

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2025

Aleš Gábik

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Konstrukce tříosého manipulátoru
Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Aleš Gábik**
Osobní číslo: **I21040**
Studijní program: **B0714A150008 Automatizace**
Téma práce: **Konstrukce tříosého manipulátoru**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce je konstrukce zařízení typu rovinného tříosého manipulátoru, který bude určen pro manipulaci s drobnými mechanickými součástkami. Pohon manipulátoru bude realizován krokovými, nebo stejnosměrnými motory. Ke konstrukci řídicí jednotky zařízení bude použit vybraný typ jednočipového mikropočítače, např. fy Atmel, např. řady ATmega, který může být součástí kompletního vývojového kitu (např. Arduino UNO, Mini, Mikro atp.). Zařízení bude disponovat sadou funkcí, kopírujících chování komerčně vyráběných zařízení, spadajících do této kategorie. Ovládání zařízení bude realizováno buď autonomním řídicím obvodem, nebo nadřazeným řídicím systémem, například osobním počítačem, PLC automatem atp. Komunikace řídicí jednotky s nadřazeným řídicím systémem bude realizována vybraným typem komunikačního rozhraní, například rozhraním USB a galvanicky oddělenými signály pro logický řídicí systém.

Teoretická část bude obsahovat rešerši zadaného tématu se zaměřením na hlavní směry konstrukčního řešení srovnatelných technických zařízení a použitých konstrukčních prvků ve vlastním návrhu.

Praktická část bude zaměřena na podrobný popis konstrukce zařízení a jeho testování, včetně příslušného zhodnocení dosažených výsledků. Konstrukční řešení bude zpracováno převážně ve formě 3D modelů, ve vybraném typu návrhového 3D software a následně realizováno s využitím technologie 3d tisku. Firmware řídicí jednotky bude navržen a realizován v jazyce C pro mikrokontrolery (případně jeho klonu).

Nedílnou součástí práce bude i podrobně zpracovaná výrobní dokumentace, zdrojové kódy firmware mikropočítače a uživatelský manuál.

Rozsah pracovní zprávy: **40 – 50 stran A4**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN – technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4
ZÁHLAVA, V., Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4
MAIXNER, L. a kol., Mechatronika, Brno, Computer Press, 2006, ISBN 80-251-1299-3
ŠMEJKAL, L., MARTINÁSKOVÁ, M. PLC a automatizace 1, BEN – technická literatura, Praha 1999
MARTINÁSKOVÁ, M., ŠMEJKAL, L. Řízení programovatelnými automaty, skriptum ČVUT FSI, Praha 1998, Praha 2004 – 2.vydání

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Havlíček, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **15. prosince 2023**
Termín odevzdání bakalářské práce: **10. května 2024**

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Daniel Honc, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 12. ledna 2024

Prohlašuji:

Práci s názvem Konstrukce tříosého manipulátoru jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 15.05.2025

Aleš Gábik v.r.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací tříosého SCARA manipulátoru. Teoretická část shrnuje typy manipulátorů, pohony a možnosti využití 3D tisku. Praktická část zahrnuje návrh mechanické konstrukce a 3D tištěných součástí. Součástí práce je konstrukce 3D modelu, kompletace hardwaru a programování řídicího systému na platformě Arduino.

KLÍČOVÁ SLOVA

SCARA manipulátory, krokové motory, roboti, automatizace, Arduino

TITLE

Construction of a three-axis manipulator

ANNOTATION

The bachelor's thesis deals with the design and implementation of a three-axis SCARA manipulator. The theoretical part summarizes the types of manipulators, drives and the possibilities of using 3D printing. The practical part includes the design of the mechanical structure and 3D printed parts. The work includes the construction of a 3D model, hardware assembly and programming of the control system on the Arduino platform.

KEYWORDS

SCARA manipulators, stepper motors, robots, automation, Arduino

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	10
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	11
ÚVOD	11
1. Běžné průmyslové manipulátory	12
1.1 Kartézský manipulátor	12
1.2 Kloubový manipulátor	12
1.3 Paralelní manipulátor	12
1.4 Cylindrický manipulátor	12
1.5 SCARA manipulátor	13
2. Pohony	14
2.1 Krokové motory	14
2.1.1 Princip krokových motorů	14
2.1.2 Řízení krokových motorů	15
2.2 Servomotory.....	15
2.2.1 Princip servomotorů.....	15
2.2.2 Řízení servomotorů.....	15
3. 3D tisk FDM	16
3.1 Materiál.....	16
3.1.1 PLA.....	16
3.1.2 ABS.....	16
3.1.3 PETG	16
4. Hardware manipulátoru – elektronika	17
4.1 Mikropočítač Arduino.....	17
4.1.1 Arduino MEGA 2560 rev3	17
4.2 CNC Shield	19
4.2.1 Reprap Ramps 1.4.....	19
4.3 Krokový motor NEMA17	20
4.4 Servomotor SG90 9g	21
4.5 Drivery	22
4.6 Koncové spínače	22

4.7 Napájení	23
5. Mechanika manipulátoru	23
5.1 Ložiska.....	23
5.1.1 Kuličkové ložisko 6002-2RS	23
5.1.2 Kuličkové ložisko 608ZZ	24
5.1.3 Lineární kuličkové ložisko LM8UU.....	24
5.2 Trapézový šroub a spojka	25
5.3 Trapézová matice T8	25
5.4 Vodící tyč.....	26
5.5 Řemeny GT2.....	26
6. 3D modely.....	27
6.1 Základna.....	28
6.1.1 Držák motoru pro osu Z.....	28
6.1.2 Základna s držákem motoru.....	29
6.2 Vrchní kryt.....	30
6.3 Spodní část pohyblivého mechanismu.....	30
6.4 Horní část pohyblivého mechanismu.....	31
6.5 Válec kolem ložiska.....	32
6.6 Ozubené kolo	32
6.7 První rameno	33
6.7.1 První část prvního ramene	33
6.7.2 Druhá část prvního ramene	33
6.7.3 Celé první rameno.....	34
6.8 Druhé rameno	35
6.9 Gripper	36
6.9.1 Základna gripperu	36
7. Sestavení a zapojení zařízení	37
7.1 Sestavení mechanické části.....	37
7.2 Zapojení	40
8. Software.....	42

8.1 Vývojový diagram	43
ZÁVĚR	45
POUŽITÁ LITERATURA	46
SEZNAM PŘÍLOH.....	48

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: Diagram SCARA manipulátoru	13
Obrázek 2: Krokový motor 200 kroků, úhel otočení 1,8°	14
Obrázek 3: Arduino MEGA 2560 rev3	17
Obrázek 4: Deska Reprap Ramps 1.4	19
Obrázek 5: Krokový motor NEMA17	20
Obrázek 6: Servo SG90	21
Obrázek 7: Motor driver A4988	22
Obrázek 8: Koncový spínač	22
Obrázek 9: Ložisko 6002-2RS	23
Obrázek 10: Ložisko 608ZZ	24
Obrázek 11: Ložisko LM8UU	24
Obrázek 12: Trapézový šroub	25
Obrázek 13: Trapézová mosazná matice	25
Obrázek 14: Řemeny GT2	26
Obrázek 15: 3D model rovinného tříosého manipulátoru	27
Obrázek 16: Základna	28
Obrázek 17: Držák motoru pro osu Z (foto zespod)	29
Obrázek 18: Základna složená s držákem motoru osy Z	29
Obrázek 19: Vrchní kryt	30
Obrázek 20: Spodní část pohyblivého mechanismu	31
Obrázek 21: Horní část pohyblivého mechanismu	31
Obrázek 22: Válec kolem ložiska	32
Obrázek 23: Ozubené kolo	32
Obrázek 24: První část prvního ramene	33
Obrázek 25: Druhá část prvního ramene	34
Obrázek 26: Celé první rameno	34
Obrázek 27: Druhé rameno shora	35
Obrázek 28: Druhé rameno zespod	35
Obrázek 29: Gripper	36
Obrázek 30: Základna gripperu	36
Obrázek 31: Ložisko 6002 nalisované v ozubeném kole	37
Obrázek 32: Složená ramena s řemenem	38
Obrázek 33: Složená pohyblivá část	39
Obrázek 34: Celý složený manipulátor	39
Obrázek 35: Blokové schéma zapojení manipulátoru	41
Obrázek 36: Schéma zapojení manipulátoru	41
Obrázek 37: Vývojový diagram – nastavení výchozích pozic	43
Obrázek 38: Vývojový diagram loop	44
Tabulka 1: Parametry Arduino MEGA 2560 rev3	18
Tabulka 2: Parametry krokového motoru NEMA17 17HS4401	20
Tabulka 3: Parametry Servo SG90 9g	21
Tabulka 4: Rozměry ložiska 6002-2RS	23
Tabulka 5: Rozměry ložiska 608ZZ	24
Tabulka 6: Rozměry ložiska LM8UU	24
Tabulka 7: Seznam elektrických součástek	42
Tabulka 8: Parametry tříosého manipulátoru	45

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ABS	akrylonitrilbutadienstyren
CAD	počítačem podporované navrhování
CNC	počítačem řízené obrábění
DC	stejnoseměrný proud
EEPROM	elektricky mazatelná programovatelná paměť pouze pro čtení
FDM	modelování tavným nanášením
LED	světelná dioda
PETG	polyethylentereftalát-glykol
PLA	polylaktid
PWM	pulzně šířková modulace
SCARA	selektivní poddajné montážní robotické rameno
SRAM	statická paměť s libovolným přístupem
UART	univerzální asynchronní přijímač a vysílač
USB	univerzální sériová sběrnice
UV	ultrafialové záření

ÚVOD

V současnosti se automatizace výroby stává stále důležitější součástí průmyslové výroby. S rostoucími nároky na přesnost, rychlost a opakovatelnost úkonů nabývá na významu využití různých typů manipulátorů a robotických systémů, které efektivně nahrazují lidskou práci při opakujících se úkolech. Jedním z často používaných typů zařízení pro manipulaci s drobnými předměty je rovinný tříosý manipulátor.

Cílem této bakalářské práce je návrh a realizace zařízení typu tříosého rovinného manipulátoru, který bude sloužit pro manipulaci s drobnými mechanickými součástkami.

Manipulátor bude poháněn krokovými motory, které umožňují přesné polohování bez nutnosti zpětné vazby. Pro řízení pohybů bude použit mikropočítač Arduino MEGA, doplněný o CNC shield, který umožňuje zapojení a řízení více krokových motorů najednou.

Firmware bude napsán v jazyce C s využitím dostupných knihoven a nástrojů pro platformu Arduino. Komunikace manipulátoru s nadřazeným řídicím systémem bude zajištěna prostřednictvím USB rozhraní. Zařízení bude navrženo tak, aby svým chováním odpovídalo běžně dostupným komerčním systémům, a to jak z hlediska funkcionality, tak i uživatelského ovládání.

Velká část mechanických komponentů manipulátoru bude navržena v prostředí 3D CAD softwaru a vyrobena pomocí technologie 3D tisku. Použitím 3D tisku je možné vytvořit konstrukčně přesné díly bez nákladného obrábění. Vytvořené modely budou součástí dokumentace a umožní případnou replikaci nebo další úpravy navrženého systému.

Tato práce si klade za cíl nejen demonstrovat funkčnost konkrétního konstrukčního řešení, ale také ukázat postup, jak lze z běžně dostupných komponentů navrhnout a sestavit reálně použitelný manipulátor.

1. Běžné průmyslové manipulátory

Průmyslové manipulátory lze klasifikovat na základě geometrie jejich pracovního prostoru, typu pohybu, který vykonávají a podle počtu stupňů volnosti.

1.1 Kartézský manipulátor

Kartézský manipulátor, také označovaný jako lineární XYZ manipulátor, je typ průmyslového manipulátoru, který pracuje ve třech lineárních vzájemně kolmých osách. Díky lineárnímu pohybu a souřadnicovému systému X, Y a Z jsou jednoduše programovatelné, přesné a zvládají vysoké zatížení. Kvůli své velké konstrukci ale zabírají hodně prostoru. Používají se například na 3D tiskárny, CNC, nebo laserové řezání.

1.2 Kloubový manipulátor

Kloubové manipulátory, které jsou často označovány jako robotická ruka, využívají rotační klouby. Nabízejí různé stupně volnosti, podle počtu kloubů, které jsou minimálně dva. Většinou zabírají méně místa a zvládají složité pohyby. Kvůli vyšším stupňům volnosti bývají složitější na programování a ovládání. Také jsou dražší a oproti některým typům pomalejší.

1.3 Paralelní manipulátor

Paralelní manipulátory neboli Delta manipulátory či hexapody fungují propojením více paralelních ramen. Jsou rychlé a přesné, avšak velmi složité z hlediska programování a obsluhy. Mívají také menší manipulační prostor. Jsou velmi responzivní, kvůli čemuž se používají například v lékařství.

