

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

Michal Šimon

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

SENZORICKÉ CHAPADLO ROBOTICKÉHO RAMENE

Michal Šimon

Bakalářská práce

2022

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Michal Šimon**
Osobní číslo: **I19042**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Téma práce: **Senzorické chapadlo robotického ramene**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je návrh a realizace senzorického chapadla robotického ramene. Pohyb mechanických částí chapadla bude realizován soustavou stejnosměrných motorů. Jednotlivé mechanické části chapadla budou opatřeny senzory tlaku pro možnost zpětnovazební regulace síly uchopení předmětu. Pro ovládání chapadla bude navržena a realizována mikropočítačová řídicí jednotka, která bude umožňovat přenos diagnostických údajů stavu chapadla a jeho přímé řízení. Základem řídicí jednotky bude použit vybraný vývojový kit s mikropočítačem typu ATmega (např. Arduino UNO, Mega atp.). Mechanické řešení efektoru bude vycházet z návrhu modelu realizovaném ve 3D CAD software.

Praktická realizace konstrukce bude ve formě prototypu s využitím možností 3D tisku. Firmware řídicí jednotky bude navržena a realizována v jazyce C pro mikrokontroléry (případně jeho klonu). Součástí práce bude i podrobně zpracovaná výrobní dokumentace, zdrojové kódy firmware mikropočítače a uživatelský manuál.

Rozsah pracovní zprávy: **40**
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
MATOUŠEK, D., Aplikace ATmega644, BEN – technická literatura, 2013, ISBN 978-80-7300-492-7
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

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

Datum zadání bakalářské práce: **17. prosince 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **13. května 2022**

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

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

V Pardubicích dne 7. ledna 2022

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci 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 13. 05. 2022

Michal Šimon

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu této bakalářské práce, panu Ing. Liboru Havlíčkovi, Ph.D., za veškerou pomoc při návrhu, výrobě a sepsání bakalářské práce.

V Pardubicích dne 13. 05. 2022

Michal Šimon

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací modelu robotického chapadla s tlakovými senzory. Nejprve byl proveden fyzický návrh robotického chapadla a poté jeho zhotovení na 3D tiskárně. Následně je vypracován simulační program v prostředí Arduino IDE v jazyce Wiring. Cílem je osvojit si práci návrhu a realizace přístrojů v oblasti automatizace.

KLÍČOVÁ SLOVA

robot, efektor, Arduino, motor, senzory

TITLE

ROBOTIC ARM SENSORY GRIPPER

ANNOTATION

The bachelor thesis deals with the design and implementation of robotic gripper model with pressuer sensors. First, the physical design of the robotic gripper was carried out and then its fabrication on 3D printer. Subseqeuntly, a simulation program is developed in the Arduino IDE environment in Wiring language. The aim is to master the work of designing and implementing devices in the field of automation.

KEYWORDS

Robot, Gripper, Arduino, Motor, Sensors

OBSAH

Seznam ilustrací	9
Seznam zkratek a značek	11
Seznam symbolů veličin	12
Seznam tabulek	13
Úvod	15
1 Koncové efekторы	16
1.1 Rozdělení z konstrukčního hlediska	16
1.1.1 Technologické výstupní hlavice	17
1.1.2 Manipulační výstupní hlavice	18
1.1.3 Kombinované výstupní hlavice	19
1.1.4 Speciální vstupní hlavice	19
2 Stejnoseměrné motory	20
2.1 Řízení DC motorů pomocí H – můstku	21
2.1.1 Princip funkce H – můstku	21
2.2 Řízení DC motoru pomocí PWM signálu	23
3 Čidla síly	24
3.1 Hmatové snímače síly	24
3.1.1 Piezorezistivní hmatové senzory	25
4 Mikroprocesory a Mikrokontroléry	26
4.1 Mikroprocesory	26
4.2 Mikrokontroléry	26
5 Jednodeskový počítač Arduino	29
5.1 Arduino Uno	30
5.1.1 Hlavní části Arduino Uno	30
5.2 Arduino Mega 2560	32

5.3	A/D převodník Arduino desky	34
5.4	Nextion displej	35
5.5	Arduino shieldy	36
6	Návrh robotického chapadla	37
6.1	Prsty robotického chapadla	38
6.2	Dlaň robotického chapadla	41
6.3	Šnekový převod	43
6.4	Podstavec robotického chapadla	44
6.5	Zvolený materiál pro 3D tisk	45
6.6	Kompletní sestavení robotického efektory	47
7	Elektronické komponenty	48
7.1	Arduino motor shield	49
7.2	Použité stejnosměrné motory	49
7.3	Zpětná vazba robotického chapadla	51
7.3.1	Kalibrace snímačů	51
7.4	Uživatelské rozhraní	53
7.5	Napájení robotického chapadla	53
8	Software	55
	Závěr	58
	Použitá literatura	60
	Přílohy	62

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Hlavice pro obloukové svařování (KUKA ready2, 2022)	17
Obr. 1.2 – Hlavice pro bodové svařování (Spot welding, 2022)	17
Obr. 1.3 – Magnetické chapadlo (Bonanomi, 2019)	18
Obr. 1.4 – Kombinovaná výstupní hlavice (Kolíbal, 2016)	19
Obr. 1.5 – Speciální výstupní hlavice (Sinatra, 2019)	19
Obr. 2.1 – Princip funkce DC motoru (Stejnoseměrný motor, 2021)	20
Obr. 2.2 – Schéma zapojení H – můstku (Modular circuits, 2011)	21
Obr. 2.3 – Tok proudu tranzistory Q1 a Q4 (Modular circuits, 2011)	22
Obr. 2.4 – Tok proudu tranzistory Q3 a Q2 (Modular circuits, 2011)	22
Obr. 2.5 – Pulzně šířková modulace (PWM, 2021)	23
Obr. 3.1 – Piezorezistivní hmatový senzor (FSR402, 2010)	25
Obr. 4.1 – Architektura mikrokontroleru (Váňa, 2003a).....	27
Obr. 4.2 – Mikrokontroler ATmega328 (ATmega328, 1998)	28
Obr. 5.1 – Vývojová deska Arduino Uno (Uno, 2022)	30
Obr. 5.2 – I/O piny Arduino Uno (Uno, 2022)	31
Obr. 5.3 – Komponenty desky Arduino Uno (Warwick, 2021)	32
Obr. 5.4 – Deska Arduino Mega 2560 (Mega 2560, 2022)	32
Obr. 5.6 – Blokové schéma funkce A/D převodníku (Ulbricht, 2020)	34
Obr. 5.7 – Nextion displej (Nextion 3.2, 2011)	35
Obr. 5.8 – Arduino motor shield (Motor shield, 2011)	36
Obr. 6.1 – Robotický tříprstý efektor firmy Robotiq (Gripper, 2012)	37
Obr. 6.2 – Vnitřní strana prstu	38
Obr. 6.3 – Mechanická táhla	39
Obr. 6.4 – Ozubené převody	39
Obr. 6.5 – Sestavené prsty pro robotické chapadlo	40

Obr. 6.6 – Dlaň robotického efektoru	41
Obr. 6.7 – Sestrojená dlaň se šnekovým převodem	42
Obr. 6.8 – Šnekový převod	43
Obr. 6.9 – Spodní část podstavce	44
Obr. 6.10 – Horní část podstavce	45
Obr. 6.11 – Tisk robotického chapadla na tiskárně Prusa MINI+	46
Obr. 6.12 – Kompletní konstrukce	47
Obr. 7.1 – Blokové schéma robotického efektoru	48
Obr. 7.2 – Arduino Motor shield napojený na Arduino Mega 2560	49
Obr. 7.3 – Použitý DC motor pro robotické chapadlo (DC motor, 2011)	50
Obr. 7.4 – Schéma zapojení připojení DC motorů na Arduino Motor shield	50
Obr. 7.5 – Schéma zapojení připojení piezorezistivního senzoru	51
Obr. 7.6 – Připojení Nextion displeje na Arduino Mega 2560	53
Obr. 7.7 – Schéma zapojení pro napájení robotického chapadla	54
Obr. 8.1 – Vývojový diagram řídicího programu	55
Obr. 8.2 – Základní příkazy pro chod DC motoru	56
Obr. 8.3 – Příkaz pro příjem zprávy z Nextion displeje	56
Obr. 8.4 – Nastavení míry přítlačné síly	57

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

3D	třírozměrný
A/D	analog / digitál
ALU	aritmeticko-logická jednotka
BLDC	bezkartáčový stejnosměrný motor
CISC	počítač s komplexní sadou instrukcí
CPE	kopolyester
CPU	centrální procesorová jednotka
D/A	digitál / analog
DC	stejnosměrný proud
EEPROM	elektricky vymazatelná programovatelná paměť pouze pro čtení
EPROM	vymazatelná programovatelná paměť pouze pro čtení
FSR	piezorezistivní senzor síly
GND	uzemnění
GUI	grafické uživatelské rozhraní
HMI	rozhraní člověk – stroj
I/O	vstup / výstup
ICSP	přímě programování po sériové lince
IDE	vývojové prostředí
LED	elektroluminiscenční dioda
PETG	polyetyléntereftalát s modifikovaným glykolem
PLA	polylaktidová vlákna
PWM	pulzně šířková modulace
RAM	paměť s náhodným přístupem
RICS	počítač s redukovanou instrukční sadou
ROM	paměť pouze pro čtení
RX	přijímat
SLA	stereolitografie
SMD	součástky pro povrchovou montáž
SRAM	statická paměť s náhodným přístupem
TWI	dvouvodičové rozhraní
TX	přenos

SEZNAM SYMBOLŮ VELIČIN

a	zrychlení, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
F	síla, N
G	statická síla, F
g	tíhové zrychlení, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
I	elektrický proud, A
m	hmotnost, kg
R	elektrický odpor, Ω
T	perioda
U	elektrické napětí, V

SEZNAM TABULEK

Tab. 6.1 – Technické parametry robotického efektoru	47
Tab. 7.1 – Hodnoty naměřené při kalibraci snímače	52

ÚVOD

Tato práce pojednává o návrhu a vytvoření modelu robotického chapadla disponujícím tlakovými senzory. Cílem je navrhnout a zkonstruovat model robotického chapadla, které bude poskytovat zpětnou vazbu v podobě vyvinutého tlaku na daný předmět. Návrh se bude inspirovat již zhotovenými modely robotických efektorů. Ovládání robotického chapadla bude realizováno nezávisle na robotickém rameni. Dále je tedy zapotřebí mapovat vzniklé překážky spojené s návrhem, realizací a testování daného chapadla.

1 KONCOVÉ EFEKTORY

Koncový efektor (výkonný orgán, výstupní hlavice, chapadlo) je v robotice zařízení, které se obvykle nachází na konci průmyslových robotů a manipulátorů. Tyto efekторы jsou instalovány na průmyslové roboty a manipulátory, podle toho, k jaké práci budou určeny. U průmyslových robotů a manipulátorů se zejména jedná o tyto činnosti (Kolíbal, 2016):

- přesun a vkládání objektů, v rámci pracovního prostoru, ve výrobních zařízeních,
- mezioperační manipulace,
- kontrolní operace,
- speciální operace.

Termín „chapadlo“, který se mnohdy objevuje u průmyslových robotů a manipulátorů, není vždy úplně přesným pojmenováním koncového efektoru. Jedná se pouze o označení části ze všech výstupních hlavic průmyslových robotů a manipulátorů, které vykonávají výše uvedený typ práce. Koncový efektor je dále možné instalovat na nezměrné množství různě navržených robotů a manipulátorů, jejich hardwarovou stavbu však nijak neovlivňuje. Tato instalace se provádí pomocí spojovacích komponentů, který slouží k upevnění výstupních efektoru k robotickému rameni. Součástí těchto komponentů jsou také různé typy rozvodů (elektrické, hydraulické, pneumatické) (Kolíbal, 2016).

1.1 ROZDĚLENÍ Z KONSTRUKČNÍHO HLEDISKA

Z konstrukčního hlediska lze koncové efekторы rozdělit na výstupní hlavice:

- technologické,
- manipulační (chapadla),
- kombinované,
- speciální.

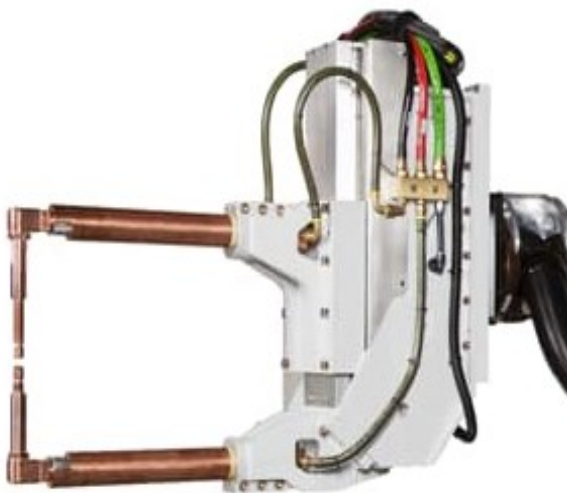
Díky velkému pokroku v oblasti automatizace bychom mohli zařadit další oddělení koncových efektoru. Jedná se o oddělení, do kterého spadají efekторы, které se dokáží automaticky vyměnit během pracovního procesu. Tento pokrok velmi zvyšuje umělou inteligenci robotických systémů (Kolíbal, 2016).

1.1.1 Technologické výstupní hlavice

Koncové efekty rozdělené z konstrukčního hlediska do kategorie technologické, vykonávají typicky aplikace, jako jsou svařování nebo nanášení nátěrů a ochranných hmot. Mohou to být také operace vykonávané robotem pomocí uzpůsobeného nástroje nebo stroje (Kolíbal, 2016).



Obr. 1.1 – Hlavice pro obloukové svařování (KUKA ready2, 2022)



Obr. 1.2 – Hlavice pro bodové svařování (Spot welding, 2022)

Prakticky všechny technologické výstupní hlavice, které jsou montovány na průmyslového robota, či manipulátor, jsou v průmyslu využívány v kombinaci s polohovacím nebo podávacím zařízením v podobě robota zakončeném manipulační výstupní hlavicí. Největší využití proto nacházejí ve výrobních prostorech automobilek (Kolíbal, 2016).

1.1.2 Manipulační výstupní hlavice

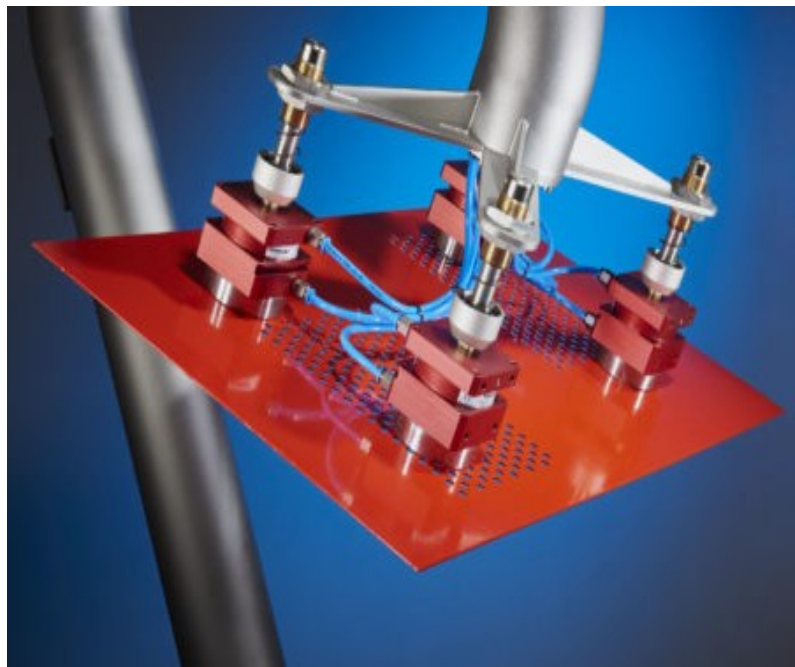
Manipulační výstupní hlavice, jak už název napovídá, jsou určeny k uchopování a následné manipulaci s určitým objektem. Jsou konstruovány přímo pro danou aplikaci pro uživatele průmyslových robotů. Tyto výstupní hlavice se označují jako „úchopové prvky“. Manipulační výstupní hlavice můžeme dělit do 3 odvětví, a to podle úchopové síly (Kolíbal, 2016):

- mechanické,
- magnetické,
- podtlakové.

