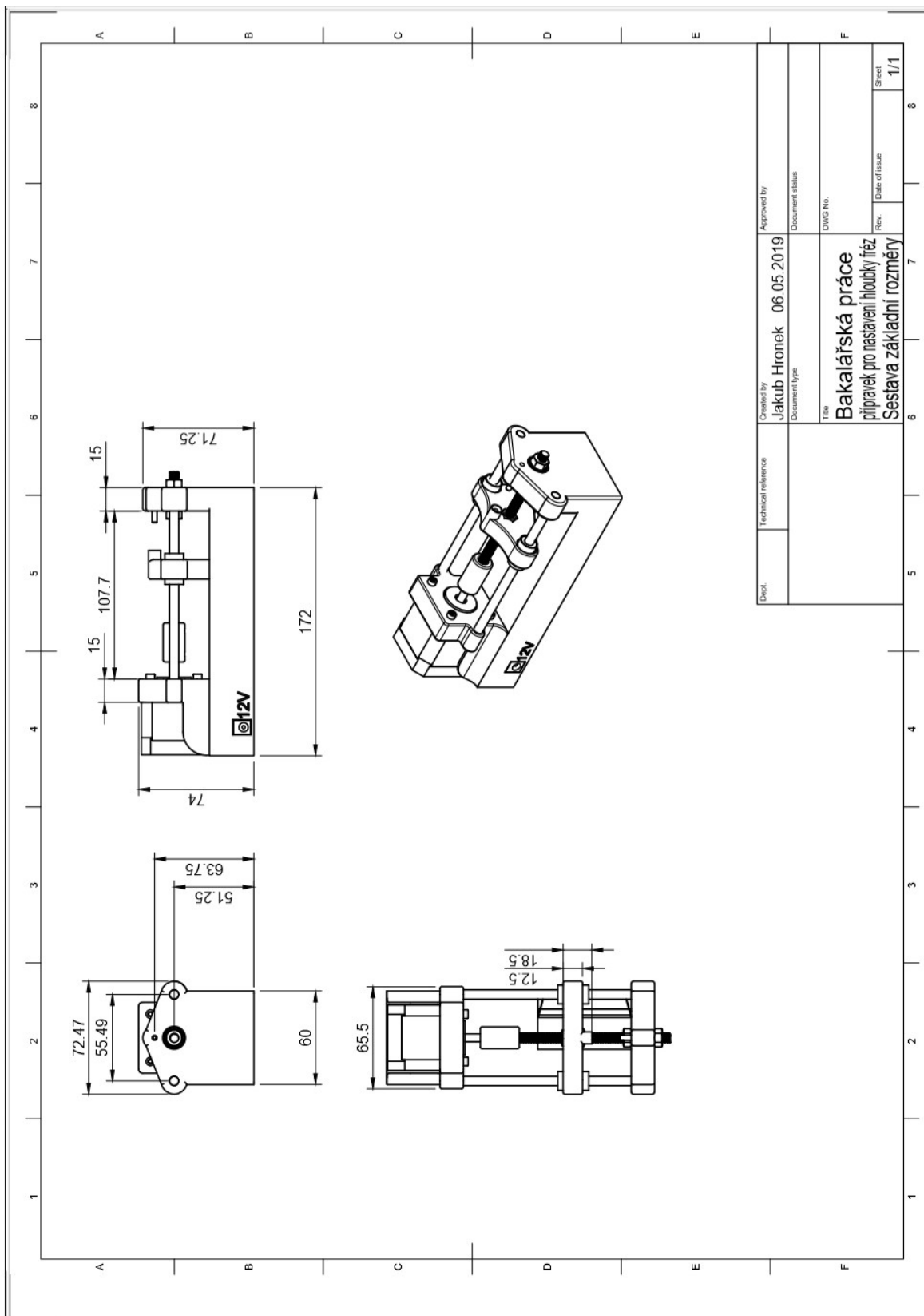
Tab. A.1: Seznam všech použitých součástek na DPS

Příloha A2

Tabulka použitého materiálu mech části	
	Množství
Krokový motor nemá 17	1ks
Hliníková spojka mezi motorem a závitovou tyčí	1ks
Závitová tyč 6mm délka 110mm	1ks
Mikrospínač MSW-22	2ks
Lineární ložisko LM6UU 6mm	2ks
Hlazenné tyče 6mm délka 138mm	2ks
kuličkové ložisko 686	2ks
Šrub M3x6	6ks
Šrub M2x6	2ks
Mosazná závitová vložka M2	2ks
Mosazná závitová vložka M3	3ks
Distanční sloupek M3 délka 10mm	3ks
Matice M3	4ks
Matice M6	4ks
Filament Verbatim white PLA	251g
Filament Devil Design super blue PLA	17g

Tab. A.2: Tabulka použitého materiálu mechanické části

Příloha B1



Obr. B.1: Výkres se základními rozměry