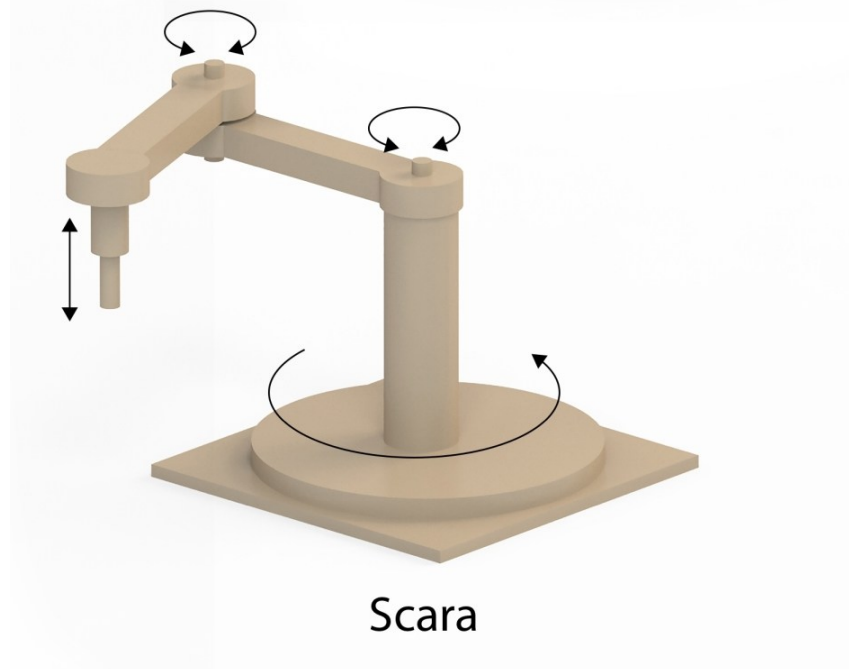
1.4 Cylindrický manipulátor

Cylindrický neboli válcový manipulátor je kombinací rotačního kloubu a lineárního posuvu. Jejich pohyb je ovládán válcovými souřadnicemi. Díky jejich jednoduchosti a pevné základně nepotřebují neustálé kalibrace a jednodušeji se programují. Používají se především pro jednoduchou manipulaci s materiálem, kde nevadí, že využívají válcový prostor.

1.5 SCARA manipulátor

SCARA jsou manipulátory, které mají dva paralelní rotační klouby. Jsou tedy velmi rychlé v horizontálním směru. Výhodou je také přesnost, jednodušší konstrukce s menším počtem kloubů a nižší cena. Nejsou však vhodné pro větší vertikální pohyby.

(The six different types of manipulators in robotics | Standard Bots, 2025)



Obrázek 1: Diagram SCARA manipulátoru (Types of industrial robots and their different uses | HowToRobot, 2024)

Zkratka SCARA znamená v češtině selektivní poddajné montážní robotické rameno. Jak napovídá název, tento typ robota byl původně vyvinut pro montážní aplikace. Robot tohoto typu bývá částečně poddajný ve vodorovné rovině, kdy při zatlačení na jeho rameno trochu povolí, avšak je velmi tuhý ve svislé rovině. Této poddajnosti se využívá hlavně v montážních operacích, kde je například nutné zasunout součástku do plošného spoje.

(Types of industrial robots and their different uses | HowToRobot, 2024)

2. Pohony

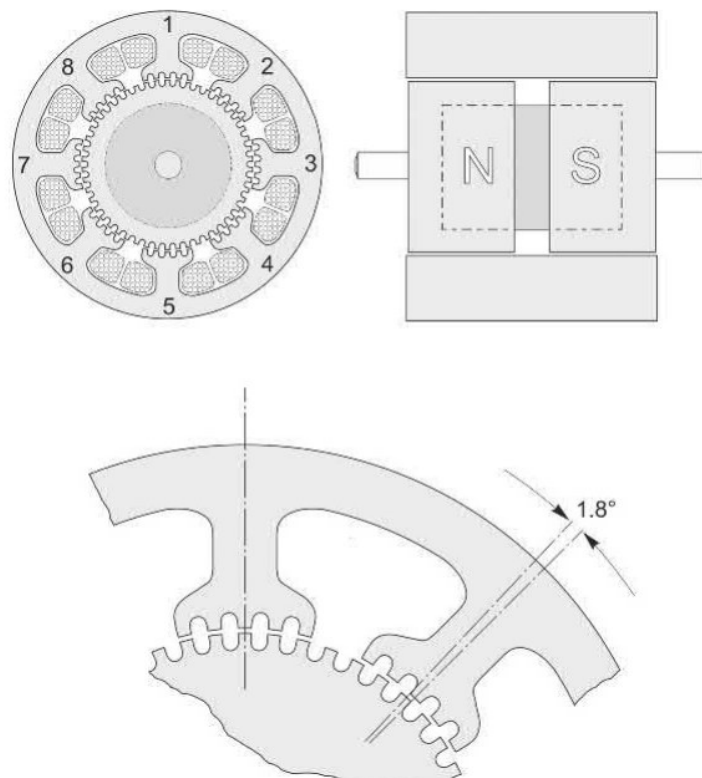
Při návrhu a realizaci rovinného tříosého manipulátoru typu SCARA byly použity různé typy elektrických pohonů v závislosti na specifických požadavcích jednotlivých částí mechanismu. Hlavní důraz byl kladen na přesnost pohybu, jednoduchost řízení a užití běžně dostupných komponentů.

2.1 Krokové motory

Krokové motory jsou typem elektromotorů, u kterých je umožněna přesná kontrola pozice bez zpětné vazby. Krokový motor se skládá ze statoru, který je tvořen soustavou cívek a rotoru, který je magnetický a pohybuje se podle změn magnetického pole.

2.1.1 Princip krokových motorů

Tyto motory fungují na principu postupného otáčení o pevně definované úhly. Těmito úhly jsou právě kroky, které jsou způsobeny změnami elektrických proudů ve statorových cívkách. Tím je vyvolán pohyb rotoru o určitou hodnotu.



Obrázek 2: Krokový motor 200 kroků, úhel otočení $1,8^\circ$ (Electric motors and drives: fundamentals, types and applications, Hughes a Drury, 2019)

2.1.2 Řízení krokových motorů

Krokové motory jsou řízeny pomocí signálu, který aktivuje určité cívky ve statoru. Tento signál může být například v podobě elektrických impulzů, které určují, jak budou cívky napájeny. Správná sekvenční napájení cívek způsobí rotující magnetické pole, které přitahuje rotor a posouvá ho do požadované polohy.

2.2 Servomotory

Servomotory jsou typem DC motoru, který se používá hlavně v místech, kde je zapotřebí velkého zrychlení a zpomalení. Na rozdíl od běžných elektromotorů je konstruován tak, aby zvládal krátkodobě velmi vysoké proudy a velké točivé momenty.

2.2.1 Princip servomotorů

Protože jsou servomotory většinou malé, mají vcelku vysoký odpor vinutí rotoru. Díky tomu při zablokování pohybu rotoru nebo při zkratu, neprotéká vinutím příliš vysoký proud, jaký by u velkého motoru s nižším odporem mohl být destruktivní. Zároveň je tím umožněn rychlý rozběh z klidu či situace, kdy se v motoru za plné rychlosti změni směr napětí.

2.2.2 Řízení servomotorů

Servomotory se většinou používají v uzavřených regulačních smyčkách, kde se porovnává požadovaná úhlová poloha výstupní hřídele s aktuální skutečnou polohou. Poloha se snímá pomocí potenciometru připojeného na hřídel motoru. Rozdíl mezi požadovanou a skutečnou polohou vytváří regulační odchylku, která je následně zesílena a použita jako řídicí signál pro motor. Motor se tedy roztočí tak, aby bylo dosaženo požadovaného úhlu a jakmile dosáhne cílové polohy, napětí motoru klesne na nulu a motor se zastaví. Pokud by byla hřídel externě otočena do jiné polohy, ihned vznikne regulační odchylka a motor vyvine točivý moment, který vrací hřídel do původní polohy.

Servomotory jsou téměř výhradně řízeny digitálně, využitím digitální zpětné vazby rychlosti. Zpětná vazba je realizována pomocí impulzního signálu z enkodéru umístěného na hřídeli motoru. Tento signál je porovnáván s referenčním signálem odpovídajícím požadované rychlosti. Tento systém zajišťuje velmi přesnou a stabilní zpětnou vazbu bez driftu, která není ovlivněna šumem, takže zajišťuje přesné udržování rychlosti motoru.

(Hughes a Drury, 2019)

3. 3D tisk FDM

Princip FDM 3D tiskárny spočívá v postupném nanášení vrstev termoplastického materiálu na tiskovou plochu. Materiál je vtahován do vyhřívané tiskové hlavy, kde se roztaví. Tisková hlava se pohybuje po programem definované dráze podle 3D modelu a postupně pokládá materiál. Po nanesení celé první vrstvy se tisková hlava posune o výšku vrstvy a proces se opakuje.

3.1 Materiál

Materiálem, který se používá při FDM 3D tisku, je většinou termoplast. Tento materiál je za běžného stavu v pevném skupenství. Pro tiskárny bývá dodáván ve formě strun namotaných do cívek.

Aby se stal termoplast tvárným potřebuje teplo. Různé materiály pro tisk se liší pevností, pružností a odolností proti dalším vlivům.

3.1.1 PLA

PLA je na tisk nenáročný materiál, který se hodí hlavně pro začátečníky a výrobu prvních prototypů. Není však příliš odolný teplotně, ani proti UV záření.

3.1.2 ABS

Materiál ABS je proti PLA výrazně odolnější jak teplotně, tak proti UV záření, avšak při chladnutí se smršťuje a způsobuje tak odlepení od tiskové plochy či praskání tištěného objektu. Jako řešení problému s praskáním je třeba využívat vyhřívanou podložku a ideálně i uzavřenou tiskovou komoru.

3.1.3 PETG

PETG je materiál, který se výrazně lépe tiskne než ABS. Je chemicky odolné a tolik se nesmršťuje a nepraská. Má lepší vlastnosti než PLA, ale o trochu horší vlastnosti než ABS. Problémem PETG jsou viditelné tenké nitě, které zůstávají na vytištěných objektech a které je nutné dále opracovat.

(3D tisk: jak funguje FDM/FFF tiskárna? | Svět Hardware, 2019)

4. Hardware manipulátoru – elektronika

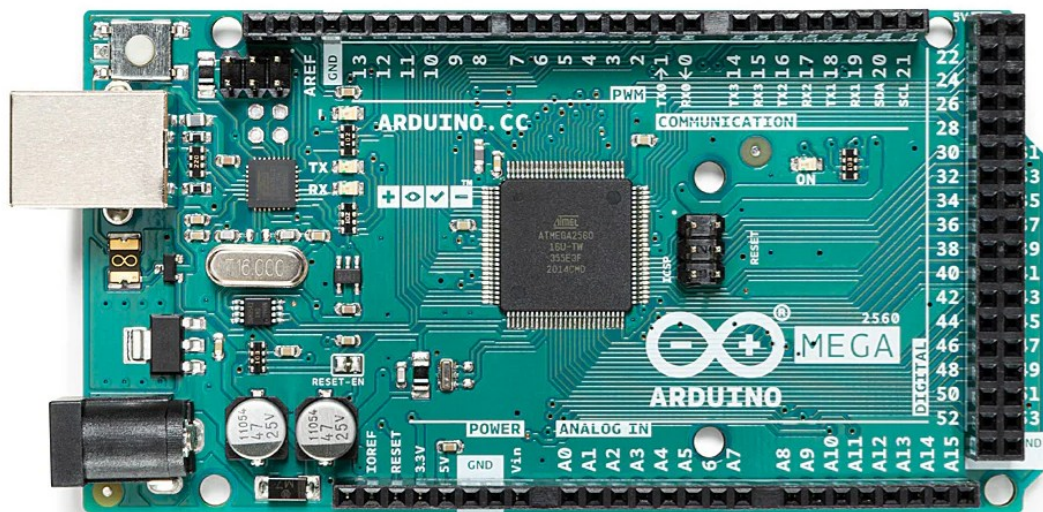
Třiosý manipulátor se skládá z mechanických a elektronických součástí, které společně umožňují přesný pohyb a polohování. Základ tvoří nosná konstrukce a pohybové mechanismy. K řízení pohybu slouží ovládací elektronika, a senzory.

4.1 Mikropočítač Arduino

Arduino je open-source platforma pro vývoj elektroniky, která kombinuje jednoduchý hardware s uživatelsky přívětivým prostředím. Je navržena tak, aby umožnila snadné a rychlé vytváření prototypů. Základním prvkem je vývojová deska s mikrokontrolérem, kterou lze naprogramovat přes USB pomocí prostředí Arduino IDE.