Dále můžeme dělit manipulační výstupní hlavice na:

- pasivní,
- aktivní.

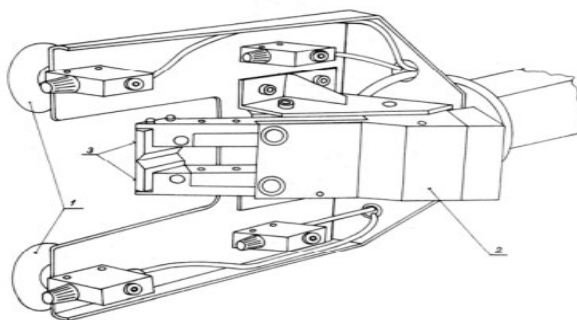
Základní rozdíl mezi pasivními a aktivními úchopovými prvky je, že pasivní úchopové prvky nemohou samy ovládat úchopovou sílu, kterou vytváří chapadlo na uchopovaný předmět. Pasivní úchopové hlavice jsou vytvořené pouze z pasivních prvků, tudíž je potřeba k uvolnění vnější zásah uživatele (Kolíbal, 2016).



Obr. 1.3 – Magnetické chapadlo (Bonanomi, 2019)

1.1.3 Kombinované výstupní hlavice

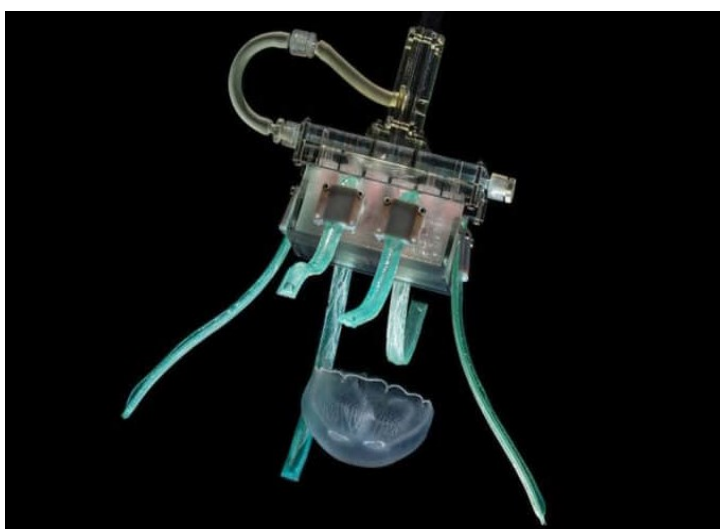
Za kombinované výstupní hlavice považujeme hlavice, které jsou kombinací technologické hlavice a uchopovacího efektoru. Kombinované výstupní hlavice se nejčastěji používají při manipulaci s plastickou hmotou. Velkou výhodou kombinovaných výstupních hlavice je integrace technologické části přímo do hlavice. Na obr. 1.4 můžeme vidět integraci tří částí v podobě čtyř podtlakových komor 1, pneumatické nůžky 2 a následně samotné čelisti nůžek 3 (Kolíbal, 2016).



Obr. 1.4 – Kombinovaná výstupní hlavice (Kolíbal, 2016)

1.1.4 Speciální vstupní hlavice

Speciální výstupní hlavice se nedají zařadit do žádné z předchozích skupin, které jsou uvedeny v předešlých kategoriích efektorů. Tento typ hlavice má největší využití u servisních robotů a jsou zpravidla vybaveny senzory. Mezi nejdůležitější senzory pro speciální výstupní hlavice jsou hmatové senzory (Kolíbal, 2016).

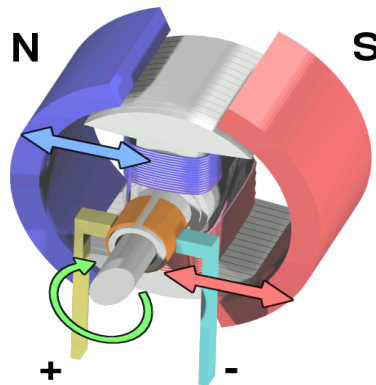


Obr. 1.5 – Speciální výstupní hlavice (Sinatra, 2019)

2 STEJNOSMĚRNÉ MOTORY

Motory jsou nedílnou součástí každého efektoru pro robotické rameno. Motory výstupního efektoru mají za úkol pohon kloubních pohybů, které nadále umožňují efektoru realizovat požadovaný pohyb mechanického systému (Siciliano, 2010).

Stejnosemřné motory patří mezi nejjednodušší motory ze všech. Tento typ motorů využívá k otáčení kotvy motoru magnetické pole, které je generované elektromagnetem. Při přivedení napájení magnetické pole generované elektromagnetem způsobí, že kotva vytvoří vlastní magnetické pole. Magnetické pole kotvy a elektromagnetu se poté navzájem vytlačují a způsobují otáčení kotvy (Hughes, 2013).



Obr. 2.1 – Princip funkce DC motoru (Stejnosemřný motor, 2021)

Stejnosemřné motory jsou vhodným typem motoru pro polohové mechanismy, jelikož disponují velmi dobrou regulací otáček motoru (Skařupa, 2008). Díky svým přednostem drží svoji pozici na poli průmyslového použití jak v oblasti výstupních efektorů, tak v oblasti robotických ramen (Roubíček, 2004).

Mezi největší výhody stejnosemřných motorů (zejména s cizím buzením) patří:

- jednoduché řízení otáčení rychlosti motoru,
- velký točivý moment,
- jednoduchá změna směru otáčení motoru.

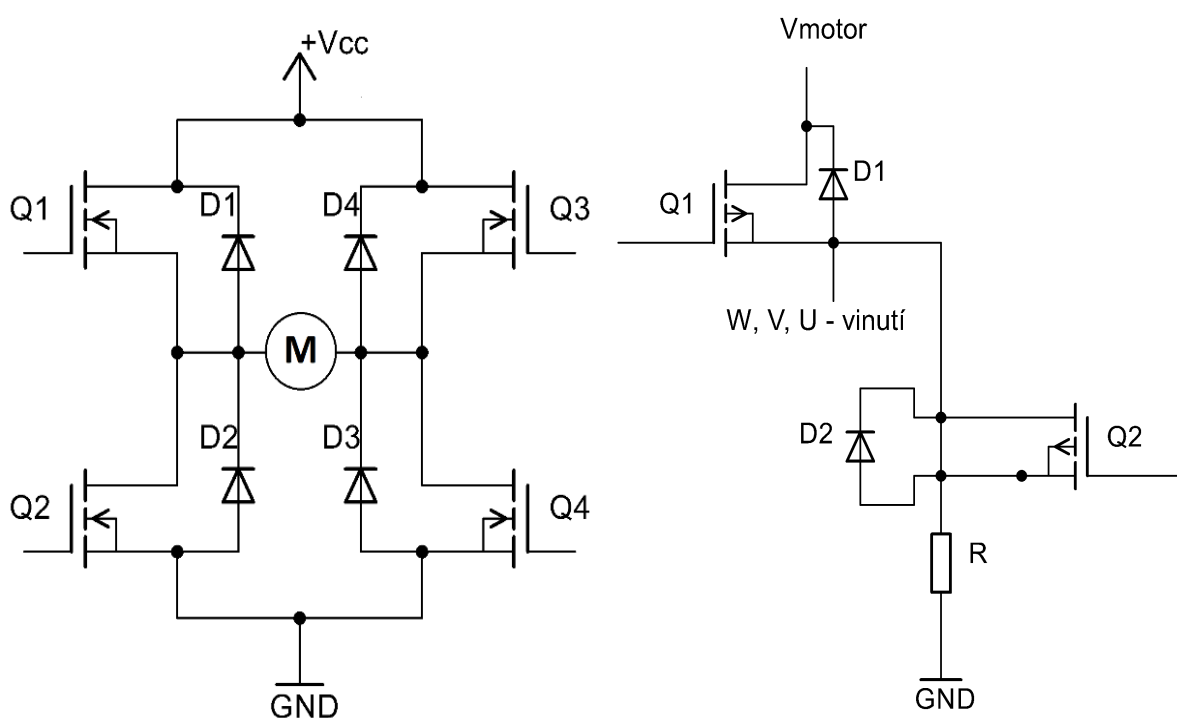
Za nevýhodu stejnosemřných motorů můžeme považovat:

- potřeba náročné údržby komutátoru,
- větší výrobní náklady komutátoru (Roubíček, 2004).

2.1 ŘÍZENÍ DC MOTORŮ POMOCÍ H – MŮSTKU

Po připojení stejnosměrného motoru k napájení docílíme, že se motor bude točit jedním směrem. K otočení směru otáčení motoru docílíme tak, že obrátíme polaritu napájení motoru, a tím se motor bude točit v opačném směru.

Tento typ řízení směru otáčení motoru je však velmi neefektivní, jelikož při každé potřebě změny směru otáčení motoru bychom museli fyzicky měnit napájecí polaritu motoru. Nejefektivnějším řízením směru je pomocí H – můstku.

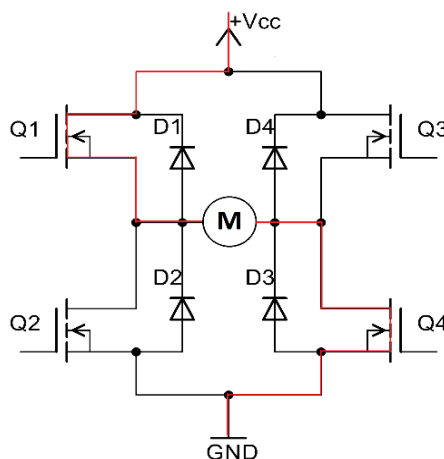


Obr. 2.2 – Schéma zapojení H – můstku (Modular circuits, 2011)

2.1.1 Princip funkce H – můstku

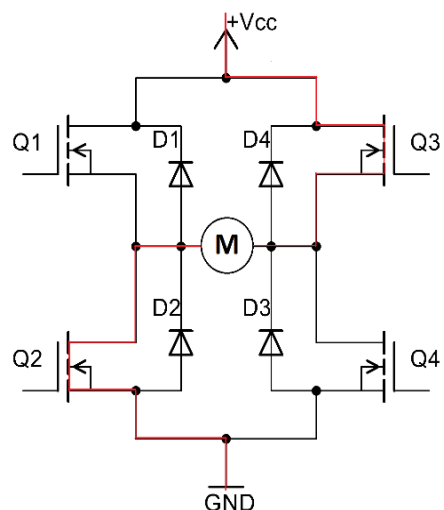
Spínací můstky jsou převodníky řídicích signálů na buzení motoru. Nejvíce používaný spínací můstek je plný spínací H – můstek, obr. 2.2, který umožňuje měnit směr otáčení motoru v obou směrech, obvykle pomocí MOSFET tranzistorů (Q1, Q2, Q3, Q4). Poté jsou připojeny diody pro ochranu zpětné elektromotorické síly a indukce (D1, D2, D3, D4). Další používaný spínací můstek je poloviční H-můstek. Poloviční H – můstek se využívá zejména pro řízení 3fázových motorů, či stejnosměrných BLDC motorů. Zde se pro vinutí W, V, U využívá tři polovičních H – můstků a musí být zajištěno řádné spínání tranzistorů, aby nedocházelo k otevření obou tranzistorů. Toto se docílí generováním tzv. mrtvého pásma (Vojáček, 2008).

Pracovní režim H – můstku je poměrně jednoduchý. Nejprve připojíme stejnosměrný motor na H – můstek například tak, že levý vodič je připojený k napájení a pravý vodič připojený na zem. Poté v případě, že máme sepnuté tranzistory Q1 a Q4, začne motorem procházet proud, což vede k tomu, že se hřídel motoru začne otáčet.



Obr. 2.3 – Tok proudu tranzistory Q1 a Q4 (Modular circuits, 2011)

Pokud dojde k sepnutí tranzistorů Q2 a Q3, nastane opačný jev a hřídel motoru se začne otáčet v opačném směru.

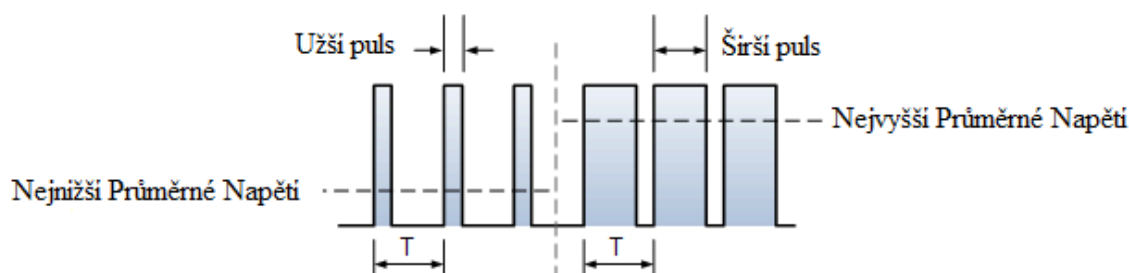


Obr. 2.4 – Tok proudu tranzistory Q3 a Q2 (Modular circuits, 2011)

Ve spínacím můstku by nikdy neměl nastat zakázaný stav. Ten nastává v případě, že dojde k společnému sepnutí tranzistorů Q1 a Q2 či Q3 a Q4. V případě sepnutí této kombinace tranzistorů dojde k vytvoření přímého zkratu mezi napájením +Vcc a zemí GND a došlo by ke zkratování napájení. Výsledkem by bylo možné zničení aktivních prvků H – můstku (Modular circuits, 2011).

2.2 ŘÍZENÍ DC MOTORŮ POMOCÍ PWM SIGNÁLU

Další, poměrně častou metodou pro řízení DC motorů je pomocí PWM signálu. PWM signál je signál s konstantní periodou T , což je cyklus, kdy dojde k přenosu jedné střídy. Střída se vyjadřuje procentuálně (100 %, 50 %, 10 %). Tato hodnota je vyjádřena poměrem doby zapnutí a doby vypnutí budicího signálu. V případě střídy 100 % trvá nepřetržitě stav zapnuto. Pokud je střída 50 % je docíleno z hlediska systému pouze polovičního výkonu (PWM, 2021).



Obr. 2.5 – Pulzně šířková modulace (PWM, 2021)

Rychlost DC motoru závisí na velikosti vstupního napětí. Čím větší napětí, tím rychleji se motor otáčí. Řízení DC motoru pomocí PWM signálu funguje tak, že motor je řízen sérií ON-OFF pulsů. Závisí na trvání doby, kdy je puls v zapnutém nebo vypnutém stavu. Rychlost motoru lze tedy ovládat změnou šířky těchto pulsů, a tím je dáno stejnosměrné napětí přiváděné na svorky motoru. Čím déle je doba trvání pulsu v zapnutém stavu, tím rychleji se motor otáčí a naopak. Výhodou využití PWM signálu pro řízení DC motorů je vysoká stabilita otáček v poměrně širokém rozmezí, způsobená konstantním krouticím momentem motoru (PWM, 2021).

3 ČIDLA SÍLY

V oblasti mechanických systémů vnímáme sílu jako jednu z hlavních fyzikálních veličin. Měření síly můžeme sledovat zejména při působení zatížení, měření tíhy, či měření sil při zrychlení hmoty (Ďaďo, 1996).

U robotů a automatizovaných systémů se běžně používají silová čidla v rozsahu 10^2 až 10^8 N. V případě přímočarého pohybu, u běžných technických aplikací, platí pro sílu vztah:

$$F = m \cdot a \quad (3.1)$$

kde m je hmotnost, kg,
 a je zrychlení, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$,
 F je síla, N.

Pro kalibraci a stabilizování čidel využíváme statické definice síly:

$$G = m \cdot g \quad (3.2)$$

kde g je tíhové zrychlení, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$,
 m je hmotnost, kg,
 G je síla, N.