Arduino desky jsou vybaveny digitálními a analogovými vstupy a výstupy, které umožňují snadné propojení s různými senzory, motory, LED a dalšími periferiemi. Platforma je navržena s důrazem na jednoduchost, modularitu a širokou dostupnost. Díky rozsáhlé komunitě existuje množství dostupných knihoven, návodů a příkladů, které usnadňují vývoj i složitějších systémů. (Arduino, 2025)

4.1.1 Arduino MEGA 2560 rev3



Obrázek 3: Arduino MEGA 2560 rev3 (Arduino Mega2560 rev3, originál | LaskaKit, 2025)

Arduino Mega 2560 rev3 je třetí revizí vývojové desky Arduino Mega, určené pro náročnější aplikace a požadavky na více vstupů a výstupů. Je osazena mikrokontrolérem ATmega 2560 a nabízí celkem 54 digitálních vstupně-výstupních pinů, z nichž 15 je použitelných jako PWM výstupy, dále 16 analogových vstupů, 4 hardwarové sériové porty UART a 256kB paměti Flash. Proti běžným verzím, jako je Arduino Uno, je Mega vhodnější pro projekty s větším počtem periférií a vyšší složitostí řídicích algoritmů.

(Arduino, 2025)

Tabulka 1: Parametry Arduino MEGA 2560 rev3

Mikrokontrolér	ATmega2560
Krystal	16 Mhz
Flash	256 kB
SRAM	8 kB
EEPROM	4 kB
USB – Seriál převodník	ATmega16U2
Digitální vstupy a výstupy	54
PWM výstupy	14
Analogové vstupy	16
DC proud na pin	40 mA
Vstupní napětí doporučené	6-12 V
5 V maximální proud	800 mA
3.3 V maximální proud	180 mA
Váha	45 g

(Arduino Mega2560 rev3, originál | LaskaKit, 2025)

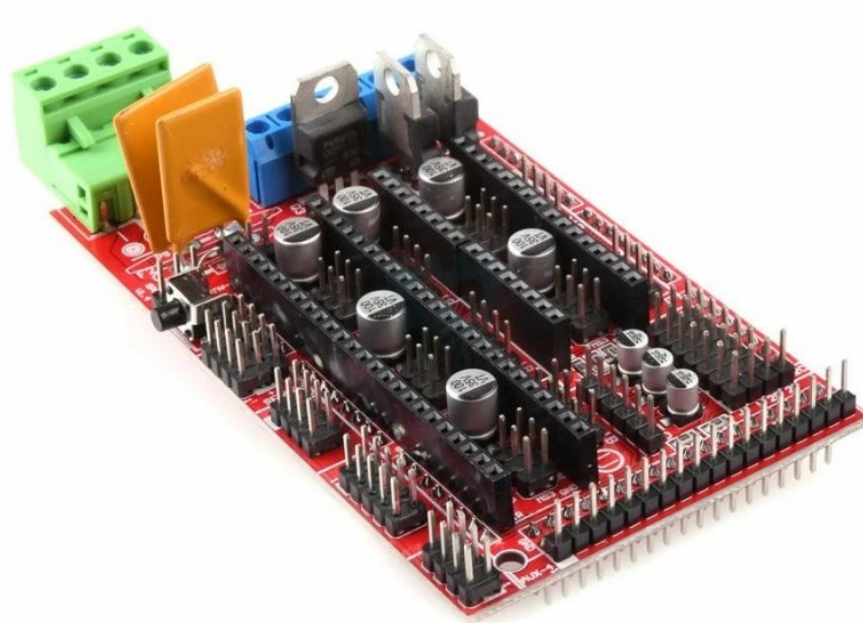
4.2 CNC Shield

CNC Shield je typ rozšiřující desky určené pro mikrokontroléry Arduino, která umožňuje řízení krokových motorů a dalších komponentů v projektech jako jsou CNC stroje, 3D tiskárny nebo robotické manipulátory. Poskytuje standardizované rozhraní pro připojení motorových driverů, koncových spínačů, servo motorů a dalších periferií, čímž zjednodušuje zapojení celého systému.

Typický CNC shield obsahuje sloty pro až čtyři krokové motory, vstupy pro koncové spínače a konektory pro napájení. Je kompatibilní s firmwarem GRBL, který umožňuje interpretaci G-kódu pro přesné řízení pohybu.

(How to Use an Arduino CNC Shield? | Technetron Electronics, 2025)

4.2.1 Reprap Ramps 1.4

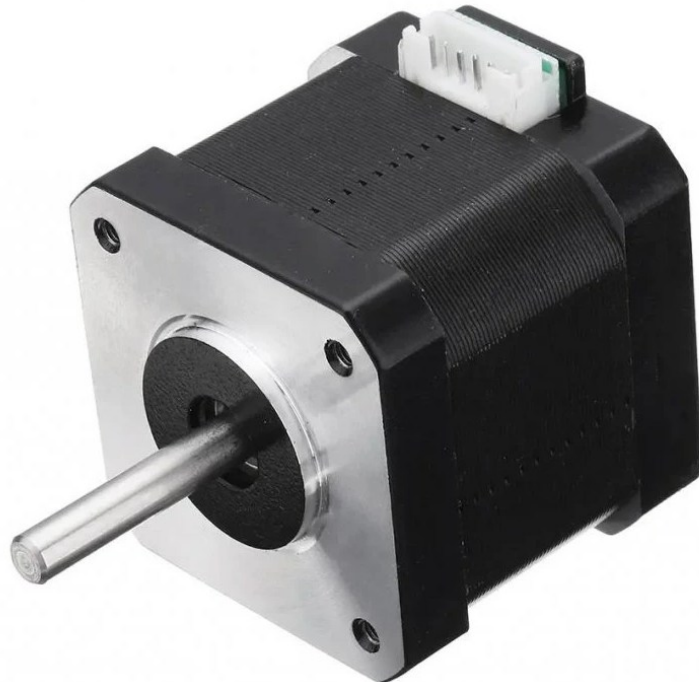


Obrázek 4: Deska Reprap Ramps 1.4 (LaskaKit, 2025)

Reprap Ramps 1.4 je modulární CNC shield pro Arduino MEGA, který umožňuje řízení až 5 krokových motorů. Deska je napájena standardně 12 V, případně po úpravě 24 V, podporuje až 6 koncových spínačů. Díky své modulární konstrukci je snadno rozšiřitelná a běžně používaná s firmwarem jako Marlin.

(RAMPS 1.4. | RepRap, 2025)

4.3 Krokový motor NEMA17



Obrázek 5: Krokový motor NEMA17 (LaskaKit, 2025)

Pro manipulátor jsou využity 3 kusy krokového motoru NEMA17 typu 17HS4401. Jedná se o krokový bipolární dvoufázový motor, který se běžně používá pro CNC stroje a 3D tiskárny. Nabízí sílu až 40 N.cm a přesnost 200 kroků pro otočení o 360°, což znamená 1,8° na jeden krok. V této práci jsou využity 3 kusy tohoto motoru pro pohyb ve třech osách.

Tabulka 2: Parametry krokového motoru NEMA17 17HS4401

Krok otočení	1,8 °
Délka motoru	40 mm
Jmenovitý proud	1,7 A
Fázový odpor	1,5 Ω
Fázová indukčnost	2,8 mH
Síla	40 N.cm
Počet vodičů	4
Hmotnost motoru	280 g

(Krokový motor NEMA 17 17HS4401 0,4Nm | LaskaKit, 2025)

4.4 Servomotor SG90 9g



Obrázek 6: Servo SG90 (LaskaKit, 2025)

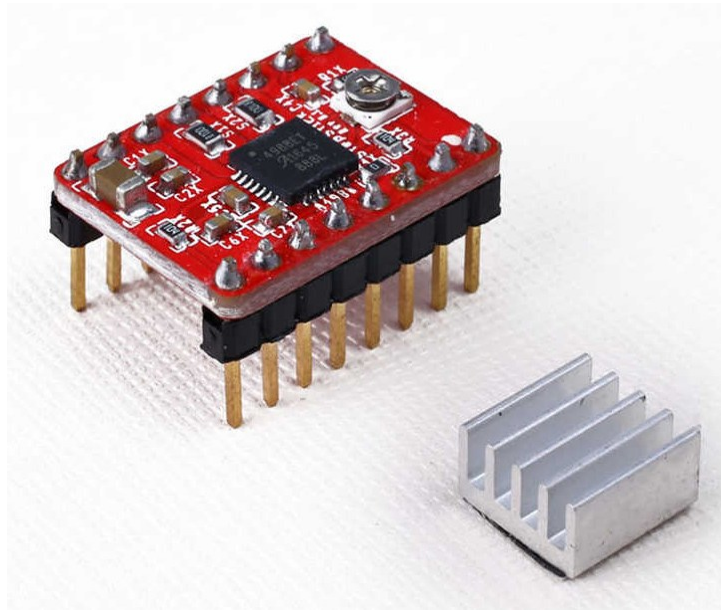
Jedná se o malý servomotor s převody vyrobenými z nylonu, o maximálním úhlu otočení 180°.

Tabulka 3: Parametry Servo SG90 9g

Rychlost	0,14s / 60° (4,2 V), 0,12s / 60° (5 V)
Držný moment	1,2kg (4,8 V), 1,6kg (6 V)
Provozní napětí	3 – 7,2 V
Úhel natočení při šíři pulzu 1 až 2ms	90°
Úhel natočení při šíři pulzu 0,5 až 2,5ms	180°
Rozměry	23x23x12 mm

(Plastové micro servo SG90 9g, 180° | LaskaKit, 2025)

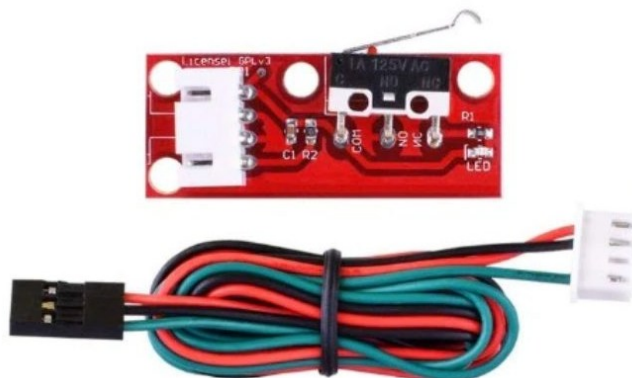
4.5 Drivery



Obrázek 7: Motor driver A4988 (Drátek.cz, 2025)

Jedná se o driver pro bipolární krokové motory pro proud až 2 A. Součástí driveru je ochrana proti zkratu, proti přehřátí a proti podpětí. Driver má nastavitelný proud pomocí trimeru. (Original motor driver A4988 Pro Reprap 3D Tiskárny | Drátek.cz, 2025)

4.6 Koncové spínače



Obrázek 8: Koncový spínač (Drátek.cz, 2025)

V práci jsou použity tři koncové spínače pro nastavení základní polohy ve všech osách.

4.7 Napájení

Tento adaptér je určen k převodu střídavého napětí z elektrické sítě na stabilizované stejnosměrné napětí. Na výstupu zdroje je napětí 12 V a proud až 6 A. Zdroj nabízí přepětíovou ochranu, nadproudovou ochranu a ochrany proti přetížení, přehřátí a zkratu.

(Napájecí zdroj Akyga AK-ND-28 12V/6A 72W 5.5x2.5mm konektor – neoriginální | Baterie TRX, 2025)

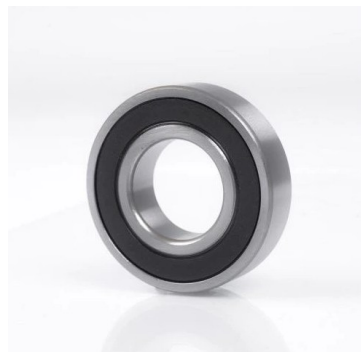
Pro napájení kompletního manipulátoru je využit jeden tento napájecí síťový zdroj.

5. Mechanika manipulátoru

5.1 Ložiska

Jednořadé kuličkové ložisko je strojní součástka umožňující rotační pohyb s minimálním třením. Může přenášet radiální i axiální síly v obou směrech.

5.1.1 Kuličkové ložisko 6002-2RS



Obrázek 9: Ložisko 6002-2RS (PRODEJ LOŽISEK, 2025)

Jedná se o kuličkové ložisko ze standardní oceli pro valivá ložiska s lisovanou ocelovou klecí a plastovým krytem. V práci jsou využity 2 kusy.

Tabulka 4: Rozměry ložiska 6002-2RS

Vnitřní průměr	15 mm
Vnější průměr	32 mm
Šířka	9 mm

(6002-2RS ZKL | PRODEJ LOŽISEK, 2025)

5.1.2 Kuličkové ložisko 608ZZ



Obrázek 10: Ložisko 608ZZ (Levné 3D tiskárny, 2019)
V práci jsou využity 2 kusy.

Tabulka 5: Rozměry ložiska 608ZZ

Vnitřní průměr	8 mm
Vnější průměr	22 mm
Šířka	7 mm

(Kuličkové ložisko 608zz, 608ZZ | Levné 3D tiskárny, 2019)

5.1.3 Lineární kuličkové ložisko LM8UU



Obrázek 11: Ložisko LM8UU (Levné 3D tiskárny, 2019)

Lineární kuličkové ložisko je pouzdro pro kruhové vodící tyče. Je určeno pro přímočarý pohyb podél vodící tyče. Obsahuje sadu kuliček pohybujících se ve vlastních drahách uvnitř ložiska. (Slovníček terminologie lineárních vedení | E-konstruktor, 2016)

Tabulka 6: Rozměry ložiska LM8UU

Vnitřní průměr	8 mm
Vnější průměr	15 mm
Šířka	24 mm

(Lineární kuličkové ložisko D8mm LM8UU, LM8UU | Levné 3D tiskárny, 2019)

5.2 Trapézový šroub a spojka

Trapézový šroub je závitová tyč o průměru 8 mm se stoupáním 8 mm a délkou 300 mm.
(Trapézový šroub D8/2/T8, 300 mm, stoupání 8 mm, D82T8300 | Levné 3D tiskárny, 2019)



Obrázek 12: Trapézový šroub (Levné 3D tiskárny, 2019)

Trapézový šroub je připevněn k motoru pomocí hliníkové hřídelové pružné spojky s vnitřním průměrem 5 mm pro motor a 8 mm pro šroub. Délka spojky je 25 mm a průměr 19 mm.
(Hřídelová pružná spojka CNC - 5 x 8 mm | Drátek.cz, 2025)

Trapézový šroub se spojkou je určen pro pohyb zařízení na ose Z. Pomocí krokového motoru je otáčeno tímto šroubem a konstrukce připevněná k trapézové matici je posouvána.

5.3 Trapézová matice T8

Mosazná bezvřetová trapézová matice je složena ze dvou částí, mezi kterými se nachází pružina. Uvnitř obou částí matice se nachází závit pro šrouby s průměrem 8 mm a stoupáním 8 mm. Matice se upevňuje k pohyblivé části manipulátoru pomocí 4 šroubů, na které jsou v matici připraveny díry o rozteči 11x11 mm.
(Mosazná matice T8 - bezvřetová, MT8ABL | Levné 3D tiskárny, 2019)



Obrázek 13: Trapézová mosazná matice (Levné 3D tiskárny, 2019)

5.4 Vodící tyč

Vodící tyč je ocelová pochromovaná tyč, která se používá pro lineární vedení kuličkových ložisek.

(Vodící tyč ocelová, chromovaná - Průměr 8 mm, délka 500 mm | Drátek.cz, 2025)

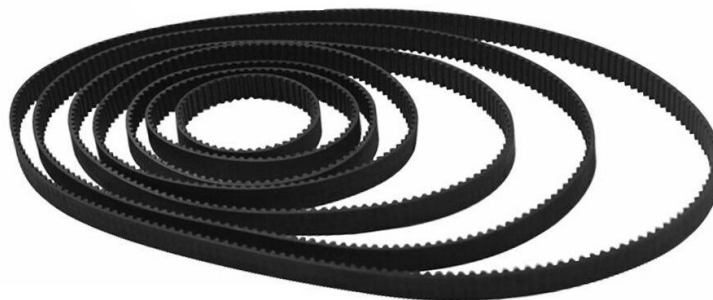
Po třech vodících tyčích se v této práci pohybuje velká část konstrukce zařízení ve směru osy Z. V práci jsou použité dohromady tři vodící tyče o průměru 8 mm a délce 500 mm.

5.5 Řemeny GT2

Ozubený řemen GT2 je řemen určený pro užití hlavně v 3D tiskárnách a v CNC strojích.

(Ozubený řemen GT2 6 mm - Uzavřený, 250 mm Drátek.cz, 2025)

V práci jsou využity tři kusy tohoto uzavřeného pryžového ozubeného řemenu, konkrétně dva kusy o délce 250 mm a jeden kus o délce 350 mm, všechny mají šířku 6 mm.



Obrázek 14: Řemeny GT2 (Drátek.cz, 2025)

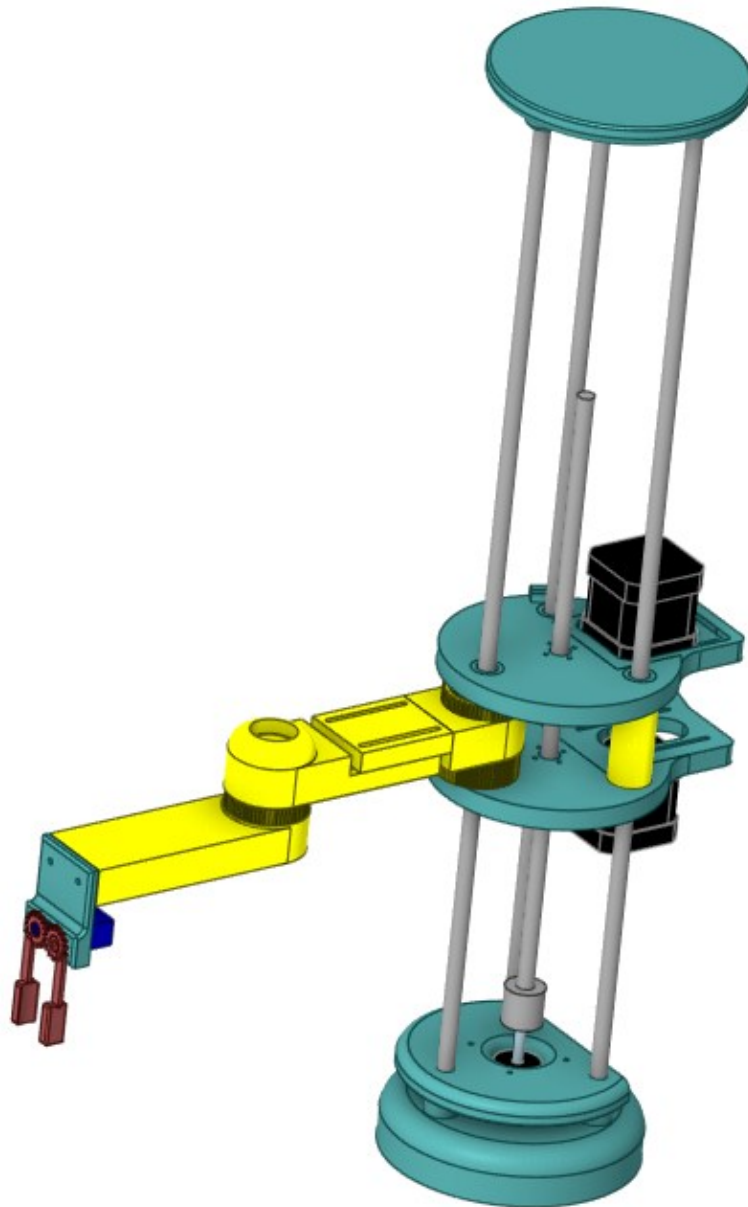
Každý řemen je poté spojen s motorem pomocí řemenice GT2 s 20 zuby a vnitřním průměrem 5 mm určené právě pro řemeny GT2 o šířce 6 mm.

(Řemenice GT2/6, 20 zubů, 5mm, černá, GT26P20T5BK | Levné 3D tiskárny, 2019)

6. 3D modely

Většina 3D modelu rovinného tříosého manipulátoru byla vytvořena v programu DesignSpark Mechanical verze 6.0.1. Jedná se o bezplatný CAD software určený pro efektivní vytváření komplexních modelů objektů, jenž je založen na přímé manipulaci s geometrií. (RS DesignSpark, 2025)

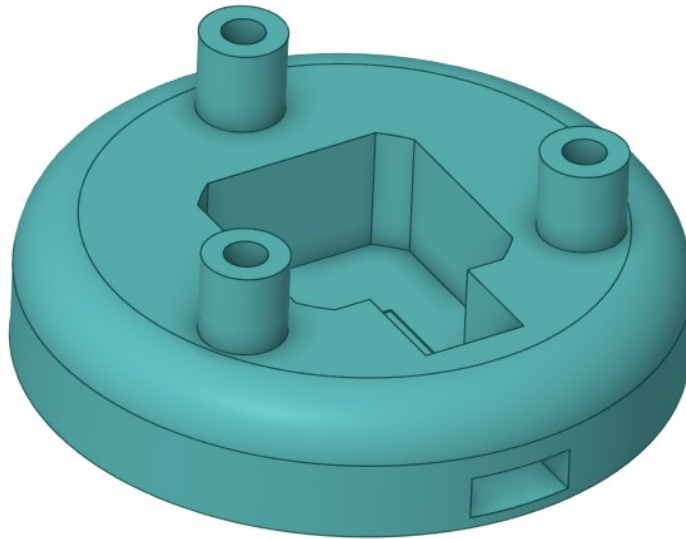
Celý model zařízení je složen z mnoha součástí. Součástky navržené v programu byly exportovány do formátu STL vhodného pro 3D tisk a poté byly tištěny postupně po jednotlivých součástech. Všechny součástky na hotovém modelu byly tištěny z materiálu PETG.



Obrázek 15: 3D model rovinného tříosého manipulátoru

6.1 Základna

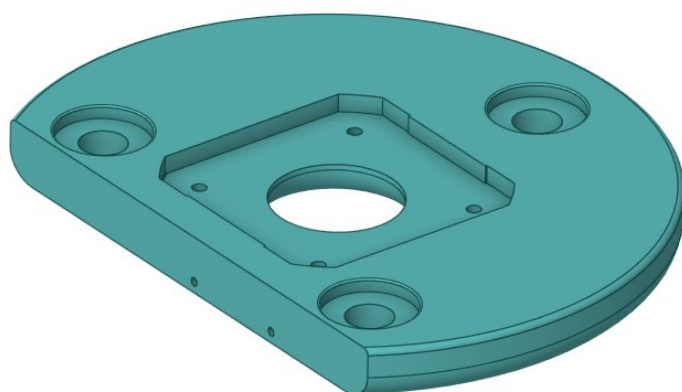
Základna je důležitou částí celého modelu, protože právě v základně a nad základnou jsou poskládány všechny součásti 3D modelu. Ve spodní části se jedná o kruh o průměru 120 mm, ve kterém je výše vytvořen otvor pro motor, z boku otvor pro kabeláž motoru. Na této základně leží další 3 menší kruhové základny, jejichž střed je vzdálen 40 mm od středu celé základny, s otvory pro zasunutí vodících tyčí. Pro motor je vytvořen do všech směrů o několik milimetrů větší otvor, aby nedocházelo k jeho přehřívání v uzavřeném prostoru.



Obrázek 16: Základna

6.1.1 Držák motoru pro osu Z

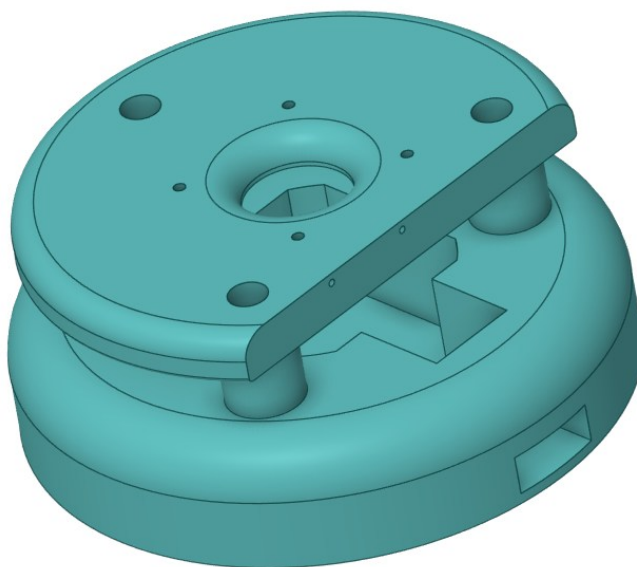
Držák motoru pro osu Z je umístěn přímo nad základnu. V této části se nachází otvory, které pasují přesně na vyvýšené části základny, a kterými prochází také vodící tyče. Dále je ve středu vytvořen prostor pro upevnění krokového motoru NEMA17, otvor pro výstupní hřídel a díry pro čtyři šrouby o velikosti 3 mm pro upevnění motoru. Dále jsou z boku připraveny 2 otvory pro šroubky na připevnění koncového spínače. Výška celé součástky je 10 mm.



Obrázek 17: Držák motoru pro osu Z (foto zespod)

6.1.2 Základna s držákem motoru

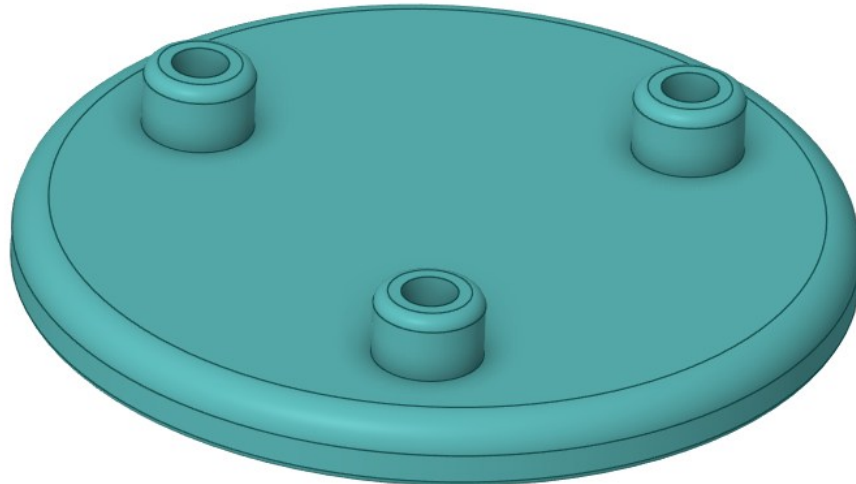
Model součástí Základna a Držák motoru pro osu Z ve složeném stavu.