Čidla, která se využívají u robotů a výstupních efektorů, musejí splňovat všeobecné požadavky, mezi které patří:

- co největší přesnost čidla,
- malá časová konstanta čidla,
- vhodný tvar čidla a přesné rozměry pro danou konstrukci,
- vysoká stabilita, malá hystereze (Zehnula, 1990).

3.1 HMATOVÉ SNÍMAČE SÍLY

Hmatové snímače patří do skupiny snímačů síly nebo tlaku, které se obecně vyznačují svými malými rozměry. Zejména se jedná o jejich malou tloušťku. Typickým charakterem těchto snímačů je, že reagují na fyzickou interakci s okolním prostředím. Nejrozšířenější využití tohoto druhu snímačů můžeme najít v robotice, a to právě ve výstupních efektorech (Fraden, 2016).

Hmatový senzor je konstruován podle biologického smyslu kožního dotyku, díky kterému je možno detekovat mechanickou stimulaci, bolest, či teplotu na lidské tělo (Fraden, 2016).

Největší využití tohoto druhu senzorů však vidíme v mnohem běžnějších aplikacích, a to například v jakémkoliv zařízení s dotykovou obrazovkou, klávesnicí a dalších zařízeních, kde je třeba vytvořit fyzický kontakt (Fraden, 2016).

Hmatové senzory se dají rozdělit do dvou základních podskupin:

Dotykové senzory – tento typ senzorů měří kontaktní sílu v definovaných bodech. Výstupem těchto snímačů může být analogová hodnota ve formě měření množství síly dotyku na danou plochu nebo v binární formě a ve smyslu, zda je snímač stlačený či nikoliv (Fraden, 2016).

Kontaktní senzory – kontaktní hmatové senzory jsou schopny detekovat kontakt mezi dvěma objekty bez ohledu na množství síly, kterou na sebe vzájemně působí. Typickým příkladem je kapacitní dotyková plocha, kde lze detekovat kontaktní plochu mezi prstem a dotykovým panelem. (Fraden, 2016).

3.1.1 Piezorezistivní hmatové senzory

Jedním z typů hmatových senzorů jsou piezorezistivní hmatové senzory. Piezorezistivní senzor je zařízení, které reaguje na změnu rezistivity polovodičových materiálů za předpokladu, že je materiál vystavený mechanickému namáhání. Lze je tedy vyrobit z materiálů s elektrickým odporem závislým na napětí. Piezorezistivní hmatové senzory obsahují rezistor citlivý na sílu (force sensitive sensor – FSR), jehož odpor se mění při působení tlaku. Velká citlivost piezorezistivních materiálů zaručuje čidlům přesnost (Fraden, 2016).



Obr. 3.1 – Piezorezistivní hmatový senzor (FSR402, 2010)

4 MIKROPROCESORY A MIKROKONTROLÉRY

Základním rozdílem mezi mikrokontrolerem a mikroprocesorem je, že mikrokontroler používá CPU, RAM, ROM, vstupy a výstupy mikroprocesoru a je vše integrované v jednom čipu. Mikroprocesor je pak integrovaný obvod, který má CPU v jednom čipu, zatím co RAM, ROM a vstupy a výstupy jsou separátně rozděleny.

4.1 MIKROPROCESORY

Mikroprocesor je označení pro centrální procesorovou jednotku (CPU), která je integrovaná do jednoho pouzdra jako celek. Jedná se o programovatelné zařízení, které přijímá digitální data a následně je zpracovává pomocí námi zadaných instrukcí uložených v paměti (EPROM, FLASH) a na výstupu zobrazí výsledek. Kvalita mikroprocesoru zásadně ovlivňuje rychlost a výkonnost počítače. Dnes se uplatňují dvě základní koncepce mikroprocesorů, a to RISC a CISC. Tyto dvě koncepce se od sebe liší velikostí instrukční sady. Procesory typu RISC jsou rychlejší a nacházejí uplatnění u velkých jednoúčelových počítačů. Naopak CISC procesory převládají zase u osobních počítačů, postupem času ale začínají uplatňovat některé prvky procesorů typu RISC. Mikroprocesory integrovaných obvodů můžeme vidět v mnoha elektronických zařízeních. Hlavní výhodou je jednoduchý vývoj softwaru pro chod mikroprocesoru a následně řízení i poměrně složitých aplikací. Dnes se mikroprocesor objevuje téměř v každém elektronickém zařízení (počítače, televizory, mobily) (Váňa, 2003b).

Vývojem technologie v oblasti elektrotechniky se i mikroprocesory začaly postupně vytvářet zejména s větším výkonem, větší kapacitou, velkou rychlostí pamětí, či lepších obvodů I/O. Součástí mikroprocesorů je jejich softwarová obsluha, která se časem také dočkala vývoje v podobě operačních systémů, jako jsou například DOS, UNIX, LINUX, Windows, či MacOS. Nejrozšířenějším softwarem pro obsluhu a práci s mikroprocesory jsou nástroje pro tvorbu programů. Jedná se o programy assembler (Microchip Studio for AVR), mezi vyšší programovací jazyky pak můžeme zahrnout jazyky, jako jsou JAVA, C++, C# či Pascal. Jedny z nejpoužívanějších mikroprocesorů na trhu jsou nepochybně mikroprocesory, které patří do rodiny AVR (Váňa, 2003b).

4.2 MIKROKONTROLÉRY

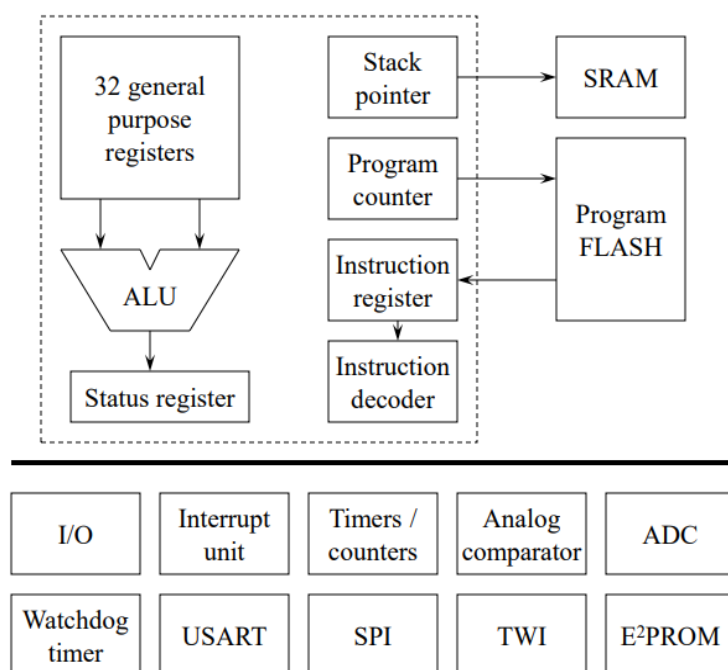
Jedním z hlavních technologických posunů v oblasti elektrotechniky byla integrace celého počítače na jeden čip.

Na tomto čipu je integrován:

- řadič s aritmetickou jednotkou, kde se podle typu mikrokontroleru používá délka slova 4, 8, 16 nebo 32 bitů,
- paměť programu, která může být typu EPROM, Flash a objevuje se i paměť typu ROM pro určité aplikace s pevně daným programem,
- paměť dat typu čtení / zápis (EEPROM),
- obvody pro vstup a výstup dat.

Dalšími prvky, které bývají integrovány do mikrokontrolerů, jsou A/D a D/A převodníky, řadiče přerušení, obvody pro správnost činnosti mikrokontroleru, generátory hodinového signálu apod.

Opět jedny z nejvýraznějších mikrokontrolerů jsou mikrokontrolery AVR od společnosti Atmel. Můžeme je najít například v podobě mikrokontroleru ATmega na jednodeskových počítačích Arduino (Váňa, 2003b).



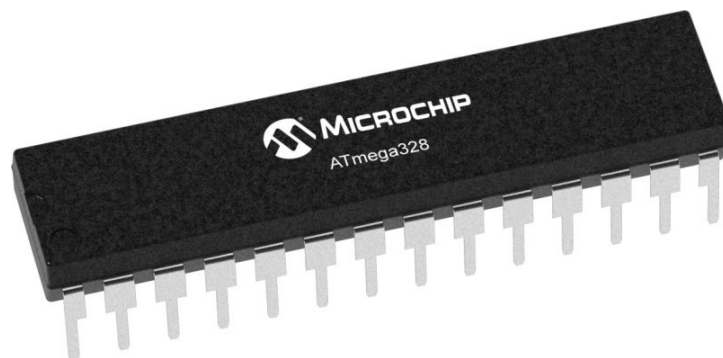
Obr. 4.1 – Architektura mikrokontroleru (Váňa, 2003a)

Mikrokontrolery AVR využívají koncepci Harwardské architektury, tudíž mají oddělenou paměť pro program a paměť pro data. Program, který je umístěný v programové paměti, v našem případě typu FLASH, je prováděn s jednoduchým překrýváním instrukcí.

Tomuto procesu se říká pipeline. Zatímco je prováděna jedna instrukce, druhá se přesouvá z programové paměti (Váňa, 2003b).

Firma Atmel má 3 typy řad mikrokontrolerů AVR:

- Základní – do této kategorie patří mikrokontrolery typu AT90S1200, AT90S2313, AT90S2323, AT90S2343, AT90S4433 atd ... Všechny tyto mikrokontrolery disponují 118 instrukcemi a pamětí SRAM. Dají se tedy použít i vyšší programovací jazyky.
- ATtiny – do kategorie mikrokontrolerů ATtiny patří ty nejlevnější mikrokontrolery od firmy Atmel. Zde najdeme typy ATtiny 11, ATtiny 12, ATtiny 15, ATtiny 28 a ATtiny 26. Kromě ATtiny 26, který má 118 instrukcí, disponují ostatní mikrokontrolery pouze 90 instrukcemi. Tento typ mikrokontrolerů se využívá v jednoduchých a malých elektronických obvodech.
- ATmega – jedná se o výkonné mikročipy, které disponují větší FLASH a RAM pamětí. Obsahuje také JTAG (Joint Text Action Group) rozhraní, což je rozhraní pro testování plošných spojů, funkcí obvodu a úpravy softwaru přímo v aplikaci. Do starší skupiny řady ATmega patří ATmega103, ATmega 161, ATmega 163 a ATmega323. Novější mikrokontrolery řady ATmega jsou dále ATmega8, ATmega16 (využívá Arduino Micro), ATmega64, ATmega128 a ATmega328 (využívá Arduino UNO, Arduino Fio, Arduino Lilypad) (Váňa, 2003a).



Obr. 4.2 – Mikrokontroler ATmega328 (ATmega328, 1998)

5 JEDNODESKOVÝ POČÍTAČ ARDUINO

Arduino je open source projekt, který byl vytvořen za účelem rozšíření levných vývojových setů pro studenty. S rostoucí popularitou se Arduino sety dostaly do celého světa a dnes se jedná o jednu z nejrozšířenějších vývojových desek na světě. Desky Arduino disponují grafickým vývojovým prostředím Arduino IDE, které je založeno na programovacím jazyku Wiring, vytvořeným speciálně pro jednoduché programování mikrokontroleru. Společně s Processing dělá z Arduina jednodeskový počítač s jednoduchou softwarovou obsluhou (Voda, 2015).

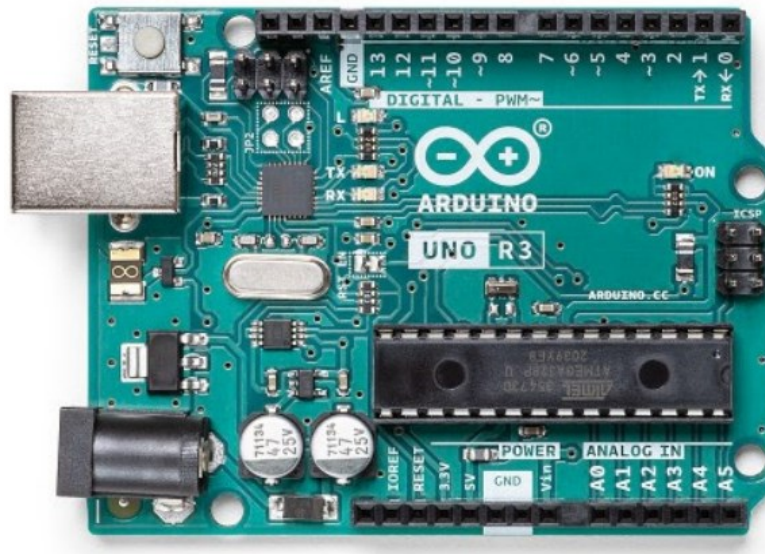
Každý typ desek Arduina disponuje procesorem od společnosti Atmel. Na tento čip jsou dále vázány různé komponenty, které se rozlišují podle typu desky. Jednotlivé typy desek se od sebe dále rozlišují podle primárního typu využití. Některé desky disponují více digitálními a analogovými porty, některé zase využívají výhod malého rozměru. Dále výrobce uvádí u některých desek označení např. Rev3. Toto označení ukazuje na verzi dané desky. Verze se ale od sebe liší pouze minimálně, a to v podobě zlepšení součástek, rozložení součástek, či úpravy designu. Tyto změny však nemění primární účel desky, aby bylo zapotřebí vzniku nové vývojové desky (Voda, 2015).

Jednotlivé typy desek Arduino:

- Arduino Mini,
- Arduino Nano,
- Arduino Micro,
- LilyPad Arduino,
- Arduino Fio,
- Arduino Uno,
- Arduino Leonardo,
- Arduino Yún,
- Arduino Mega 2560,
- Arduino Due,
- Arduino Esplora,
- Arduino Robot,
- Arduino Intel Galileo,
- Arduino Tre.

5.1 ARDUINO UNO

Arduino Uno je nejpoužívanější typ desky z rodiny Arduino. Arduino Uno se distribuuje ve dvou rozdílných verzích, a to Arduino Uno a Arduino Uno SMD. Tyto dvě verze Arduina jsou identické s výjimkou typu obalu mikrokontroleru (Voda, 2015).



Obr. 5.1 – Vývojová deska Arduino Uno (Uno, 2022)

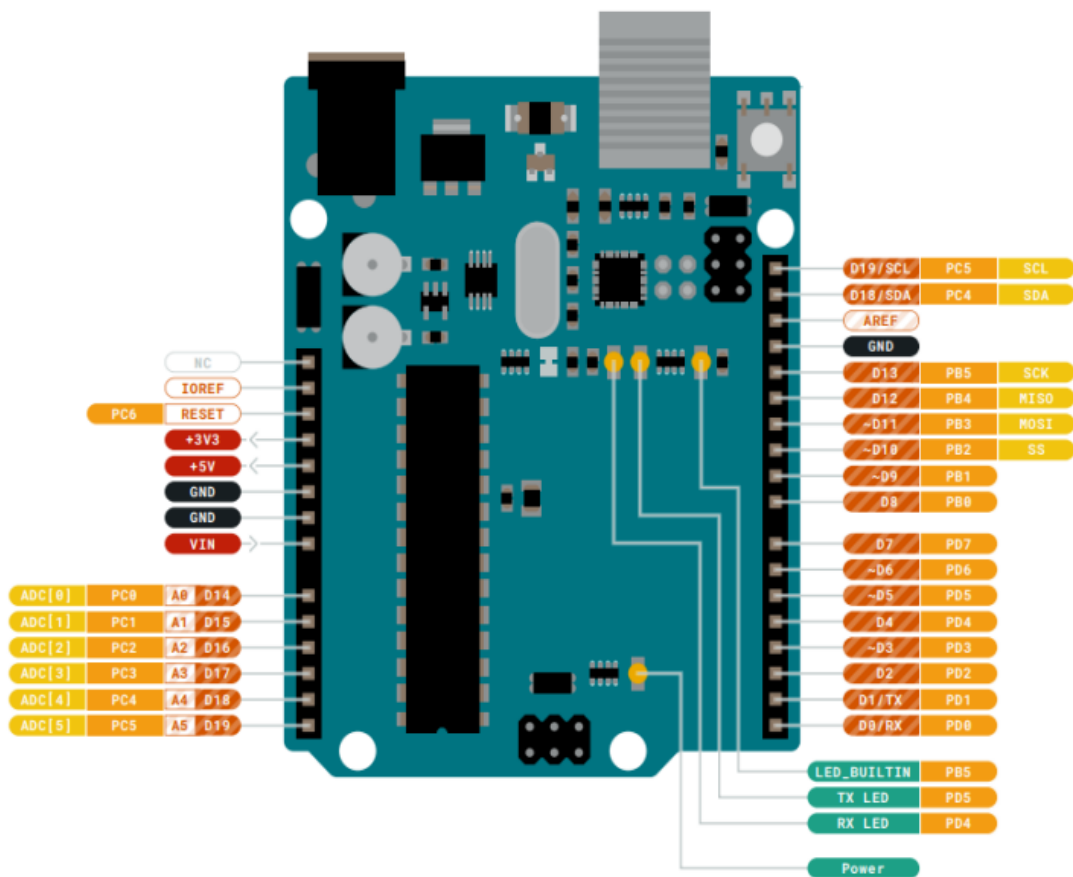
5.1.1 Hlavní části Arduino Uno

U obou verzí Arduino Uno je hlavním srdcem desky 28 pinový mikrokontroler ATmega328P. Mikrokontroler má za úkol běh uživatelských programů a tzv. sketches vytvořených uživatelem v prostředí Arduino IDE. K uchování programu využívá paměť typu Flash. Vzhledem k tomu, že je paměť nevolatilní, uchovává data i po vypnutí napájení. Dále disponuje volatilní pamětí typu SRAM pro uchování proměnných, či dat z Arduino sketchů a nevolatilní pamětí typu EEPROM, ke které je zapotřebí přístup přes speciální sběrnice (Selecký, 2016).