Obrázek 18: Základna složená s držákem motoru osy Z

6.2 Vrchní kryt

Vrchní kryt je jednoduchý model součástky, která je nasunuta na koncích vodících tyčí. Tímto krytem je celá konstrukce zpevněna a stává se stabilnější a bezpečnější bez odhalených konců kovových tyčí. Základem je kruh o průměru 120 mm a výškou 10 mm s výstupky pro zasunutí vodících tyčí o výšce dalších 10 mm.

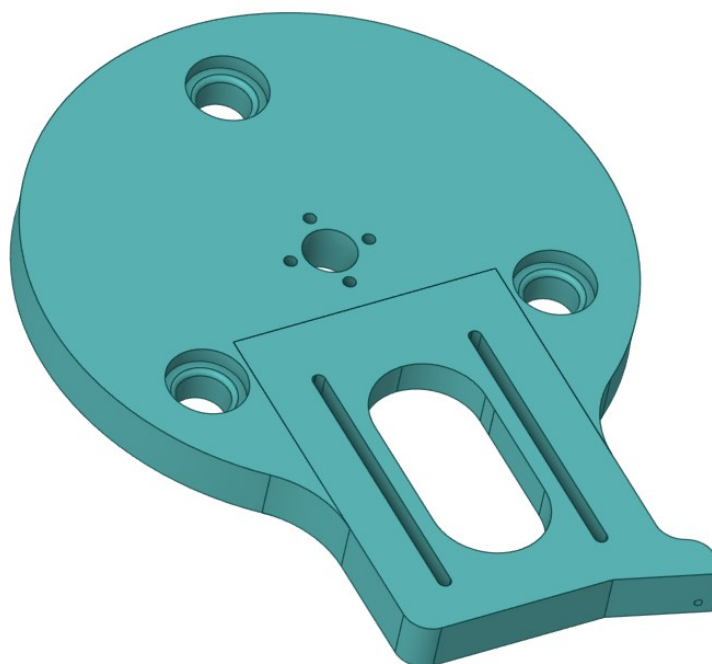


Obrázek 19: Vrchní kryt

6.3 Spodní část pohyblivého mechanismu

Jedná se o spodní část mechanismu, který se pohybuje po ose Z. V této části je umístěn krokový motor pro pohyb vzdálenějším ramenem manipulátoru, matice pro pohyb na ose Z, koncový spínač pro vzdálenější rameno a také jsou zde zasunuty válečky s ložisky a ozubenými koly pro pohon řemenů.

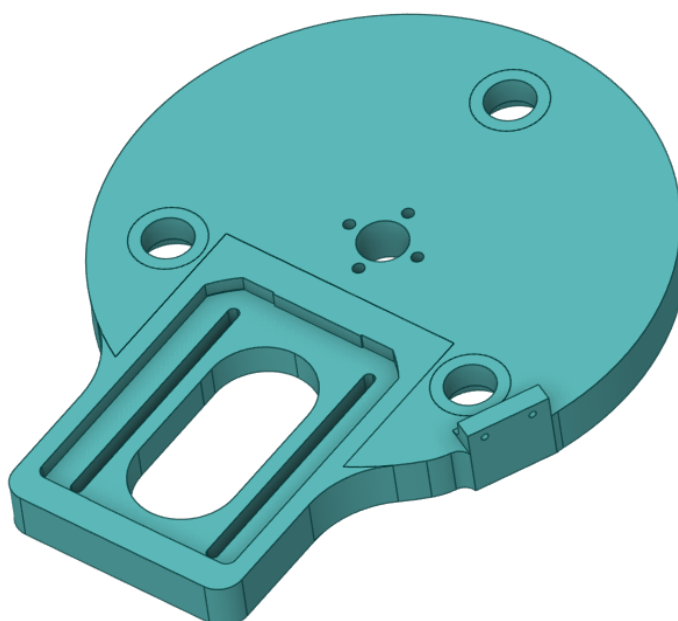
Základem součástky je kruh o průměru 110 mm. Ve středu kruhu se nachází otvor o průměru 10 mm pro umístění trapézové matice. Kolem tohoto kruhu se nachází čtyři otvory na šrouby pro připevnění této matice. Místo pro motor je navrženo tak, aby se dal posouváním motoru jednoduše natáhnout řemen.



Obrázek 20: Spodní část pohyblivého mechanismu

6.4 Horní část pohyblivého mechanismu

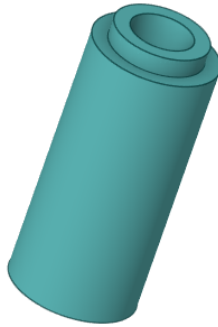
Zde se jedná o vrchní část mechanismu pohybujícího se po ose Z. Jedná se z části o převrácený model spodního dílu, včetně místa pro posouvání motoru. Je zde umístěn krokový motor pohybující s bližším ramenem, koncový spínač pro bližší rameno a otvory pro zasunutí válečků s ložisky a ozubenými koly.



Obrázek 21: Horní část pohyblivého mechanismu

6.5 Válec kolem ložiska

Protože ložisko LM8UU se běžně nevyrábí ve větší šířce, byl vytvořen model pro nastavení jeho šířky plastovou součástkou, aby celá součást vycházela mezi spodní a vrchní část pohyblivého mechanismu. Celá součástka má průměr 20 mm, uvnitř je však volný prostor o průměru 15 mm na dané ložisko. V horní části je plastový výstupek o šíři 15 mm a výšce 3 mm, ve spodní straně je zase 3 mm vystouplé dané ložisko o stejně šíři. Tyto válce jsou použity dva.



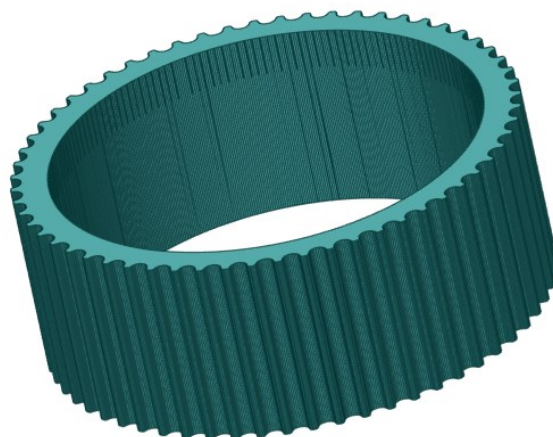
Obrázek 22: Válec kolem ložiska

6.6 Ozubené kolo

Ozubené kolo pro řemen GT2 bylo vygenerováno pomocí knihovny OpenSCAD Gear Library v programu OpenSCAD.

(OpenSCAD Gear Library with Customizer | Thingiverse, 2020)

Jedná se o ozubené kolo s 60 zuby navržené pro řemen GT2. Kolo má výšku 14 mm a středovou díru 32 mm. Samotné kolo je použito jako kladka, kdy je v jeho středu vloženo jedno ložisko 6002-2RS. Kolo je dále využito ve výškově upravených verzích v dalších modelech.



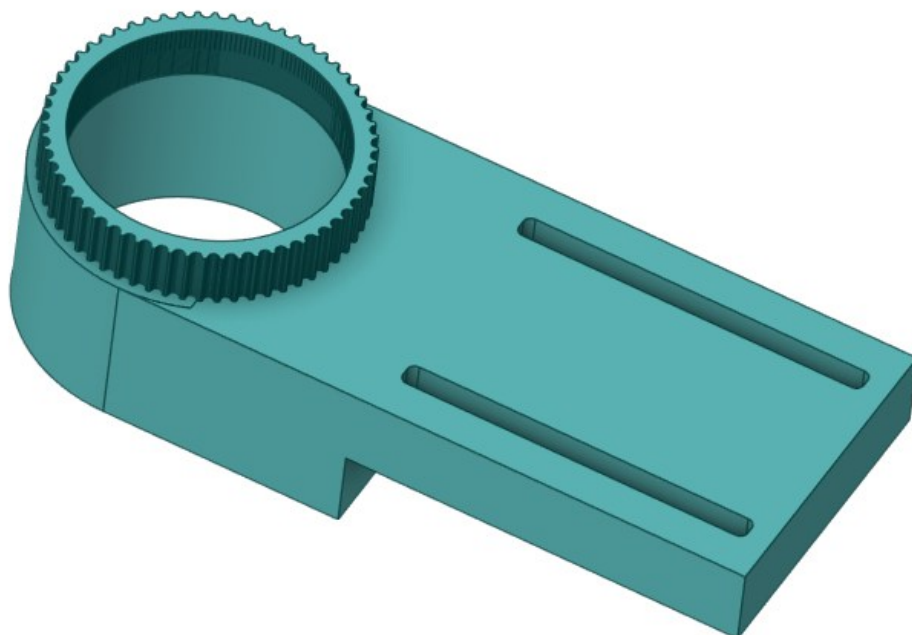
Obrázek 23: Ozubené kolo

6.7 První rameno

První rameno se skládá ze dvou částí spojených čtyřmi šrouby umístěnými na krajích drážek.

6.7.1 První část prvního ramene

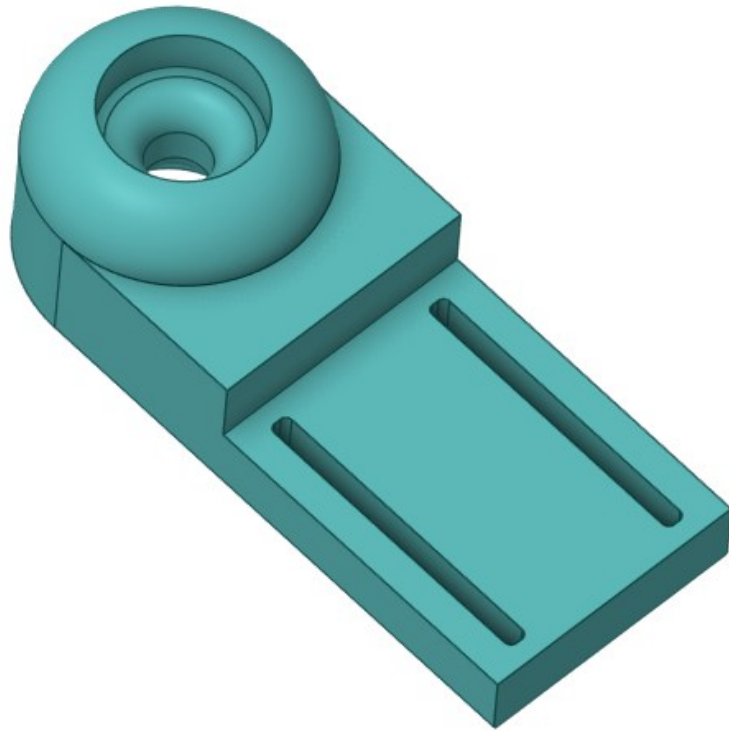
První část ramene je díl, na kterém se nachází ozubené kolo pro řemen GT2, které je poháněno řemenem od motoru v horní části pohyblivého mechanismu. Uvnitř otvoru tohoto dílu jsou umístěna dvě ložiska 6002-2RS, každé z jedné strany až po okraj otvoru. Uvnitř těchto ložisek jsou poté nalisovány dvě ložiska LM8UU tak, aby ložisko v horní části u ozubeného kola zůstalo třet 3 mm nad ozubené kolo.



Obrázek 24: První část prvního ramene

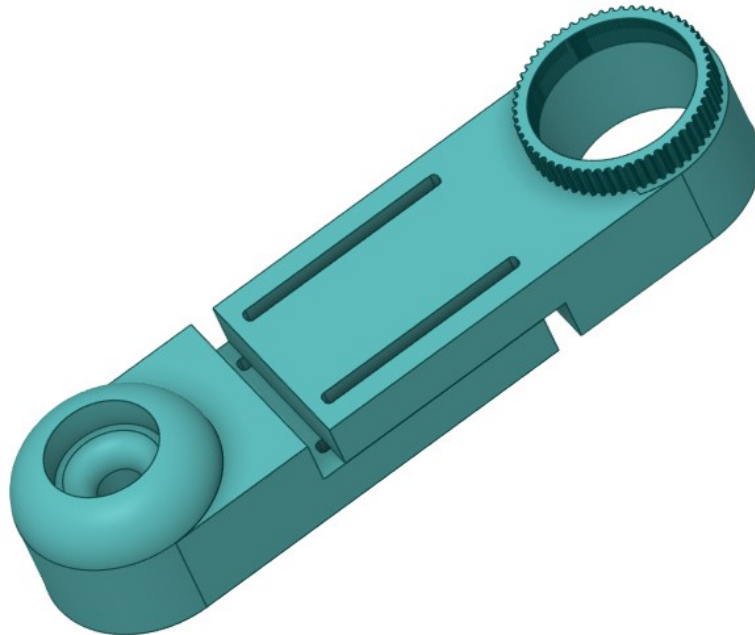
6.7.2 Druhá část prvního ramene

Druhá část ramene je připevněna k první části a je součástí, ke které bude připevněno další rameno. Pro potřeby připevnění dalšího ramene jsou v této části připravena místa pro vložení dvou ložisek 608ZZ. Právě šroubem skrze tato ložiska je připevněno další rameno tak, aby se mohlo otáčet nezávisle na prvním ramenu.