Dalším důležitým prvek je USB konektor. Pomocí USB konektoru (typ B), který je umístěn na desce, můžeme vykonávat dvě základní operace, a to napájet Arduino Uno, či nahrávat program do mikrokontroleru. Uživatelské programy (sketch) mohou využívat USB připojení pro odeslání a přijímání dat. Díky této funkci můžeme v programovém prostředí Arduino IDE ve funkci „sériový monitor“ sledovat data, které posíláme nebo přijímáme přes USB konektor (Selecký, 2016).

Druhou možností napájení desky je dále využití externího napájení v podobě napájecího jacku na desce Arduino. Napájení je možné provádět mezi 7 V až 12 V. Výhodou toho napájení je absence připojení Arduina k počítači. V případě, že je připojený USB kabel pro programování Arduina a uživatel připojí externí napájení, Arduino se samo přepojí do využívání externího napájení (Selecký, 2016).

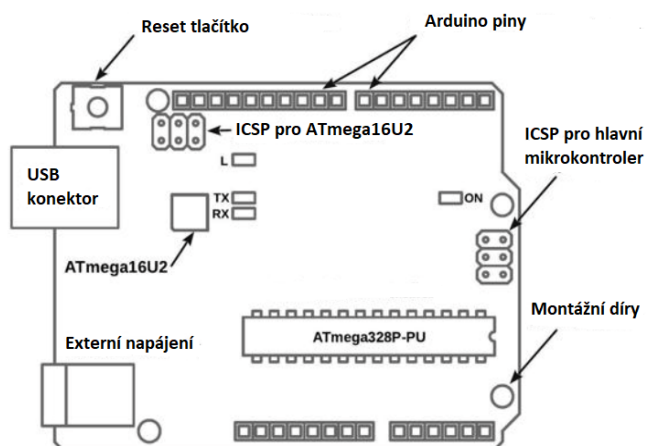
Velmi důležitou částí jsou vstupní a výstupní piny Arduino Uno. Uživatelské piny se nachází po celé délce strany vývojové desky. Piny na desce zajišťují napájení, uzemnění, ale také připojení digitálních a analogových pinů mikrokontroleru ATmega328P. Tyto piny slouží k připojení externího hardwaru na desku Arduino Uno ve formě samotných součástek nebo tzv. shieldů (Selecký, 2016).



Obr. 5.2 – I/O piny Arduino Uno (Uno, 2022)

Dále najdeme na desce Arduino Uno řadu různých LED indikátorů. Jedná se o indikátory připojeného napájení do desky, indikátor pro komunikaci RX, TX nebo LED indikátor pro připojení digitálního pinu 13 na vývojové desce.

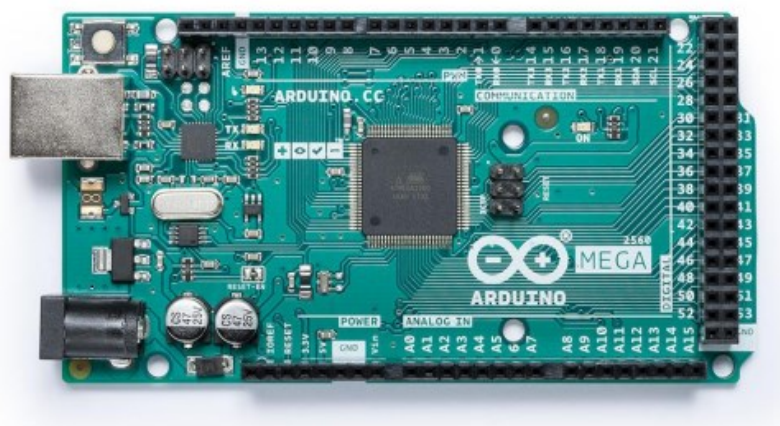
Poté se na desce nacházejí ICSP konektory pro případ připojení rozšiřující desky, mikrokontroler ATmega13U2 sloužící jako můstek mezi USB rozhraním a hlavním mikrokontrolerem ATmega32P, reset tlačítko pro manuální reset hlavního mikrokontroleru, či montážní díry pro pevnou instalaci Arduino Uno (Warwick, 2021).



Obr. 5.3 – Komponenty desky Arduino Uno (Warwick, 2021)

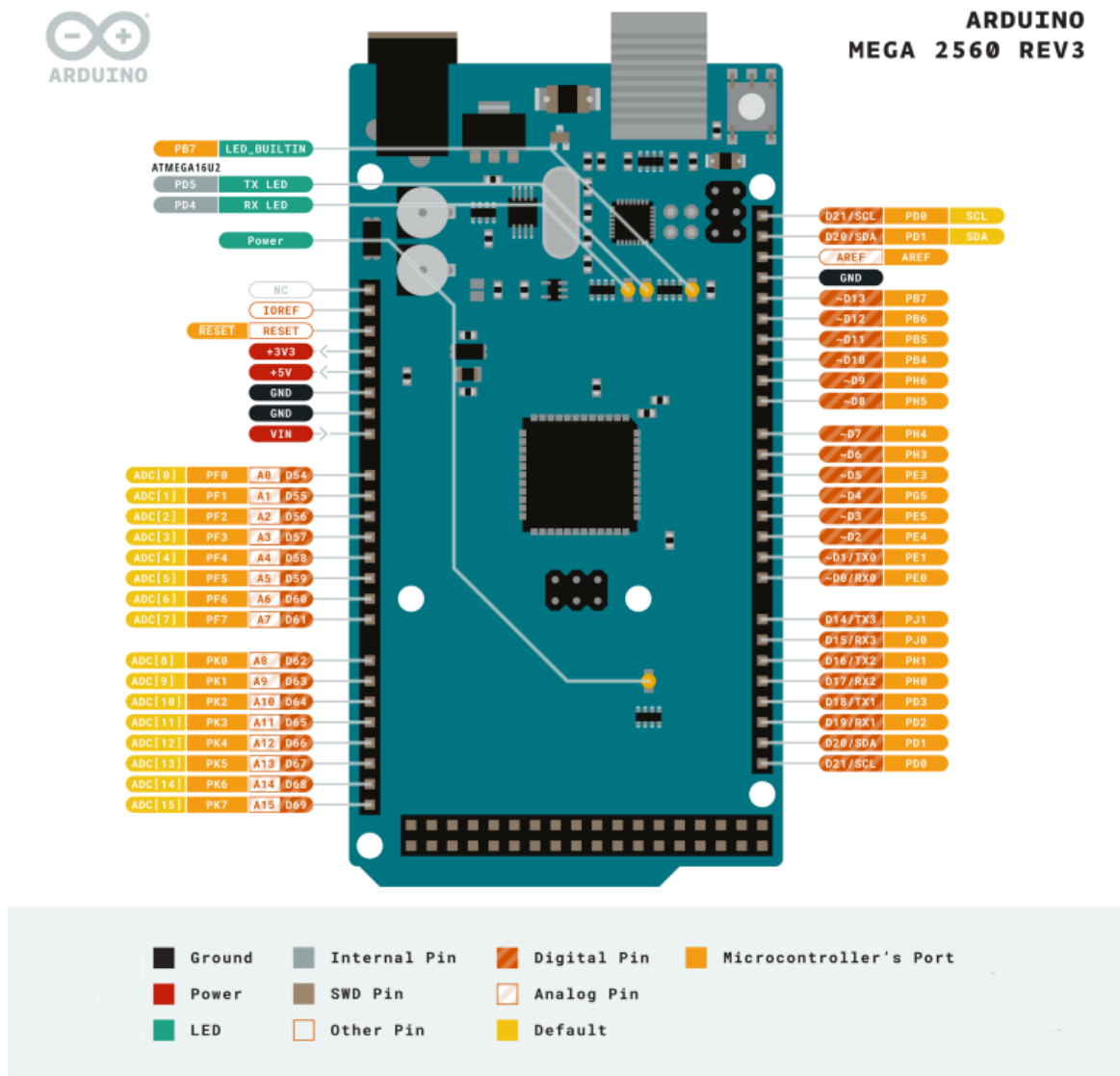
5.2 ARDUINO MEGA 2560

Arduino Mega 2560 je velmi podobná vývojová deska jako Arduino Uno. Hlavním procesorem desky Arduino Mega 2560 je čip ATmega2560, který pracuje na frekvenci 16 MHz. Tato deska je primárně určená pro aplikace, kde je zapotřebí velký počet vstupních a výstupních pinů, a proto je zapotřebí i velká výpočetní rychlost (Mega 2560, 2022).



Obr. 5.4 – Deska Arduino Mega 2560 (Mega 2560, 2022)

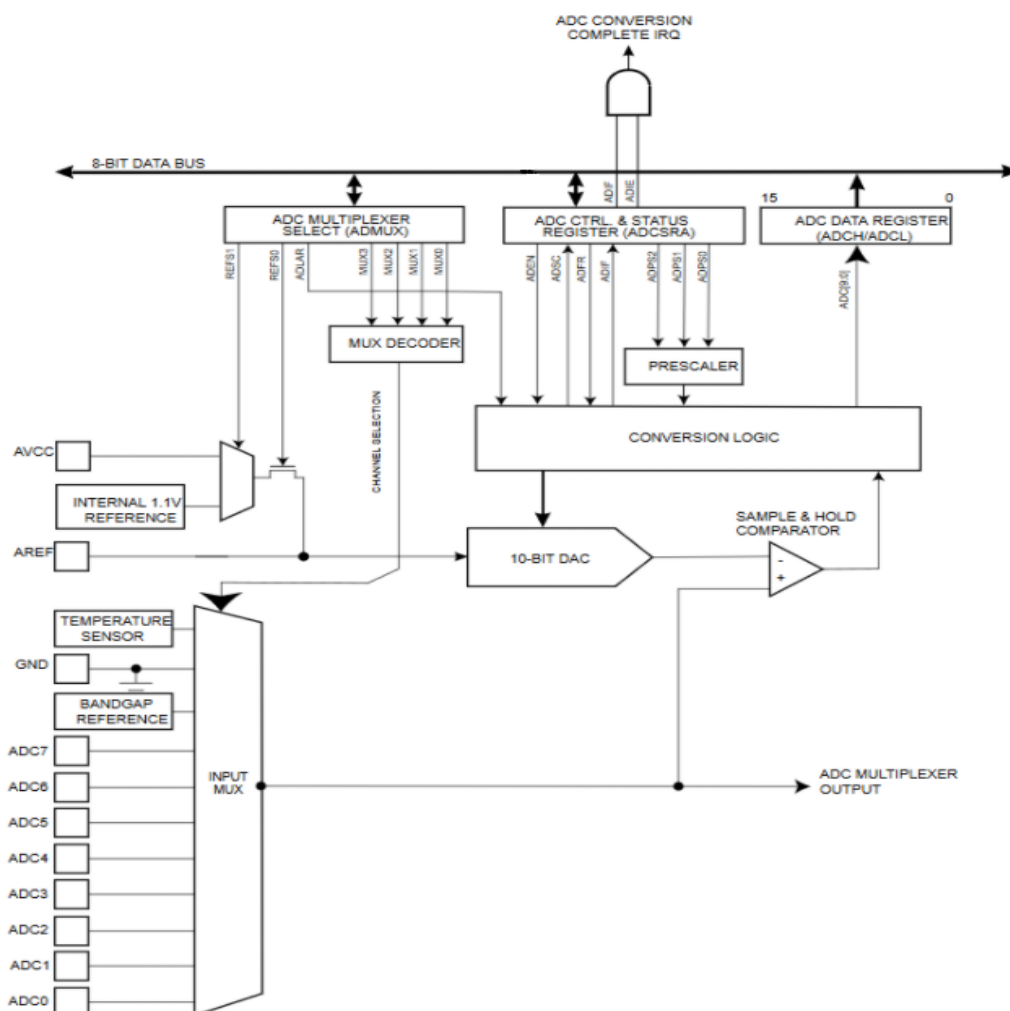
Stejně jako Arduino Uno, disponuje Arduino Mega 2560 USB konektorem, externím napájením v podobě jack konektoru, mikrokontrolerem ATmega16U2 pro komunikace mezi USB a hlavním mikrokontrolerem ATmega2560, ICSP konektory, LED indikátory a reset tlačítkem. Jak už bylo zmíněno, velkým rozdílem oproti desce Arduino Uno je počet jednotlivých pinů, a to v počtu 54 digitální pinů, 16 analogových pinů a 15 PWM výstupů (Mega 2560, 2022).



Obr. 5.5 – I/O piny Arduino Mega 2560 (Mega 2560, 2022)

5.3 A/D PŘEVODNÍK ARDUINO DESKY

Analogový signál je signál, který na rozdíl od digitálního signálu může nabývat více než dvou hodnot. V případě, že uživatel chce měřit hodnotu na analogových pinech, využívá pro to Arduino vestavěný analogově – digitální převodník. Tento A/D převodník je zpravidla 10bitový, což znamená, že bude měnit vstupní hodnotu napětí od 0 V do 5 V na celočíselnou hodnotu mezi od 0 do 1023. Hodnotu napětí na digitální hodnotu úměrně velikou referenčnímu napětí zajišťuje funkce analogRead(pin). Výchozí referenční napětí je pro desky Arduino 5 V nebo 3,3 V. Dalším parametrem pro převod je číslo pinu, na kterém je zařízení připojeno. Obrácený převod, tedy převod digitálně-analogový není řešen vestavěným převodníkem, jelikož Arduino desky jím nedisponují. D/A převod je řešen pomocí pulzně-šířkové modulace (AnalogRead, 2022).



Obr. 5.6 – Blokové schéma funkce A/D převodníku (Ulbricht, 2020)

5.4 NEXTION DISPLEJ

Nextion displej je LCD panel s dotykovým ovládáním. Displej disponuje SD slotem pro jednu z možností nahrávání programu do dotykového panelu. Panel se připojuje k mikropočítači pomocí pinů 5 V, TX, RX, GND, které umožňují jednoduchou komunikaci mezi mikropočítačem a panelem. Na základě této komunikace je pak jednoduché jakékoliv ovládání a sledování procesů mikropočítače a libovolných periférií na něj připojených (Nextion introduction, 2011).