Obrázek 25: Druhá část prvního ramene

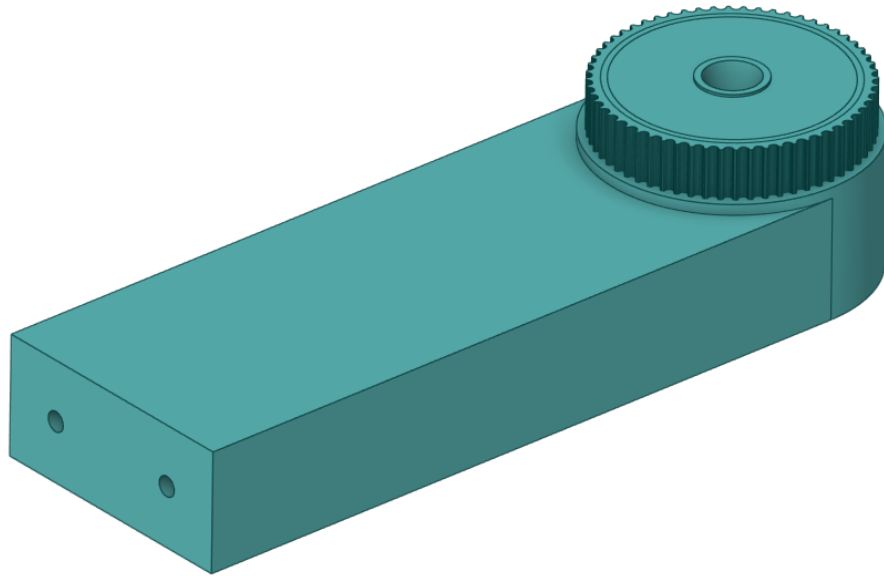
6.7.3 Celé první rameno



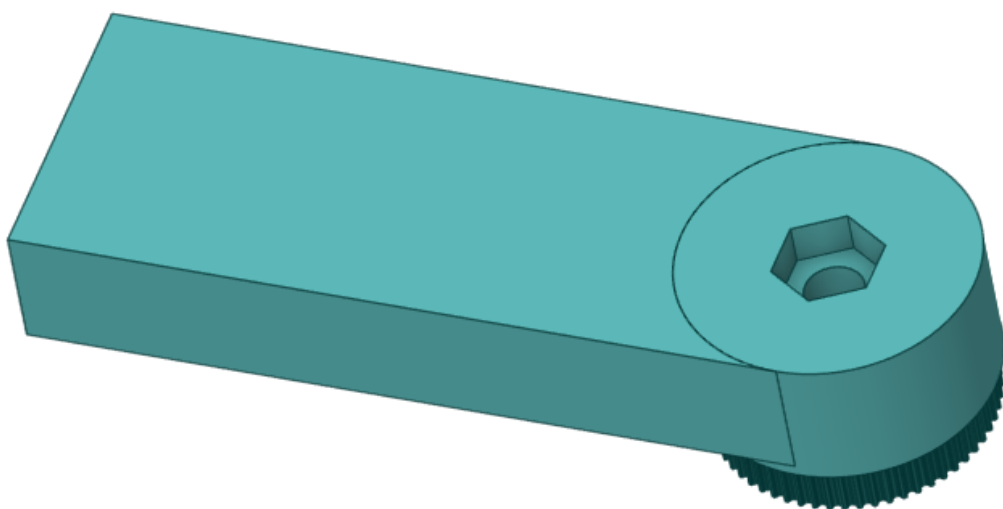
Obrázek 26: Celé první rameno

6.8 Druhé rameno

Druhé rameno je součástka ovládaná 350 mm dlouhým řemenem přes kladku umístěnou pod prvním ramenem. Rameno obsahuje ozubené kolo o 60 zubech pro řemen GT2. Ve spodní části je vytvořen otvor pro matici o průměru šestihranu 13 mm a otvor pro šroub M8 pomocí kterého je toho rameno připevněno k ložiskům v prvním ramenu. Na konci ramena jsou připraveny otvory pro připevnění gripperu.



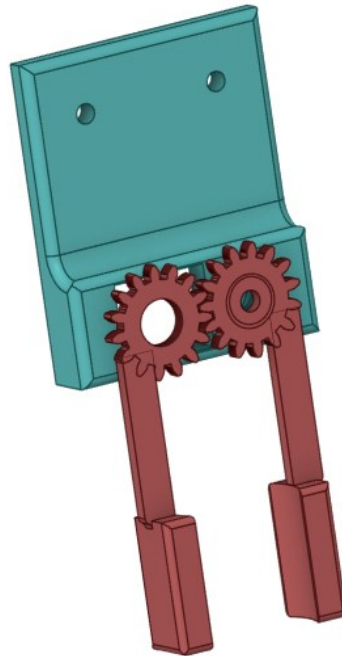
Obrázek 27: Druhé rameno shora



Obrázek 28: Druhé rameno zespod

6.9 Gripper

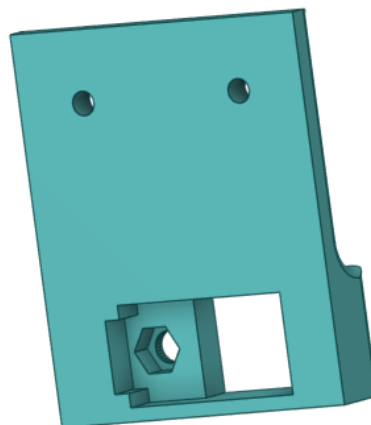
Gripper je část skládající se ze tří tištěných součástek a servomotoru SG90. Slouží k uchycení objektu, v tomto případě válce, a jeho držení. Gripper je navržen pro držení válcových součástek o průměru 20 mm.



Obrázek 29: Gripper

6.9.1 Základna gripperu

Základna gripperu je namontována pomocí dvou šroubů k druhému ramenu. V této základně je přimontován servomotor SG90. Pod servomotorem se nachází prostor pro šestihrannou matici o průměru 5,5 mm, ke které je pomocí šroubu připevněno jedno z ramen gripperu. Druhé rameno je poté připevněno přímo k hřídeli servomotoru.



Obrázek 30: Základna gripperu

7. Sestavení a zapojení zařízení

Složení celého zařízení spočívá v seskládání mechanické části a zapojení a zprovoznění elektroniky.

7.1 Sestavení mechanické části

Sestavování manipulátoru bylo započato vložení tří vodících tyčí do otvorů v základně. Dále byl do držáku motoru přišroubován krokový motor a tyto součástky nasunuty po vodících tyčích až na základnu, kde do sebe tyto části s použitím trochy síly přesně zapadly. Dále byla na motor namontována hřídelová spojka spolu s trapézovým šroubem.

Poté bylo třeba složit ramena, což spočívalo hlavně ve vkládání ložisek. Ložiska byla do tištěných dílů vlisována použitím vcelku velké síly, avšak pouze rukou bez použití dalšího nářadí, které by mohlo díly poškodit. Pouze pro vlisování dvou lineárních ložisek do vnitřní části kuličkových ložisek byl použit svěrák.



Obrázek 31: Ložisko 6002 nalisované v ozubeném kole

Dalšími kroky bylo složení gripperu a všech částí ramen k sobě, což spočívalo v jejich sešroubování po natažení řemenu mezi rameny.

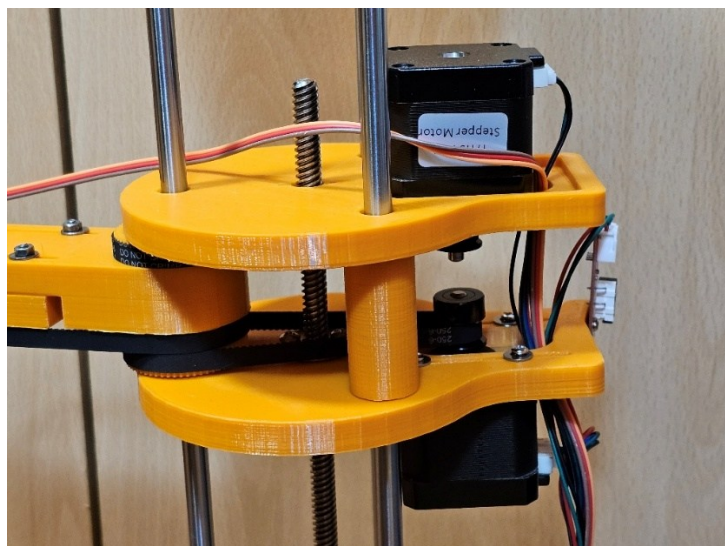


Obrázek 32: Složená ramena s řemenem

Také byla do spodní části pohyblivého mechanismu přišroubována trapézová matice.

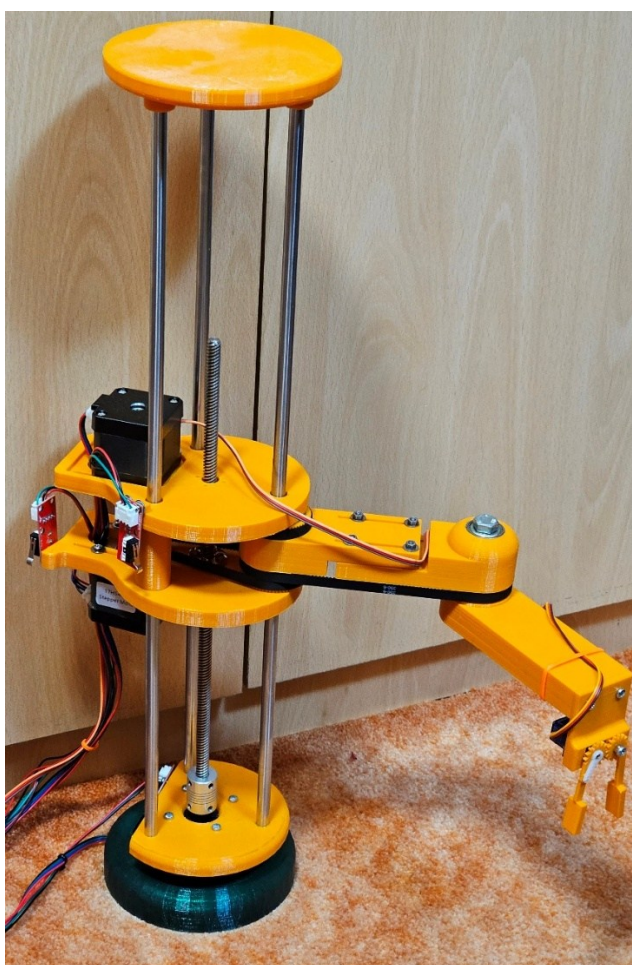
Kompletní sestavení pohyblivé části poté spočívalo v nasunutí dvou tištěných válečků a částí ložisek v prvním rameni po vložení řemenu do spodní a poté horní části pohyblivého mechanismu.

Celá pohyblivá část byla poté vložena lineárními ložisky na vodící tyče. A trapézová matice našroubována na trapézový šroub. Do otvorů pro motory ovládající řemeny, byly po namontování řemenic vloženy motory tak, aby byl řemen dostatečně natažen a přišroubovány. Přišroubovány byly také všechny koncové spínače na svých pozicích ve spodní části a pohyblivém mechanismu.



Obrázek 33: Složená pohyblivá část

Všechny kabely byly protaženy do spodní části tak, aby nepřekážely a zároveň byly dost dlouhé i při nejvyšším možném bodě, kterého může manipulátor dosáhnout. Nakonec už byl nasazen jen vrchní kryt, který razantně zpevnil celou konstrukci, která se s ním zdá značně robustnější.



Obrázek 34: Celý složený manipulátor

7.2 Zapojení

Při zapojování elektroniky manipulátoru byla nejprve připojena deska shieldu Ramps 1.4 k Arduino MEGA. Do shieldu byly následně osazeny do pozic označených X, Y a Z tři drivery A4988 pro ovládání třech krokových motorů. Také byly pod každý driver instalovány 3 jumpery pro nastavení mikrokrokování. Na čipy těchto driverů byly vlepeny hliníkové pasivní chladiče pro zajištění správného chodu bez přehřívání. Stejný chladič byl nainstalován i na měnič napětí na Arduino, který snižuje pro napájení logické části obvodů napětí z 12 V na 5 V. Po připojení napájecího napětí bylo zapotřebí nastavit referenční napětí na driverech dle hodnoty proudu požadovaného krokovými motory NEMA 17. Jmenovitý proud zvolených motorů je 1,7 A. Z důvodu tepelných ztrát na driverech, které jsou chlazeny jen malým pasivním chladičem, a také že pro pohyb s malými součástkami není potřeba mnoho síly, byl zvolen pro testování proud 0,9 A.