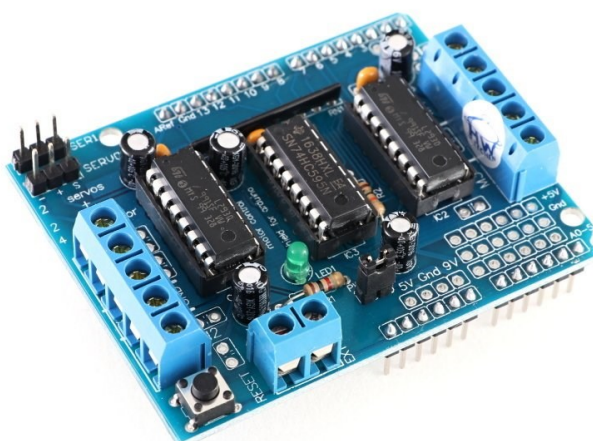
Obr. 5.7 – Nextion displej (Nextion 3.2, 2011)

Jednoduché příkazy a intuitivní HMI GUI se vyvíjí v prostředí přímo určeném pro panel Nextion Editor. Předem vytvořené komponenty jako jsou tlačítka, textové pole, posuvníky, či generátor čísel se dají jednoduše přetáhnout do pole a následně programovat pomocí textových instrukcí ASCII (Nextion introduction, 2011).

5.5 ARDUINO SHIELDS

Arduino shields jsou desky sloužící jako externí hardware pro Arduino. Jsou připojovány díky bočním pinům Arduino. Většinou obsahují hardware, který samotná deska neobsahuje. Uživatelé to rozšíří a usnadní práci s vývojovou deskou Arduino. Mezi nejpoužívanější shields patří Arduino Ethernet shield pro připojení ethernetového kabelu, Arduino Wifi shield pro jednoduché připojení desky Arduino k Wifi síti a Arduino motor shield pro připojení různých stejnosměrných motorů. Většina shieldů je kompatibilní s deskami Arduino Uno a Arduino Mega (Voda, 2015).

V případě Arduino motor shieldu nám tento shield umožní jednoduché připojení až čtyř stejnosměrných motorů (DC motor, krokový motor, Servo motor) najednou. Zároveň díky grafickému rozhraní Arduino IDE a tomuto shieldu je pak softwarová obsluha těchto motorů výrazně jednodušší. Díky integrovanému obvodu L293d, který je navržen tak, aby řídil zařízení jako jsou stejnosměrné motory, servomotory nebo krokové motory, lze Arduino motor shield používat jako velký H – můstek. Díky tomuto shieldu s čipem L293d lze připojit napájecí zdroje s až 36 V stejnosměrného napětí s maximálním proudem 600 mA na kanál. Na tento shield lze použít motory od 4,5 V do 15 V provozního, stejnosměrného napětí (Motor driver, 2019).



Obr. 5.8 – Arduino motor shield (Motor shield, 2011)

6 NÁVRH ROBOTICKÉHO CHAPADLA

Postupným prostudováním manipulačních robotických efektorů byl zvolen tříprstý aktivní manipulační efektor. Důvodem pro výběr efektoru disponujícím třemi prsty je jeho rozsáhlá aplikace v praxi, a také množství možných předmětů, které se tímto typem efektorů dá uchopit. Výchozí inspirací pro robotické chapadlo byl tříprstý efektor od firmy Robotiq. Ten disponuje třemi prsty, kde každý prst je tvořen třemi částmi, které se ohýbají. Části prstu se nedají samostatně ovládat a jejich pohyb je závislý na uchopovaném předmětu. V dlani chapadla jsou umístěny motory a řídicí jednotka, která ovládá celý efektor.



Obr. 6.1 – Robotický tříprstý efektor firmy Robotiq (Gripper, 2012)

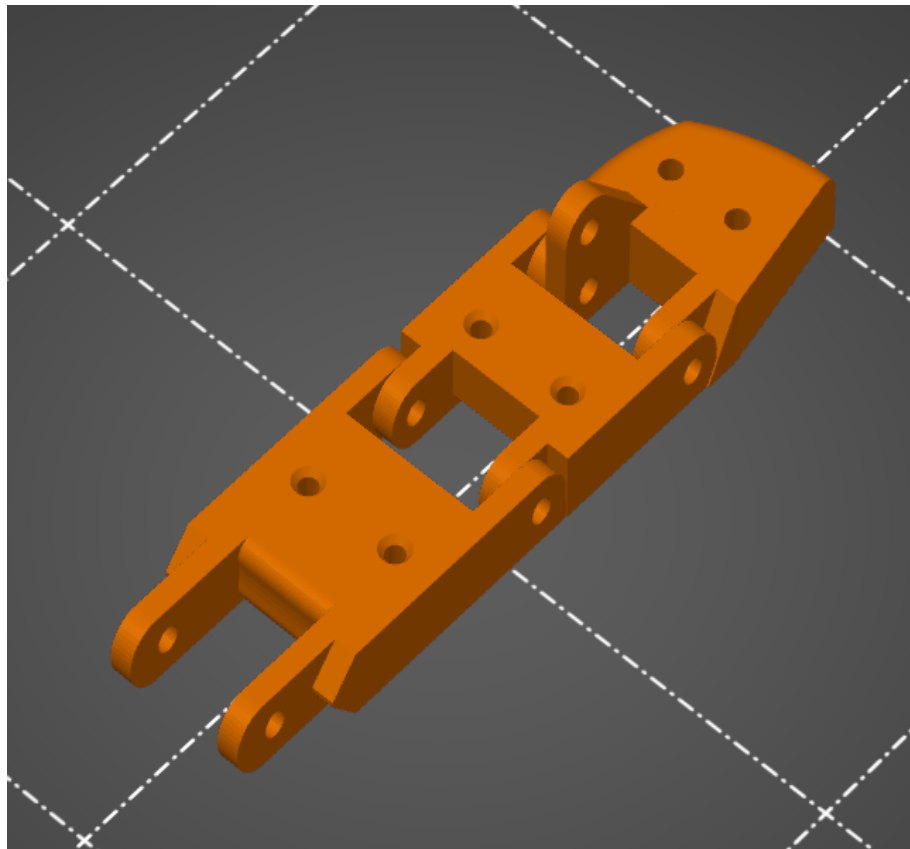
Tento efektor disponuje zejména jednoduchou mechanickou částí, která má za úkol pohyb jednotlivých prstů. Tyto části se tedy dají vymodelovat ve 3D programech. O tuto práci se pokusilo již několik autorů, kteří svoje modely zadarmo zveřejňují. Na těchto modelech, které se inspirojí právě efektozem od firmy Robotiq, je stavěna i tato práce. Byl zachován hlavně vzhled a základní myšlenka mechanismu robotického efektoru (Hoelldorfer, 2015). Změny byly prováděny ve dvou programech, a to v programu Tinkercad a Blender.

V programu Tinkercad se řešily jednoduché komponenty robotického efektoru, hlavně díky jednoduchosti programu a rychlosti navrhnout základní 3D modely.

V programu Blender byly poté řešeny složitější operace, a to zejména změny velikostí a tvarů u již vymodelovaných objektů. Tyto změny byly žádoucí z důvodu použitých komponentů pro funkci robotického efektoru nebo za účelem splnění zadání bakalářské práce.

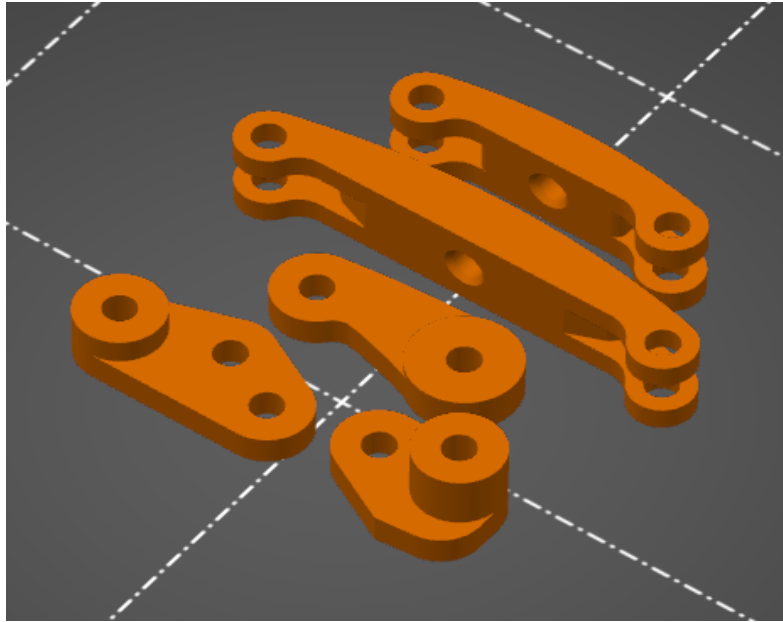
6.1 PRSTY ROBOTICKÉHO CHAPADLA

Robotické chapadlo disponuje třemi prsty, které mají za úkol držet uchopovaný předmět. Tyto prsty mají několik komponentů, mezi které patří vnitřní stěna prstu, tvořená třemi částmi. Tato stěna pak při manipulaci přiléhá na uchopovaný předmět.



Obr. 6.2 – Vnitřní strana prstu

Další části prstu jsou mechanická táhla, která slouží jako část převodu z hřídele motoru. Jejich hlavním úkolem je zajištění ohybu prstu tak, aby vnitřní stěna prstu přilehla k uchopovanému předmětu, viz obr 6.3.



Obr. 6.3 – Mechanická táhla

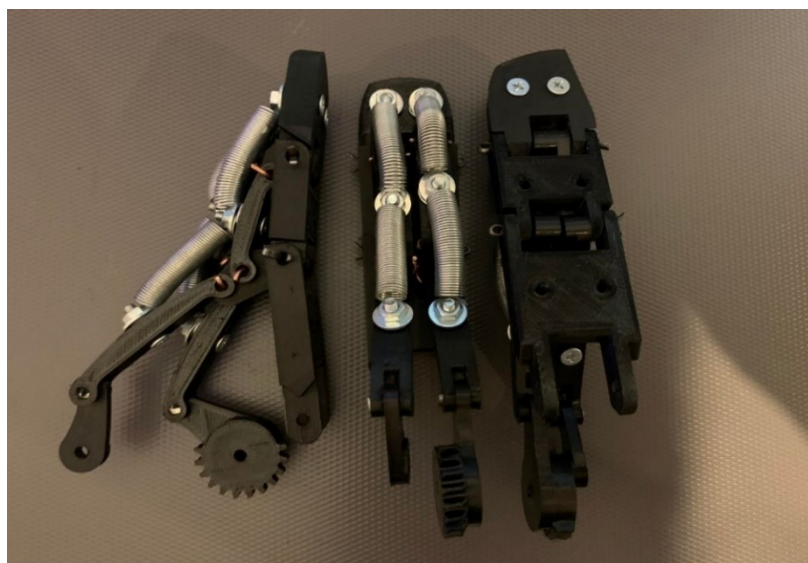
Konec prstu je zakončen ozubeným kolem, které přiléhá na šnekový převod umístěný v dlani robotického chapadla. Šnekový převod, který je nasazený na hřídeli stejnosměrného motoru se při otáčení motoru vytáčí. Ozubené kolo nasazené do drážek šnekového převodu se postupně otáčí, a tím působí na mechanická táhla. Mechanická táhla poté ohýbají prst. V případě, že dojde k úchopu předmětu, ozubené kolo a mechanická táhla zajistí ohnutí jednotlivých částí prstu v závislosti na tvaru uchopovaného předmětu.



Obr. 6.4 – Ozubené převody

Tyto jednotlivé části robotického chapadla bylo třeba efektivně spojit. K vzájemné instalaci jednotlivých částí se navrhly díry o průměru 3 mm. V prvotní instalaci se použil spojovací materiál nerezová kulatina o průměru 3 mm. Ve fázi testování jednotlivých prstů bylo však zjištěno, že využití 3 mm kulatiny je nevyhovující. Důvodem je vysoký odpor při ohýbání jednotlivých částí prstu, a tím vysoké náročnosti na stejnosměrné motory a šnekové převody. Vnitřní strana prstu je tedy společně s mechanickými táhly spojena závlačkou o průměru 2,5 mm. Při vzájemném spojení mechanických táhel bylo postupováno stejně jako při předešlé instalaci části prstu. Použil se materiál o průměru 2,5 mm z důvodu zmenšení odporu při ohýbání prstu. Poloviční ozubené kolo s podpůrným táhlem nacházející se na konci prstu je spojené pomocí 3 mm nerezové kulatiny. Zde se použila, jako u zbývajících částí, závlačka o průměru 2,5 mm. Při testování bylo zjištěno, že díky většímu průměru instalačního otvoru vznikla velká vůle celé konstrukce prstu. Z tohoto důvodu bylo zapotřebí minimalizovat vůli. Vzhledem k tomu, že zde nedochází k častému ohybu, realizovala se montáž těchto komponentů za pomoci kulatiny o průměru 3 mm.

Každý z prstů obsahuje 4 pružiny, dlouhé 2,5 mm. Pružiny jsou zakončené úchopovým okem na mechanickém táhlu. Hlavní funkcí pružin je zajištění, aby se prst dostal při otevírání do původní rovné polohy. Bez pružin je sice prst funkční, ale po montáži pružin na mechanická táhla je docíleno plynulejšího otevírání a narovnání prstu. Tím bylo docíleno zmenšení další vyvinuté síly na šnekový převod a zmenšení rizika opotřebovávání materiálu, zničení komponentů a nadměrné zátěže motoru.

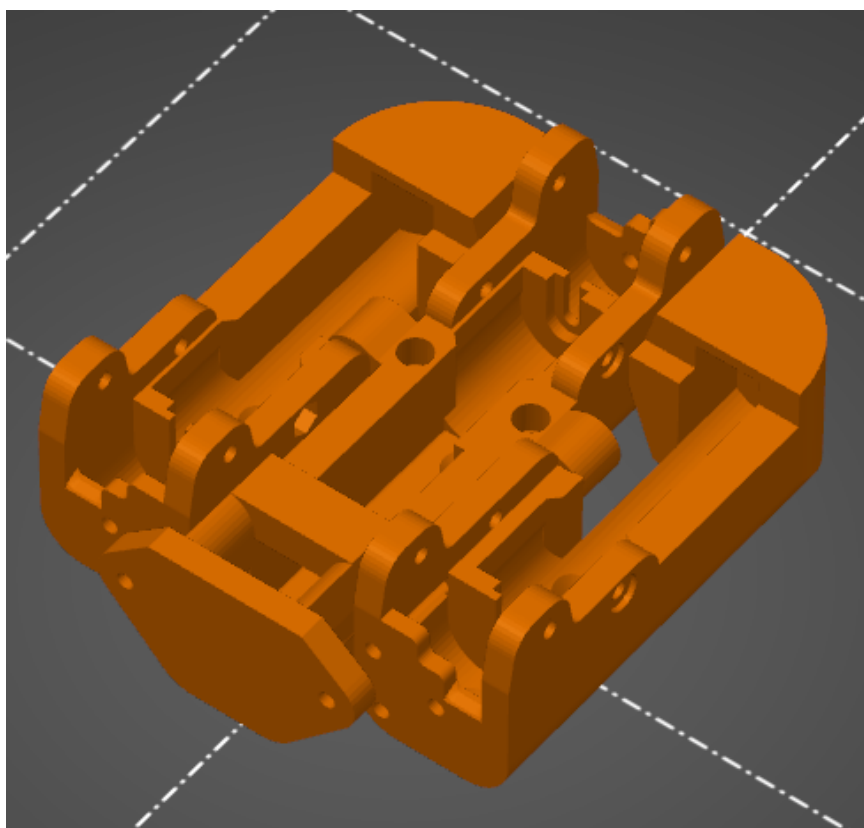


Obr. 6.5 – Sestavené prsty pro robotické chapadlo

6.2 DLAŇ ROBOTICKÉHO CHAPADLA

Dlaň robotického chapadla je základní částí celého robotického efektoru. V dlani se nachází stejnosměrné motory a prochází jí všechna kabeláž k motorům a piezorezistivním snímačům.