Nastavení referenčního napětí je popsáno následující rovnicí:

$$V_{ref} = I_{max} \cdot 8 \cdot R_s \quad (1)$$

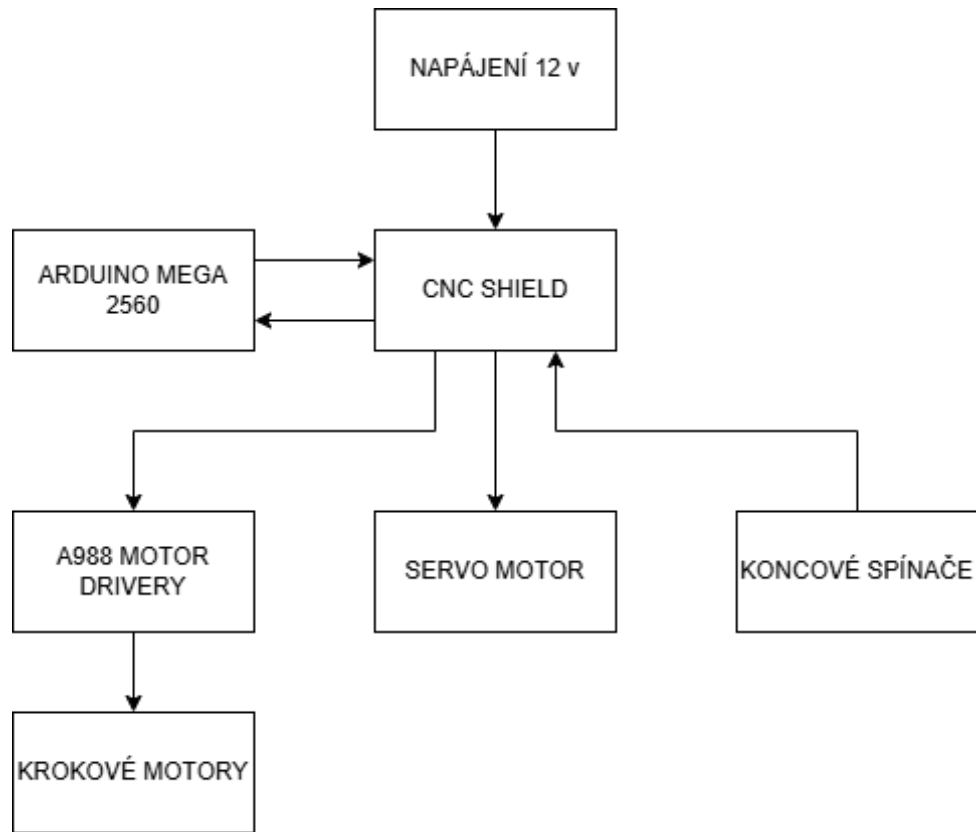
Kde V_{ref} je požadované referenční napětí, V

I_{max} je maximální proud motoru, A

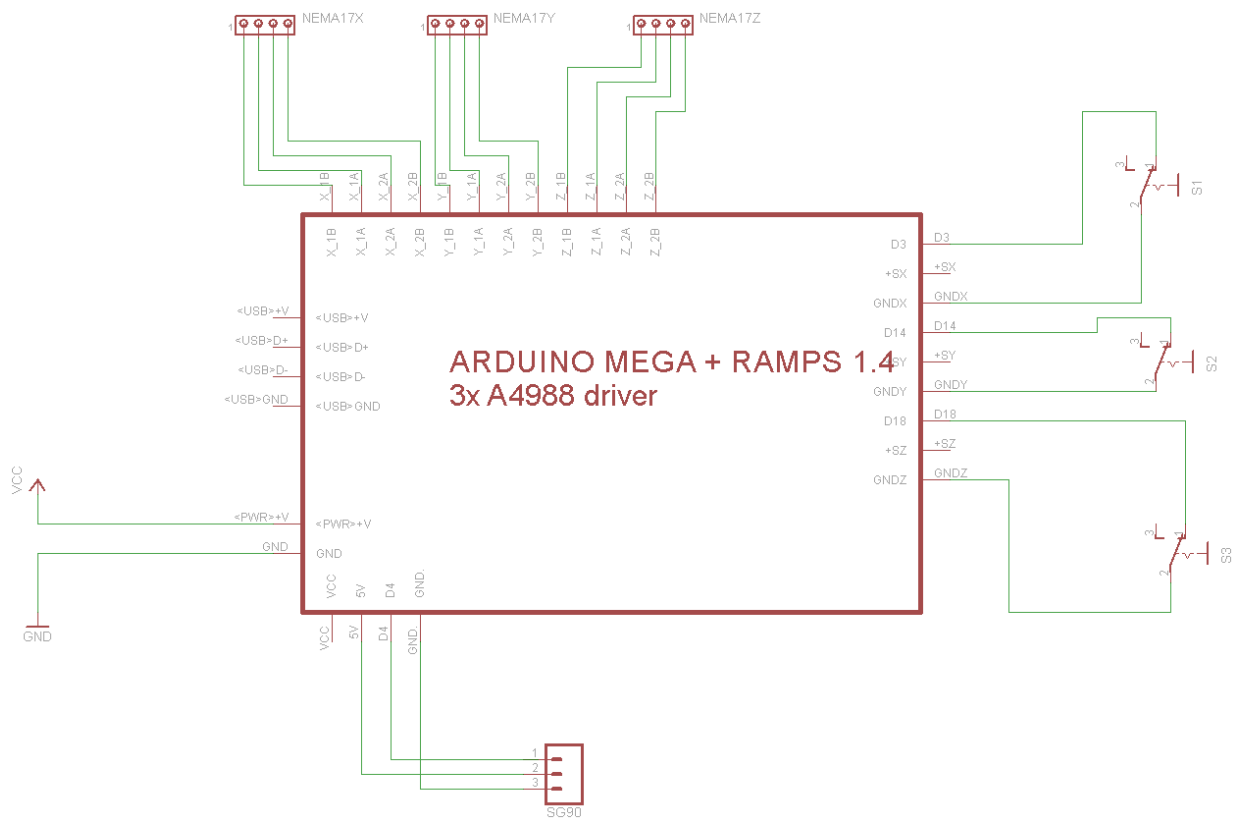
R_s je odpor snímacího rezistoru, Ω

V tomto případě po dosažení do rovnice dostáváme hodnotu požadovaného referenčního napětí 0,72 V. Toto napětí jsem nastavil po připojení napájecího zdroje měřením voltmetrem na nastavovacím trimmeru při jeho otáčení až do dosažení cílového napětí.

Po nastavení bylo napájení opět odpojeno a byly do shieldu zapojeny 3 motory do pozic X, Y a Z pro motory. Dále byly připojeny do určených pozic i koncové spínače a servomotor gripperu. Toto zapojení je zobrazeno na obrázku 36.



Obrázek 35: Blokové schéma zapojení manipulatoru



Obrázek 36: Schéma zapojení manipulatoru

Schéma zapojení na obrázku 35 zobrazuje zapojení servomotoru, krokových motorů, koncových spínačů a napájení do bloku složených desek Arduino MEGA s RAMPS 1.4 osazenou třemi drivery A4988.

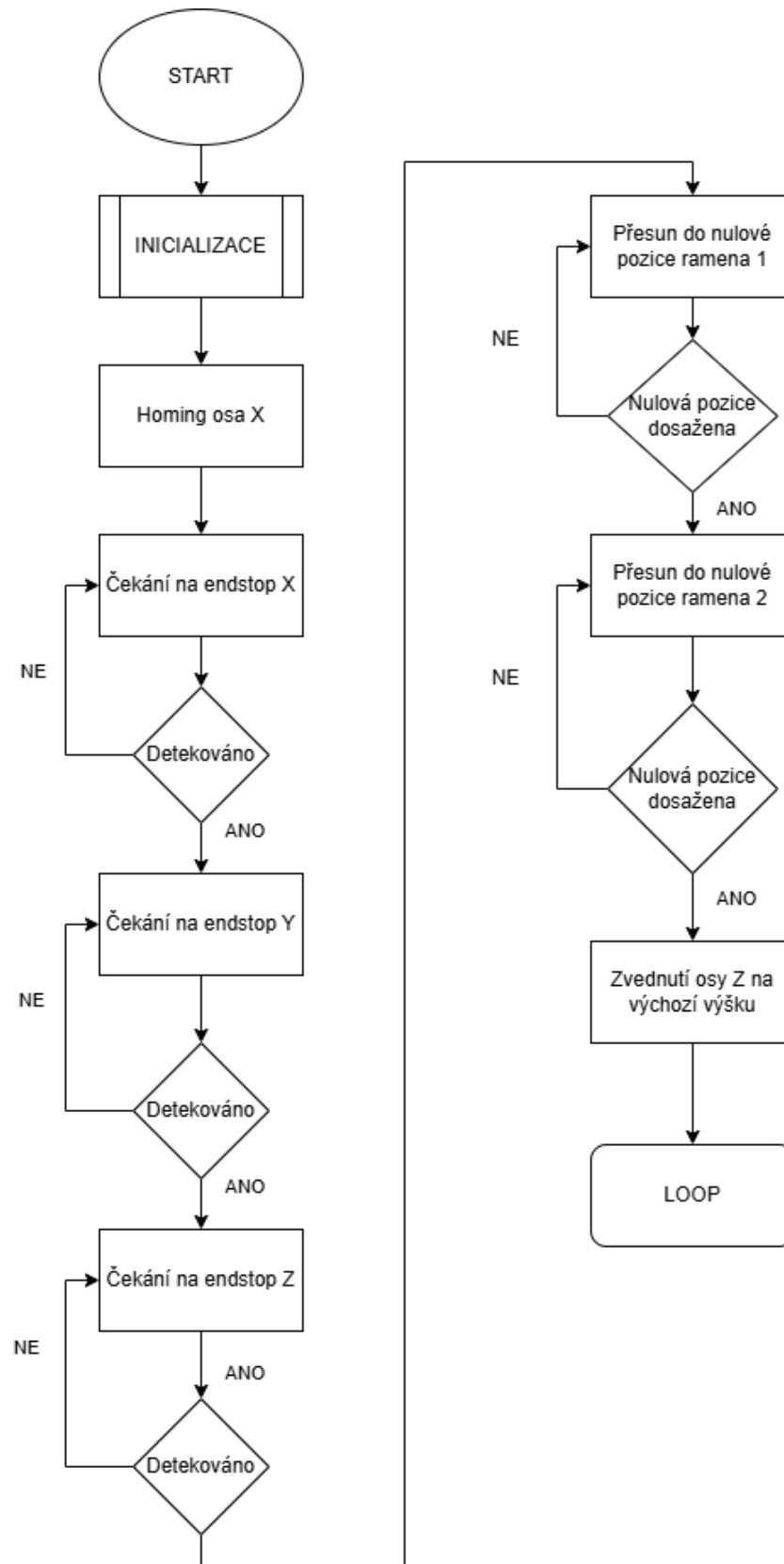
Tabulka 7: Seznam elektrických součástek

Arduino MEGA 2560 rev3	1x
CNC Shield Reprap Ramps 1.4	1x
Motor driver A4988	3x
Krokový motor NEMA17	3x
Servomotor SG90 9g	1x
Koncový spínač	3x
Napájecí adaptér 12 V, 6 A	1x