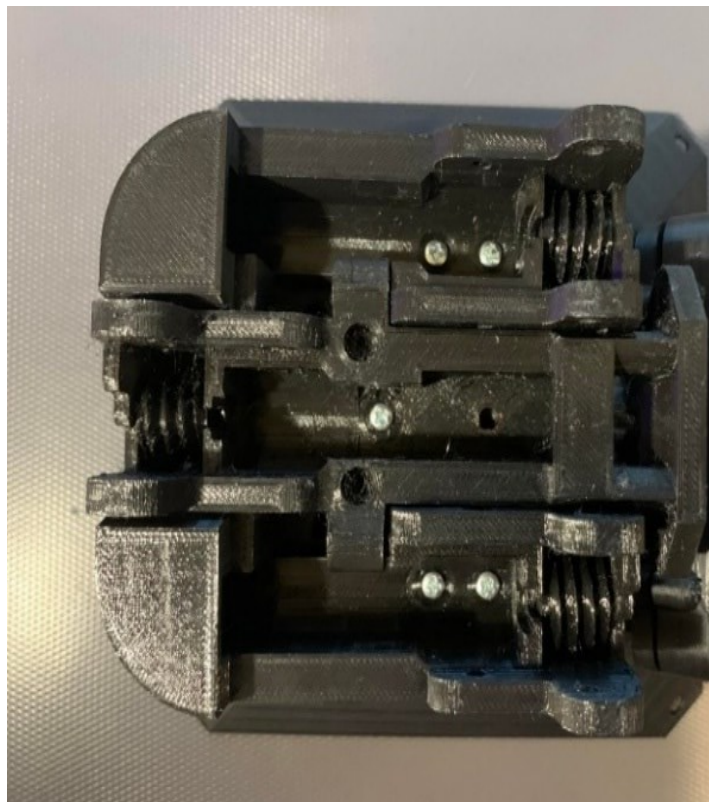
Dlaň je rozdělena na tři části. Každá část je určena pro jeden prst. Rozdělením robotické dlaně na tři části je důvod k možné instalaci dalších motorů mimo efektor. Tyto motory by měly dát možnost efektoru stlačit dva prsty k sobě. Tato problematika ale nebyla nadále řešena, protože část s motorem by nebyla již součástí efektoru, ale samotného robotického ramene v případě, že by se zachovala stávající konstrukce efektoru. Každá část robotické dlaně je navrhována tak, aby se do ní vešly stejnosměrné motory s optickým enkodérem.



Obr. 6.6 – Dlaň robotického efektoru

Levá a pravá část dlaně jsou identické, pouze vertikálně otočené. Při návrhu se postupovalo tak, že se navrhla pouze jedna strana a druhá se v programu vertikálně otočila. Tyto strany tedy disponují i stejným počtem montážních otvorů o rozměru 3 mm. Navrženy byly dva otvory pro uchycení dlaňových částí na testovací podstavec a jeden pro napájecí kabel ke stejnosměrnému motoru.

Další sada montážních otvorů zastává funkci pro úchyt jednotlivých prstů k dlani, úchyt krytu motoru nebo pro prodlouženou hřídel motoru, aby se zamezil nežádoucí vertikální pohyb šnekového převodu. Prostřední část dlaně je téměř identická s levou a pravou částí. Doplňuje ji pouze sada montážních otvorů pro instalaci celého efektoru k robotickému ramenu. Zadní strana disponuje prostorem pro ozubený převod, který je nadále využíván pro vedení kabeláže pro piezorezistivní snímače. Všechny tři části dlaně jsou montážně přidělány k podstavci pomocí šesti šroubů o průměru 3 mm. K dlani je poté připojen prst za pomoci kulatiny o průměru 3 mm. V montáži byla nejprve využita závlačka o průměru 2,5 mm z důvodu volnějšího uchycení, a tak zmenšení zátěže na motor. Tato predikce se však ukázala jako mylná, protože se vyskytla velická vůle při ovládání jednotlivých prstů a aplikace byla prakticky nefunkční.

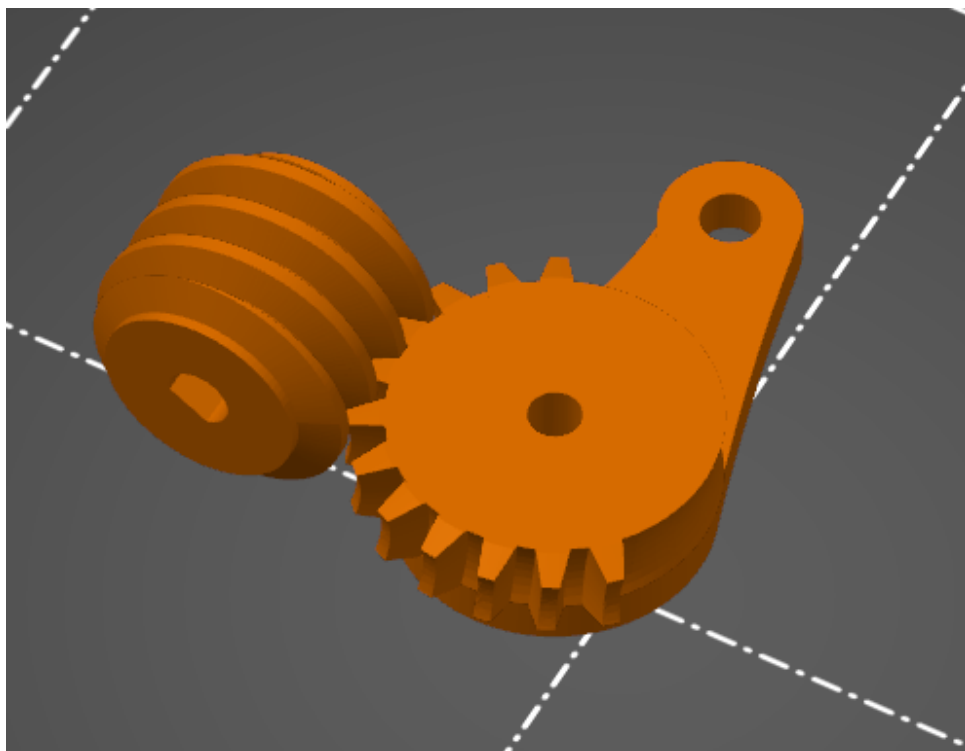


Obr. 6.7 – Sestrojená dlaň se šnekovým převodem

Kryt motoru a zároveň vnější část dlaně je instalován separátně na každou část efektoru. Tento kryt má nejen za úkol zakrytovat motor s elektronikou, ale také udržet motor stabilní v dlani. Úchyt krytu je zajištěn šroubem přímo ke konstrukci dlaně, k zamezení jeho vyjmutí při manipulaci s efektořem na robotickém rameni.

6.3 ŠNEKOVÝ PŘEVOD

Šnekový převod je umístěn v dlani robotického efektoru. Převod je zde uchycen pomocí kulatiny o průměru 3 mm, která zaručuje zamezení nežádoucího vertikálního pohybu šnekového převodu. Šnekový převod je nasazen na hřídeli stejnosměrného motoru a při jeho otáčení se otáčí i samotný šnekový převod. Ten poté za pomoci ozubeného kola umístěného na konci prstu zaručuje pohyb celé konstrukce prstu.



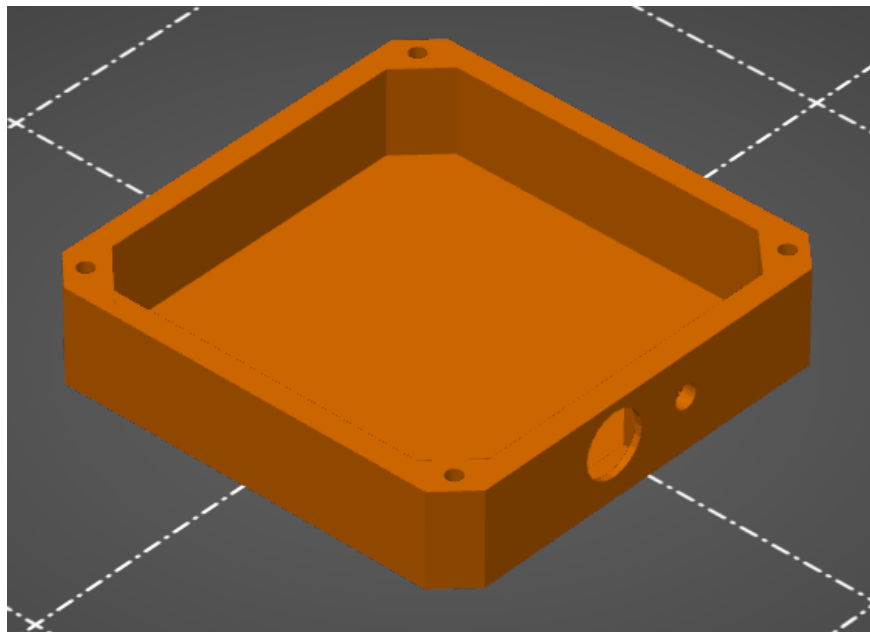
Obr. 6.8 – Šnekový převod

Při návrhu šnekového převodu bylo třeba myslet na samotnou výrobu tohoto komponentu. Zde se provedlo zejména několik změn v samotné hloubce závitů šnekového převodu. Původní návrh disponoval hloubkou závitů o velikosti 2,5 mm. Při následném testování robotického chapadla, samovolném chodu nebo vyvinutí zátěže na prsty se projevovaly nedokonalosti v oblasti plynulosti otevírání a zavírání prstů. Po několika testech se upravil šnekový převod, a to hlavně hloubka závitů. Zvětšením hloubky závitů na 3 mm u šnekového převodu a ozubeného kola na prstu, vedlo k plynulejšímu převodu jednotlivých prstů. Problematika plynulosti chodu jednotlivých prstů závislých na konstrukci šnekového převodu i přes zvětšení hloubky závitů, pouze minimálně zlepšila plynulost zavírání a otevírání robotického chapadla.

Při velké zátěži, kdy robotické chapadlo uchopovalo a tlačilo na předmět, měly tendenci se jako první opotřebovávat šnekové převody jednotlivých prstů. Opotřebovávání bylo patrné zejména v částech samotného závitu nebo v usazovacím otvoru pro hřídel motoru. Opotřebovávání vedlo k nesprávnému chodu prstů ruky a v mnoha případech až k samotnému zničení šnekových převodů. Problematika byla řešena nejprve v metodách návrhu šnekového převodu, kdy se návrh rozdělil na dvě poloviny za účelem přesnějšího tisku, a poté se převod spojil pomocí lepidla. Následně se využívaly různé druhy materiálů pro 3D tisk, rozdílné svou tvrdostí nebo styly tisknutí na 3D tiskárnách. Tyto pokusy nedosahovaly příliš velkého zlepšení v oblasti plynulosti jednotlivých prstů. Důvodem je nedostupnost k tvrdším materiálům pro 3D tisk a dostupnost průmyslové 3D tiskárny, která umožňuje preciznější tisk malých mechanických částí.

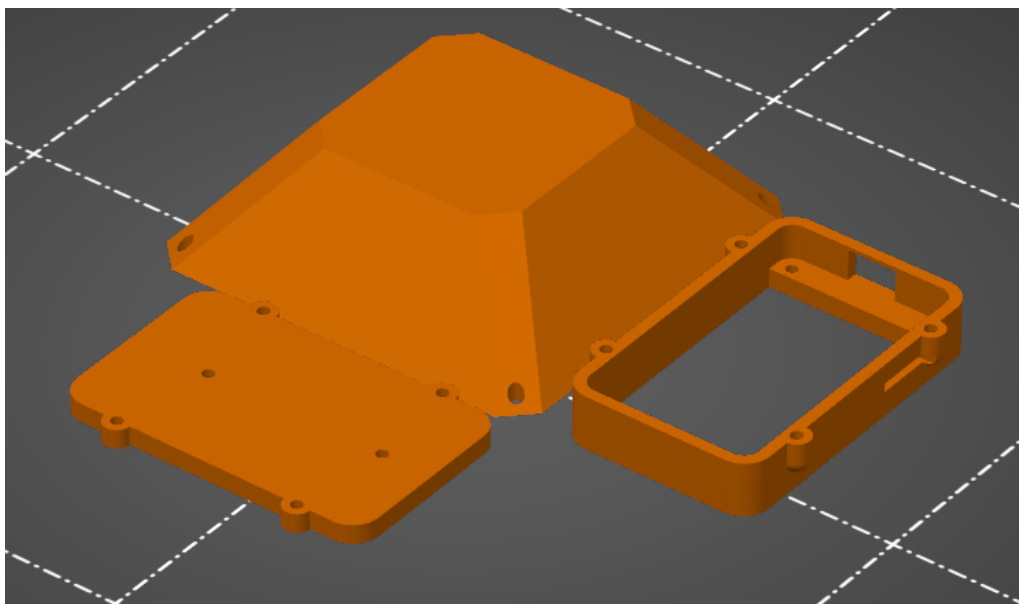
6.4 PODSTAVEC ROBOTICKÉHO CHAPADLA

Podstavec robotického chapadla obsahuje celkem tři části. Spodní část je navržena tak, aby se do ní vešla veškerá potřebná elektronika k chodu robotického chapadla. Disponuje montážními otvory ke spojení druhé části podstavce a samotnými nožičkami celého podstavce. Vymodelována je také příprava pro napájení 12V stejnosměrných motorů a On-Off přepínač na přivedení 9 V na Arduino Mega 2560.



Obr. 6.9 – Spodní část podstavce

Druhá část má tvar komolého jehlanu a je navržena tak, aby se do ní schovala potřebná kabeláž ke stejnosměrným motorům umístěným ve dlani robotického chapadla a piezorezistivním snímačům. Na této části se nachází kryt pro řídicí Nextion displej. Uchycení robotického chapadla k této části podstavce je řešeno za pomoci pěti otvorů o průměru 3 mm, které zaručují pevnost a stabilitu celé konstrukce.



Obr. 6.10 – Horní část podstavce

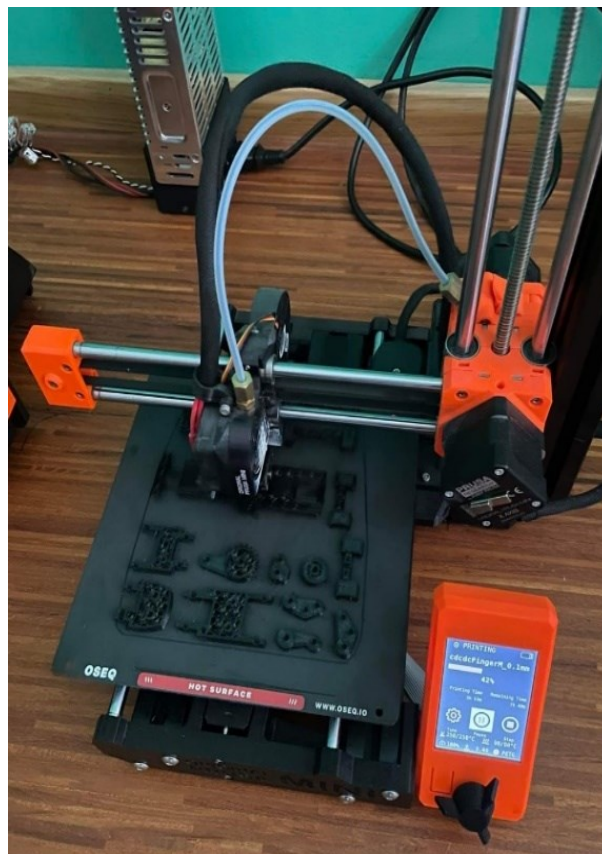
6.5 ZVOLENÝ MATERIÁL PRO 3D TISK

Celá práce byla tisknuta na 3D tiskárně od firmy Prusa Research Original Prusa MINI+. První volbou materiálu pro 3D tisk byl materiál typu PLA. Tento materiál se všeobecně používá zejména k tisknutí nemechanických modelů. Proto byl použit jako testovací materiál pro první výtisky robotického chapadla. Zde se v průběhu tisku zjišťovaly nedostatky v podobě špatného návrhu rozměrů jednotlivých komponentů. Po správném vytisknutí robotického chapadla z materiálu PLA se chapadlo sestrojilo a provedly se konečné změny v podobě úpravy velikostí montážních otvorů nebo úpravy tloušťky materiálů na částech robotického chapadla. PLA bylo využito pro tisk podstavce robotického chapadla a tisk pouzdra na dotykový panel. Zde nebylo zapotřebí využití tvrdšího materiálu.