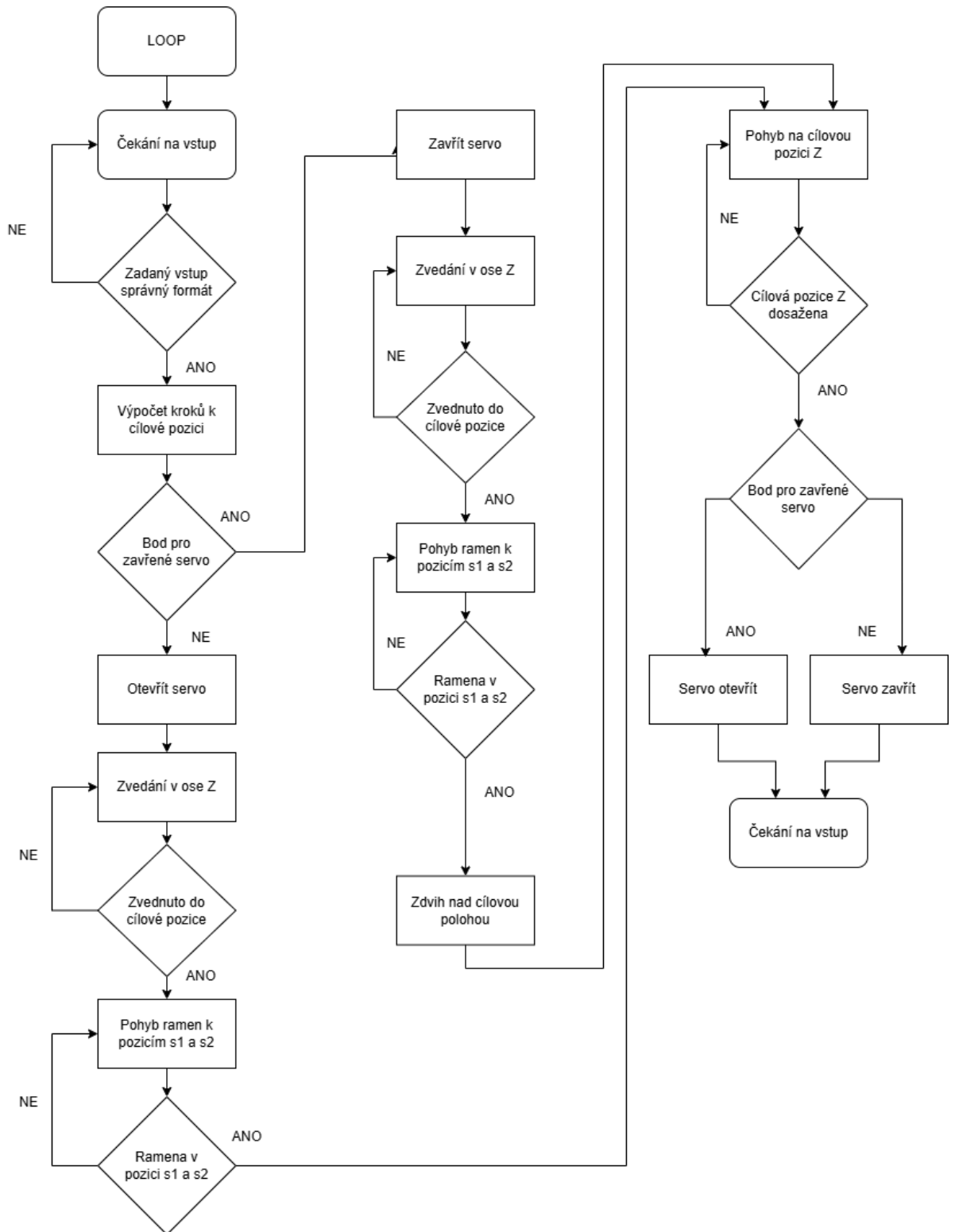
8. Software

K manipulátoru byl vytvořen kód v jazyce C++ pro jeho nastavení a ovládání ve vývojovém prostředí Arduino IDE. Kód, který je dodán v příloze, využívá knihovny AccelStepper pro ovládání krokových motorů a knihovnu Servo pro ovládání gripperu. Program zajišťuje inicializaci všech tří os, provedení nastavení základní pozice pomocí koncových spínačů, nastavení výchozích úhlů ramen a převod těchto úhlů na kroky motorů. Ukázkový program obsahuje 10 zadaných bodů, které se zadávají číslem v sériovém monitoru. Každému bodu jsou přiřazeny úhly natočení ramen počítané od základní polohy po kalibraci, výška na ose Z a stav gripperu. Ukázkový kód je nastaven pro přesun válcových objektů o průměru 20 mm a výšky 40 mm po ploše v rovině, na které je manipulátor umístěn, případně skládání těchto objektů nad sebe.

8.1 Vývojový diagram



Obrázek 37: Vývojový diagram – nastavení výchozích pozic



Obrázek 38: Vývojový diagram loop

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a zkonstruovat rovinný tříosý manipulátor pro manipulaci s drobnými součástkami. Na základě rešerše byl pro své vlastnosti zvolen SCARA manipulátor, jehož výhodami jsou vynikající tuhost v horizontální rovině či rychlost přemísťování.

Byla provedena kompletní konstrukce zařízení, včetně návrhu 3D modelů, výběru a zapojení potřebné elektroniky a implementaci řídicího programu.

Mechanická konstrukce byla navržena v 3D CAD prostředí a následně vytištěna FDM tiskárnou z materiálu PETG. Vertikální pohyb je poháněn krokovým motorem se závitovou tyčí a pohyb ramen je poháněn krokovými motory pomocí řemenů na rotačních kloubech.

Jako řídicí jednotka bylo vybráno Arduino MEGA 2560 s CNC shieldem Ramps 1.4. Komunikace s nadřazeným počítačem probíhá pomocí USB rozhraní. Firmware mikropočítače zajišťuje kalibraci nulových poloh, nastavení základních úhlů, výšky a ovládání gripperu.

Pracovní plocha manipulátoru pro přesun drobných součástek má tvar poloviny kruhu o poloměru 230 mm s vynechaným středem, kde se nachází základna, a s fyzickou možností po úpravě kódu zvedat objekty do výšky až 280 mm.

Možným vylepšením by byla větší základna, či základna s montážními otvory pro pevné přimontování k pracovní ploše, to však pro drobné, a tedy lehké součástky, není nutné. Další možností vylepšení tohoto zařízení by byl kód, který by umožnil zadávání souřadnic místo přednastavených bodů. Poslední možné vylepšení by byl paralelní gripper, který by umožnil větší rozsah velikostí přenášených objektů a případně ve spojení s dalším rotačním kloubem i větší rozsah jejich tvarů.

Tabulka 8: Parametry tříosého manipulátoru

Max. vzdálenost od nulového bodu v rovině	460 mm
Max. výška	280 mm
Doba přesunu po max. vzdálenost v rovině	14 s
Doba zvednutí po ose Z o 50 mm	5 s
Doba otevření a zavření gripperu	1 s
Výška celého zařízení	525 mm
Napájení	12 V, 6 A

POUŽITÁ LITERATURA

The six different types of manipulators in robotics. Online. Standard bots. 2025. Dostupné z: <https://standardbots.com/blog/the-six-different-types-of-manipulators-in-robotics>. [cit. 2025-04-10].

Types of industrial robots and their different uses. Online. HowToRobot. 2024. Dostupné z: <https://howtorobot.com/expert-insight/industrial-robot-types-and-their-different-uses>. [cit. 2025-04-10].

HUGHES, Austin a DRURY, Bill. Electric motors and drives: fundamentals, types and applications. Fifth Edition. Oxford: Newnes, 2019. ISBN 978-0-08-102615-1.

What is Arduino? Online. Arduino. 2018. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction/>. [cit. 2025-04-23].

Arduino Mega 2560 Rev3. Online. Arduino store. 2025. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/en-cz/products/arduino-mega-2560-rev3>. [cit. 2025-04-23].

Arduino Mega2560 rev3, originál. Online. LaskaKit. 2025. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/arduino-mega2560-rev3--original/>. [cit. 2025-04-23].

How to Use an Arduino CNC Shield? Online. 2025. Dostupné z: <https://technetronelectronics.com/how-to-use-an-arduino-cnc-shield/>. [cit. 2025-04-23].

Reprap Ramps 1.4 pro 3D Tiskárny, CNC. Online. LaskaKit. 2025. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/reprap-ramps-1-4-pro-3d-tiskarny--cnc/#ratingTab>. [cit. 2025-04-23].

RAMPS 1.4. Online. RepRap. 2024. Dostupné z: https://www.reprap.org/wiki/RAMPS_1.4. [cit. 2025-04-23].

Krokový motor NEMA 17 17HS4401 0,4Nm. Online. LaskaKit. 2025. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/krokovy-motor-nema-17-17hs4401-0-4nm/>. [cit. 2025-04-23].

Plastové micro servo SG90 9g, 180°. Online. LaskaKit. 2025. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/plastove-micro-servo-sg90-9g--180/>. [cit. 2025-04-26].

Original motor driver A4988 Pro Reprap 3D Tiskárny. Online. Drátek.cz. 2025. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1133-motor-driver-a4988-pro-reprap-3d-tiskarny.html>. [cit. 2025-04-28].

Koncový doraz a spínač. Online. Drátek.cz. 2025. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/997-koncovy-doraz-spinac.html>. [cit. 2025-04-28].

Napájecí zdroj Akyga AK-ND-28 12V/6A 72W 5.5x2.5mm konektor - neoriginální. Online. Baterie TRX. 2025. Dostupné z: <https://www.trx-baterie.cz/Napajeci-zdroj-Akyga-AK-ND-28-12V-6A-72W-5-5x2-5mm-konektor-neoriginalni-d1941.htm#detail-anchor-description>. [cit. 2025-05-07].

- 6002-2RS ZKL. Online. PRODEJ LOŽISEK. 2025. Dostupné z: <https://www.zkl-loziska.cz/kulickova-loziska/6002-2rs-zkl/>. [cit. 2025-04-28].
- Kuličkové ložisko 608zz, 608ZZ. Online. Levné 3D tiskárny. 2019. Dostupné z: <https://www.levne3dtiskarny.cz/cs/loziska/640-kulickove-lozisko-608zz-608zz.html>. [cit. 2025-04-28].
- Lineární kuličkové ložisko D8mm LM8UU, LM8UU. Online. Levné 3D tiskárny. 2019. Dostupné z: <https://www.levne3dtiskarny.cz/cs/loziska/152-linearni-kulickove-lozisko-d8mm-lm8uu-lm8uu.html>. [cit. 2025-04-28].
- Slovníček terminologie lineárních vedení. Online. E-konstruktor. 2016. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/slovnicek-terminologie-linearnich-vedeni>. [cit. 2025-04-28].
- Trapézový šroub D8/2/T8, 300 mm, stoupání 8 mm, D82T8300. Online. Levné 3D tiskárny. 2019. Dostupné z: <https://www.levne3dtiskarny.cz/cs/zavitove-tyce-a-matice/144-trapezovy-sroub-d82t8-300-mm-d82t8300.html>. [cit. 2025-04-28].
- Mosazná matice T8 - bezvulová, MT8ABL. Online. Levné 3D tiskárny. 2019. Dostupné z: <https://www.levne3dtiskarny.cz/cs/zavitove-tyce-a-matice/198-mosazna-matice-t8---bezvulova-mt8abl.html>. [cit. 2025-04-28].
- Vodící tyč ocelová, chromovaná - Průměr 8 mm, délka 500 mm. Online. Drátek.cz. 2025. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/148611-vodici-tyc-ocelova-chromovana-prumer-8-mm-delka-400-mm-2.html>. [cit. 2025-04-28].
- Ozubený řemen GT2 6 mm - Uzavřený, 250 mm. Online. Drátek.cz. 2025. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/149682-ozubeny-remen-gt2-6mm-uzavreny-250-mm.html>. [cit. 2025-04-28].
- Řemenice GT2/6, 20 zubů, 5mm, černá, GT26P20T5BK. Online. Levné 3D tiskárny. 2019. Dostupné z: <https://www.levne3dtiskarny.cz/cs/remeny-remenice/485-remenice-gt26-20-zubu-5mm-cerna-gt26p20t5bk.html>. [cit. 2025-04-28].
- Hřídelová pružná spojka CNC - 5 x 8 mm. Online. Drátek.cz. 2025. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/122878-hridelova-spojka-pruzna-cnc-5x8mm.html>. [cit. 2025-04-28].
- DesignSpark CAD Design & 3D Modelling Software. Online. RS DesignSpark. 2025. Dostupné z: <https://www.rs-online.com/designspark/mechanical-software>. [cit. 2025-04-28].
- OpenSCAD Gear Library with Customizer. Online. Thingiverse. 2020. Dostupné z: <https://www.thingiverse.com/thing:4194148>. [cit. 2025-04-29].
- 3D tisk: jak funguje FDM/FFF tiskárna? Online. Svět Hardware. 2019, s. 1,2,3. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/3d-tisk-jak-funguje-fdm-fff-tiskarna/48457-2>. [cit. 2025-05-07].

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Návod k použití

Příloha B: 3D modely

Příloha C: Zdrojový kód zařízení

Příloha A: Návod k použití

Po vizuální kontrole že zařízení není nijak poškozené umístěte manipulátor na pracovní plochu. Pracovní plocha je prostor bez překážek, do kterých by mohla narážet ramena manipulátoru. Připojte zařízení pomocí USB kabelu k počítači, kde je nainstalovaný program Arduino IDE. Po připojení k portu zapněte Serial Monitor. Připojte k zařízení napájecí zdroj. Zařízení provede kalibraci počáteční polohy. Po dokončení kalibrace pokračujte dle pokynů v konzoli Serial Monitor.

Kód obsahuje 10 přednastavených pozic. Pozice 1–5 jsou pozice cílové, kde je manipulovaný objekt vyložen. Pozice 6–10 jsou pozice nakládací, kde je manipulovaný objekt naložen. Pozice 1–5 korespondují s pozicemi 6–10. Chcete-li například naložit objekt na pozici 1, zadáte číslo 6, což je nakládací pozice na stejném místě jako vykládací pozice 1.

Pozice 5 a 10 se nachází ve výšce nad objektem v pozici 4 a 8, proto je pro vyložení objektu v pozici 5 nutné, aby byl již jiný objekt umístěn v pozici 4.

Pozice 1 a 6 se nachází v rovině pod nulovým bodem po kalibraci.

Do konzole zadejte číslo 1–10 a vyčkejte, než bude objekt naložen či vyložen. Poté můžete proces opakovat.