Materiál typu PLA je ale z důvodu jeho malé tvrdosti pro tuto aplikaci nevyhovující. S tímto materiálem se zejména každá část, na kterou je vyvinuta mechanická síla, potýkala s deformací, či úplným zničením. Jednalo se o šnekový převod, ozubené kolo, mechanická táhla

prstu a vnitřní stěny prstu. Proto se zvolil materiál typu PETG, který je všeobecně znám svojí velkou tvrdostí oproti PLA. PETG se v oblasti 3D tisku nejvíce využívá právě pro tisk mechanických objektů, převodů a různých konstrukcí. Díky své tvrdosti byl tedy zvolen pro tisk robotického chapadla. Pro tuto aplikaci je PETG vyhovující zejména pro všechny části, které obsahují prsty a dlaně robotického chapadla. Na šnekový převod se též použil materiál typu PETG, který má při velké zátěži tendenci lehké deformace. Alternativou pro PETG je jeho tvrdší úprava CPE. Tento speciální, velmi odolný, profesionální filament je vhodný pro technické komponenty a mechanické součásti stejně jako PETG. CPE nebylo pro tuto práci nepoužito z důvodu jeho vysoké ceny a doporučeném tavení plastu od 255 °C do 275 °C, které přesahuje technické možnosti použité 3D tiskárny.

Alternativou pro tisk mechanických částí je tisk převodů pomocí SLA tiskárny. Tento typ tiskáren založený na tisku z resinu disponuje velkou přesností, která by mohla vést k preciznějším tiskům převodů a zvýšení plynulosti otevírání a zavírání robotického chapadla. Z důvodu absence SLA tiskárny nebyl tento tisk proveden.



Obr. 6.11 – Tisk robotického chapadla na tiskárně Prusa MINI+

6.6 KOMPLETNÍ SESTROJENÍ ROBOTICKÉHO EFEKTORU

Celá konstrukce robotického chapadla se tedy skládá z několika částí. Spodní část tvoří podstavec, ve kterém se nachází řídicí jednotka celého robotického chapadla v podobě Arduino Mega 2560. Nadále zde můžeme najít 9V baterii, přepínač a kompletní kabeláž k jednotlivým prvkům chapadla. Součástí podstavce je kryt na dotykový panel, který plní funkci uživatelského rozhraní, přes které se ovládá celé chapadlo. Na podstavec je přidělena dlaň robotického chapadla, ve které jsou usazené DC motory. Na dlaň jsou přidělané prsty robotického chapadla, které disponují piezorezistivním snímačem. Technické parametry jsou uvedeny v tab. 6.1.



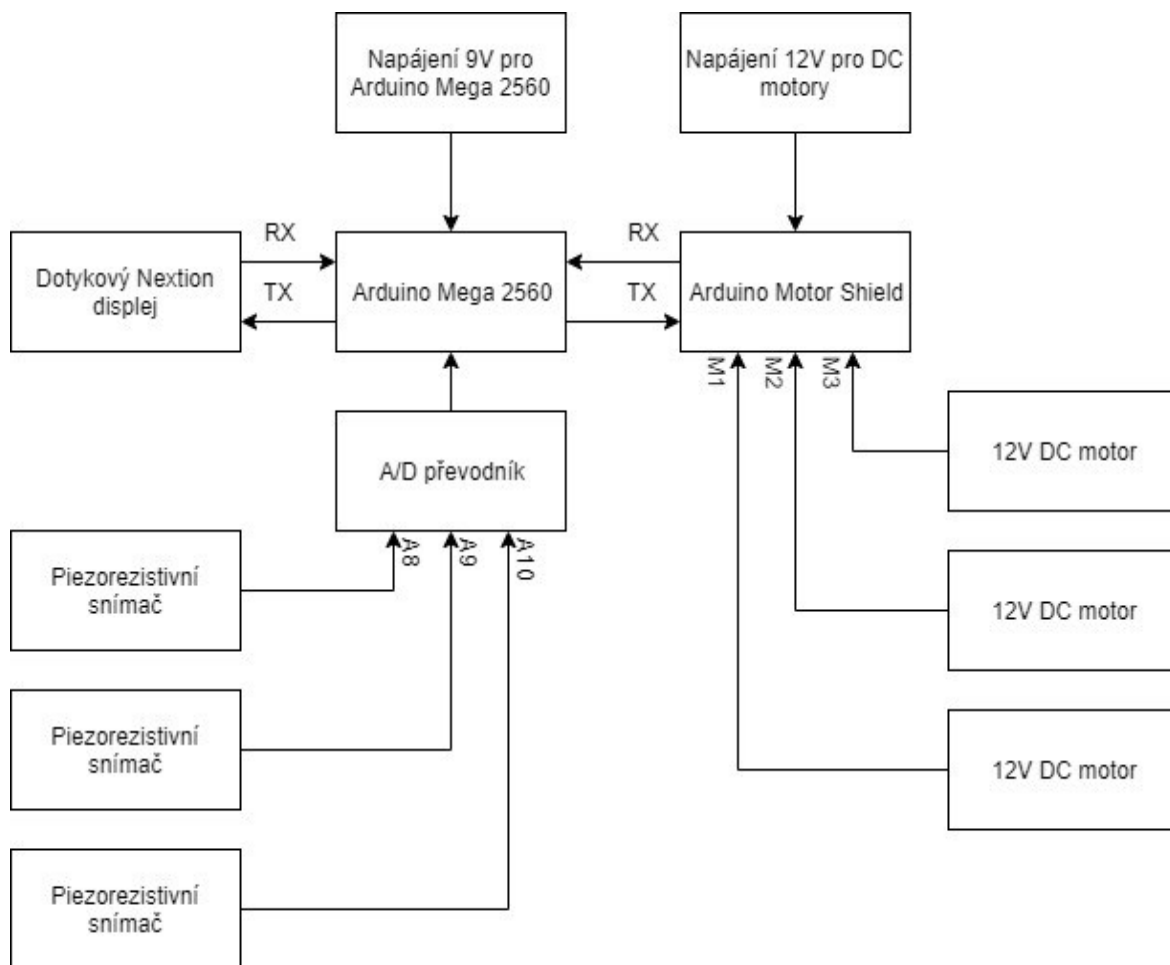
Obr. 6.12 – Kompletní konstrukce

Tab. 6.1 – Technické parametry robotického efektoru

Vstupní napětí	9 V a 12 V
Odběr proudu	200 mA
Rozlišení dotykového panelu	320 x 240
Měřicí rozsah snímačů	100 g–10 kg
Rychlost zavření/otevření prstů	cca 3 s
Rychlost otáčení hřídele motoru	150 otáček za minutu
Hmotnost soustavy	644 g
Rozměry soustavy	160 cm x 140 cm x 190 cm

7 ELEKTRONICKÉ KOMPONENTY

Celá soustava je založená na jednodeskovém počítači Arduino. Důvodem zvolení desky Arduino byla jeho jednoduchá softwarová obsluha, velká podpora ze strany vývojářů, vysoké množství dostupných komponentů určených pro Arduino a nízká cena samotné desky. Na tuto desku jsou následně připojeny stejnosměrné motory přes Arduino Motor shield, piezorezistivní senzory, Nextion displej a napájecí adaptéry.

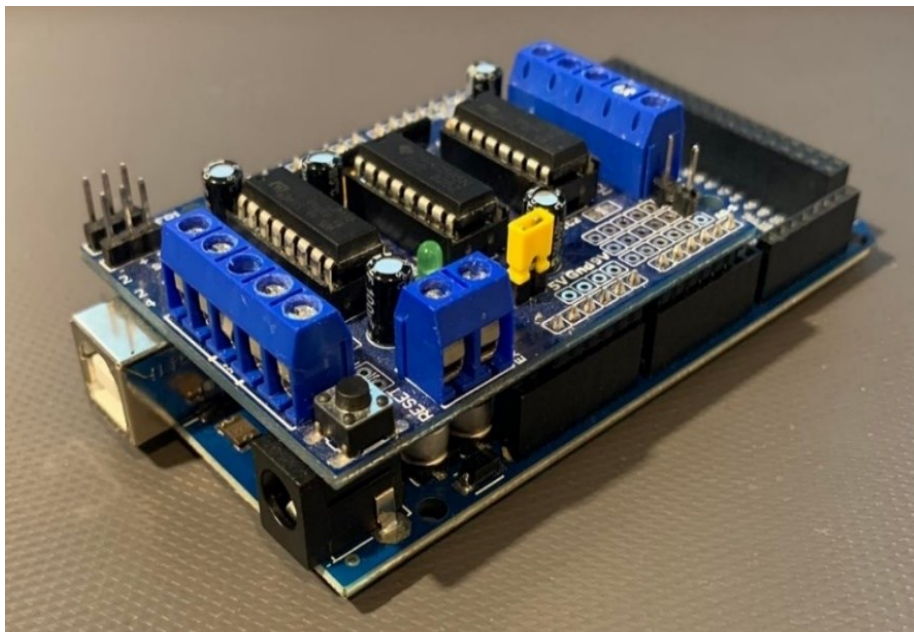


Obr. 7.1 – Blokové schéma robotického efektoru

Jednou z hlavních limitací, která je doprovázena zvoleným hardwarem pro robotický efektor, je nákupní cena jednotlivých komponentů. Proto byly použity méně kvalitní komponenty, které neposkytují nejvyšší možnou kvalitu, které se dá dosáhnout při konstruování robotického efektoru. Dalším parametrem byla absence některých komponentů na trhu. Z toho důvodu byly udělány kompromisy a pořízeny využité komponenty.

7.1 ARDUINO MOTOR SHIELD

Arduino Motor shield je jeden z mnoha typů shieldů pro Arduino. Při původním použití Arduino Uno bylo využito všech výstupních a vstupních pinů. Proto se pro tuto aplikaci využilo Arduino Mega 2560. Připojení těchto shieldů je zajištěno pomocí pinheadrů (samec) na straně shieldu a pinheadrů (samice) na straně Arduina. Díky jednoduchému propojení a malému rozměru je Arduino Motor shield ideální hardware pro řízení tří DC motorů.



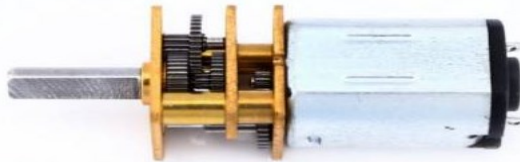
Obr. 7.2 – Arduino Motor shield napojený na Arduino Mega 2560

Důvodem pro zvolení tohoto hardwaru byla zejména jeho kompatibilita s vývojovými deskami Arduino, možnost jednoduché softwarové obsluhy a jednoduché kompaktní připojení DC motorů s Arduino Mega 2560.

7.2 POUŽITÉ STEJNOSMĚRNÉ MOTORY

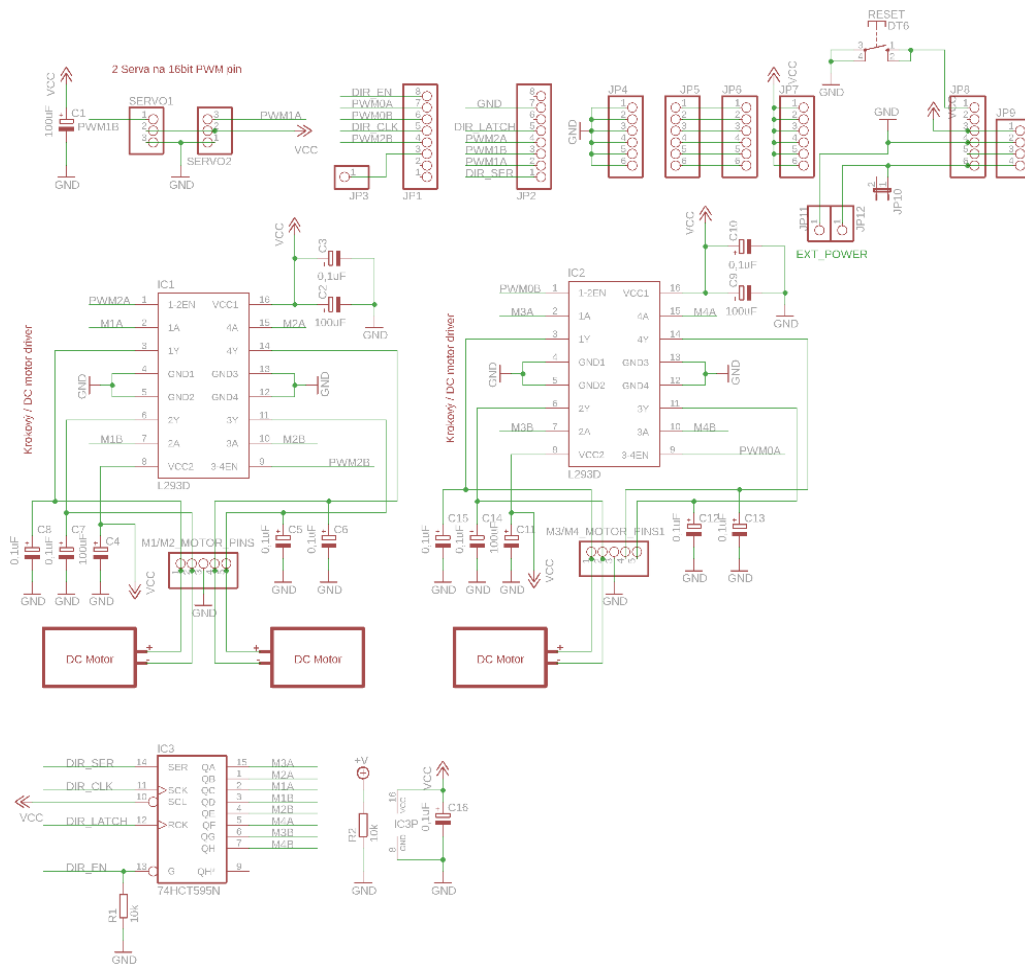
Stejnosemřné motory jsou nedílnou součástí robotického efektoru, a proto je důležitý i jejich výběr. Pro tuto práci byly nejprve zvoleny 12V DC motory s tělem o průměru 16 mm a délkou 50 mm. Průměr hřídele 3 mm a rychlost otáčení hřídele 120 otáček za minutu. Tento typ motoru je vyvíjen a doporučen přímo pro amatérské práce s roboty. Disponuje také dodatečným optickým enkodérem pro případ, že by chtěl uživatel sledovat polohu a rychlost otáčení motoru. Tento typ motoru byl nakonec pro tuto práci nevyužit, neboť v momentě konstruování robotického chapadla nebyl dostupný k objednání.

Nakonec se místo tohoto motoru použila levnější alternativa s podobnými parametry. Využitý motor je napájen 12 V a rychlost otáčení hřídele je 150 otáček za minutu. Tělo motoru má průměr 20 mm a délku 26 mm. Rozměry hřídele jsou o průměru 3 mm a délky 10 mm a má tvar D. Motor nedisponuje optickým enkodérem, proto je sledování rychlosti řešeno pomocí Arduino Motor shieldu a koncové body otáčení pomocí programu a piezorezistivním snímačem.



Obr. 7.3 – Použitý DC motor pro robotické chapadlo (DC motor, 2011)

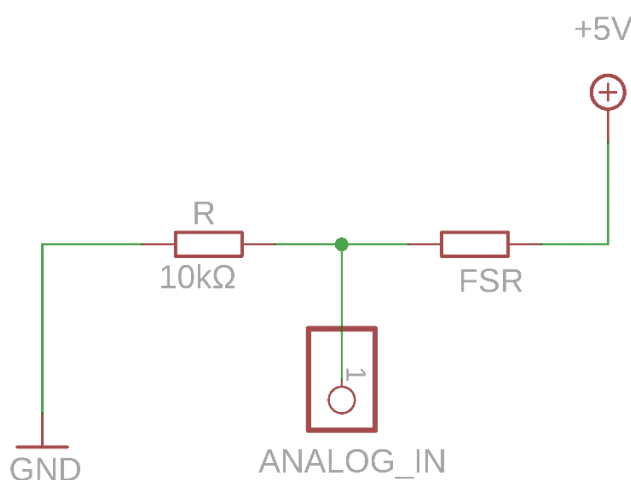
Stejnoseměrné motory jsou připojeny na Arduino Motor shield, který zaručuje přívod 12 V pro napájení, rychlost otáčení, směr otáčení a brzdu všech tří motorů.



Obr. 7.4 – Schéma zapojení připojení DC motorů na Arduino Motor shield

7.3 ZPĚTNÁ VAZBA ROBOTICKÉHO CHAPADLA

Pro získání zpětné vazby v podobě množství přitlačné síly robotického chapadla byly využity piezorezistivní snímače. Tento druh silových tlakových snímačů byl zvolen hlavně z důvodu jeho malých rozměrů. Montáž piezorezistivním snímačů byla prováděna formou lepení jednotlivých snímačů přímo na konce prstů. Zpočátku byly pro snímače navrženy nástavce. Tento nástavec byl přidělán na koncečky prstů. Jeho role měla být zejména v jednoduché montáži snímačů a pevnému úchytu, aby se zamezilo odlepení či zničení snímače při manipulaci. Při měření však tento nástavec zabraňoval deformaci snímače, a tím i nepřesnému měření. Z tohoto důvodu se zvolila metoda nalepení jednotlivých snímačů přímo na vnitřní stranu konce prstů, kde jsou díky montážním šroubům snímače lehce vystouplé. Toto zapříčinilo lepší doléhání snímače na uchopovaný předmět a tím větší citlivosti na změnu tlačené síly.



Obr. 7.5 – Schéma zapojení připojení piezorezistivního senzoru

Piezorezistivní snímače jsou připojené k analogovým vstupům Arduino Mega 2560 přes 10 k Ω odpor. Senzor má dva piny a jedná se o druh odporu, který mění svoji hodnotu na základě toho, jaká je na něj vyvolaná síla, proto nezáleží na polaritě, piny jsou symetrické. Vzhledem k tomu, že senzor je připojen přes 10 k Ω odpor, je využita celá jeho měřicí škála od 100 g do 10 kg.

7.3.1 Kalibrace snímačů

Před instalací musela být provedena kalibrace snímačů. Výstupní napětí, které se objeví na analogovém vstupu, je možné popsat následujícím vztahem:

$$V_0 = V_{cc} \cdot \frac{R}{R + FSR} \quad (7.1)$$

kde V_0 je výstupní napětí, V,
 V_{cc} je referenční napětí, V,
 R je připojení odpor, Ω ,
 FSR je odpor snímače, Ω .

V tomto případě, pokud se vyvine síla na měřenou část FSR snímače, úměrně roste výstupní napětí. Pokud je napájení celého obvodu 5 V a připojený rezistor má velikost 10 k Ω a není na snímač vyvinuta síla, výstupní napětí se blíží 0 V.

Když využijeme stejného postupu tím, že naopak vyvineme co největší sílu na snímač, výstupní napětí vzroste a blíží se 5 V. Toto můžeme vyzorovat i změřením odporu na snímači, kde v tomto případě klesne odpor na 250 Ω . Výsledky měření jsou uvedeny v tab. 7.1.

Tab. 7.1 – Hodnoty naměřené při kalibraci snímače

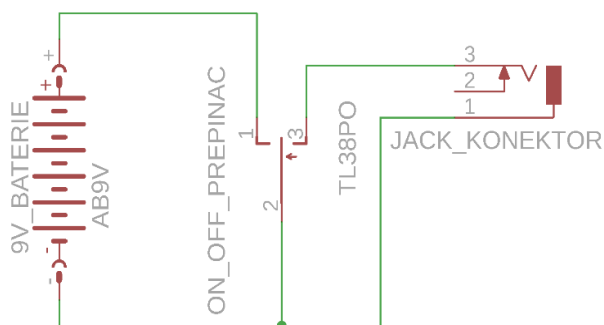
Přítlačná síla, g	Přítlačná síla, N	Odpor snímače, Ω	Výstupní napětí, V
-	-	-	0
18	0,2	3000	1,3
100	1	6000	3,1
1000	10	1000	4,5
10 000	100	250	4,9

Vestavěný A/D převodník Arduina převádí výstupní napěťovou hodnotu z piezorezistivního snímače na digitální signál o rozsahu od 0 do 1023. Tuto hodnotu uživatel také nastavuje na dotykovém panelu, aby určil míru přítlačné síly na uchopovaný předmět. Při nastavování požadované hodnoty tlaku senzorů nebyla hodnota převáděna na gramy, protože piezorezistivní snímače nemají při měření stabilní hodnotu a škála by při rozsahu od 100 g do 10 kg byla příliš velká. Pro orientaci je na dotykovém panelu poté proveden převod hodnoty na procenta.

Toho se docílilo přímo v programové části dotykového panelu. Zpětná vazba v podobě míry hodnoty přítlačné síly prstů na uchopovaný předmět mírně kolísá, což vede k nepřesnému měření. To je způsobeno několika faktory, zejména nízkou cenou, a ne příliš kvalitním provedením tohoto typu senzorů.

Ochrana proti vysokému odběru v případě velké zátěže na motorech je zajištěna termistorovou ochranu, kterou disponuje Arduino Motor shield.

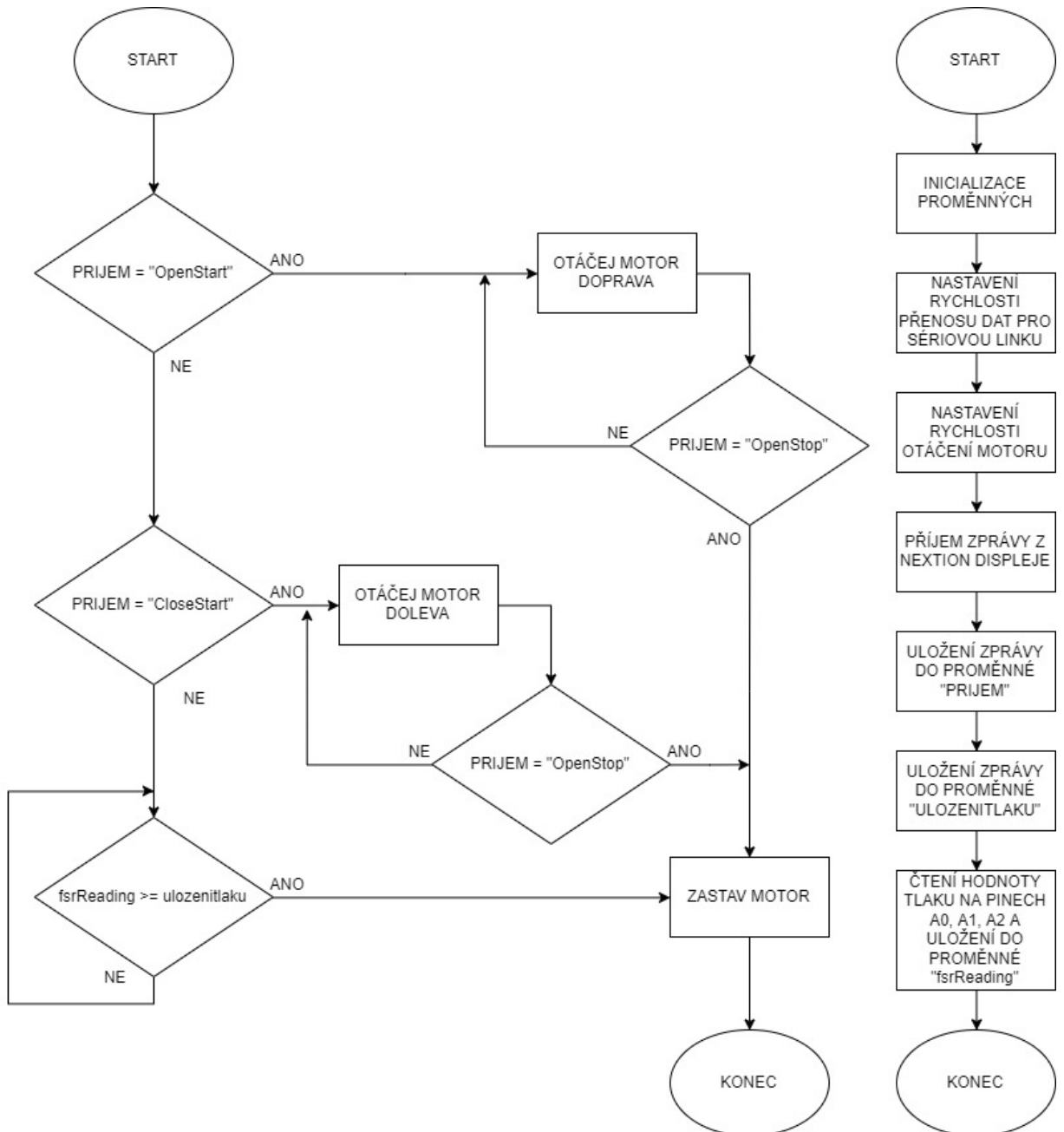
Deska Arduino Mega 2560 je poté napájena přes jack konektor z externí 9V baterie o kapacitě 190 mAh. Sériově na kladný výstup baterie je připojený přepínač pro jednoduché zapnutí a vypnutí přívodu napájení pro Arduino.



Obr. 7.7 – Schéma zapojení pro napájení robotického chapadla

8 SOFTWARE

Software pro robotické chapadlo je řešen v programu Arduino IDE, který využívá programovací jazyk Wiring. Arduino IDE je programovací prostředí přímo vytvořené pro vývojovou desku Arduino. Toto prostředí disponuje velkým počtem knihoven, které dokážou uživateli ulehčit práci.



Obr. 8.1 – Vývojový diagram řídicího programu

V této práci je použita knihovna pro řízení motorů, určená přímo pro Arduino Motor shield. Základními příkazy se docílí nastavení rychlosti otáčení motoru, samotné otáčení motoru a brzda motoru.

```
#include <AFMotor.h> //knihovna pro AMS
AF_DCMotor motor1(1); //nastavení motoru na piny AMS
AF_DCMotor motor2(2); //nastavení motoru na piny AMS
AF_DCMotor motor3(3); //nastavení motoru na piny AMS
motor1.setSpeed(500); //nastavení rychlosti otáčení motoru
motor2.setSpeed(500); //nastavení rychlosti otáčení motoru
motor3.setSpeed(500); //nastavení rychlosti otáčení motoru
motor1.run(FORWARD); //otáčej motorem doprava
motor2.run(FORWARD); //otáčej motorem doprava
motor3.run(FORWARD); //otáčej motorem doprava
motor1.run(RELEASE); //zastav motor
motor2.run(RELEASE); //zastav motor
motor3.run(RELEASE); //zastav motor
motor1.run(BACKWARD); //otáčej motor doleva
motor2.run(BACKWARD); //otáčej motor doleva
motor3.run(BACKWARD); //otáčej motor doleva
```

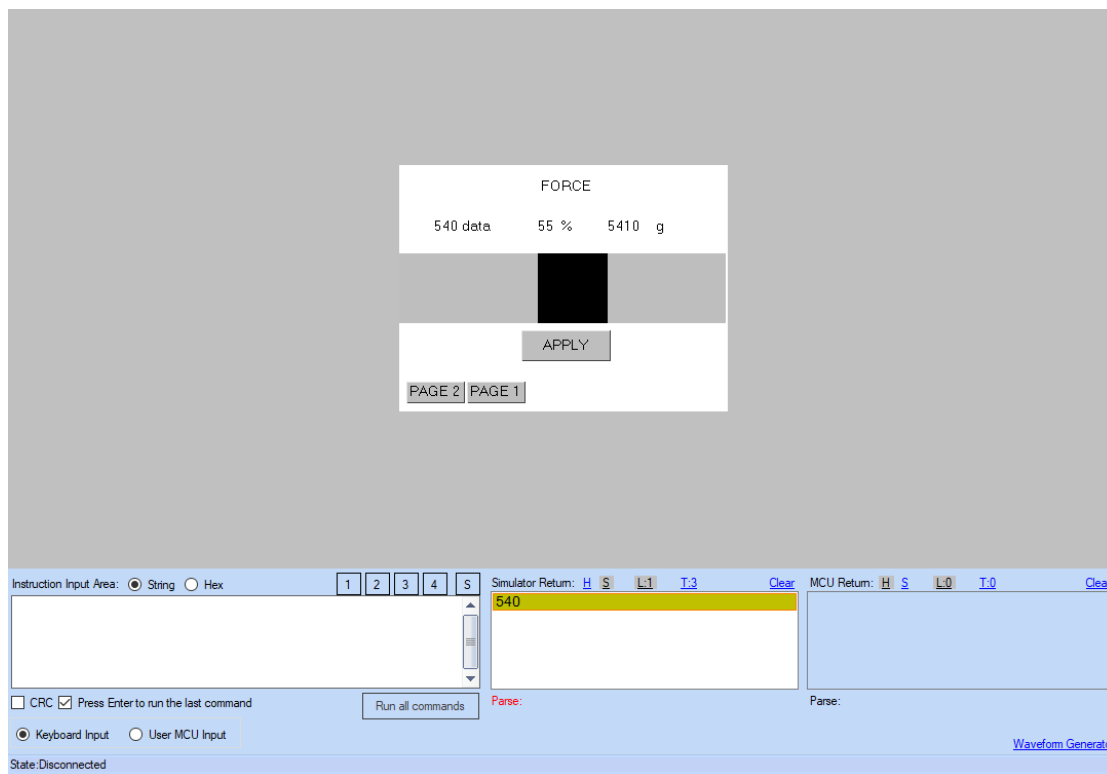
Obr. 8.2 – Základní příkazy pro chod DC motoru

Robotické chapadlo je ovládáno přes Nextion displej, který je připojen na Arduino Mega 2560. Komunikace mezi Nextion displejem a Arduinem je zajištěna pomocí sériové linky. Zde bylo zapotřebí naprogramovat komunikaci a přijímání signálu z Nextion displeje. Nextion displej umí při stisknutí námi zvoleném tlačítku vykonat příkaz ve formátu poslání určitého druhu zprávy. Určitý druh zprávy se při stisku tlačítka pošle do Arduina v hexadecimální tvaru. Zde je zapotřebí tuto zprávu znovu převést z hexadecimálního tvaru do tvaru string. Na základě tohoto převodu funguje princip ovládání celého robotického chapadla. Poté co se v Arduino provede převod do tvaru string, zbytek kódu porovná přijatou zprávu a splní se daný příkaz v podmínkové smyčce.

```
void DataDisplej() {
    DataPrijem = "";
    if (Serial3.available()) {
        DataPrijem = "";
        while (Serial3.available()) {
            DataPrijem += (char)Serial3.read();
            delay(30);
        }
    }
}
```

Obr. 8.3 – Příkaz pro příjem zprávy z Nextion

Podobný princip je využit i v části pro řešení zpětné vazby jednotlivých prstů v podobě jejich vyvinutého tlaku na uchopovaný předmět. Zde si v prostředí dotykového Nextion displeje uživatel navolí výši tlakové síly, která má být vykonána na uchopovaný předmět. Tato volba je zajištěna pomocí posuvníku v Nextion displeji.



Obr. 8.4 – Nastavení míry přítlačné síly

Tento posuvník, stejně jako tlačítka pro ovládání jednotlivých prstů, umí při nastavení hodnoty poslat hodnotu v podobě float do Arduina. Zde se za pomoci obdobného příkazu, jako u převodu zprávy z tlačítka, také převádí tato hodnota na tvar string. Hodnota ve tvaru string se potom v podmínovací smyčce porovnává s hodnotou, která je posílána z A/D převodníku, na který jsou připojeny piezorezistivní snímače. Výsledkem je případné zastavení motorů a tím zabránění nechtěné deformace uchopovaného předmětu.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byla realizace návrhu a konstrukce robotického chapadla opatřeném senzory tlaku pro zpětnovazební regulace síly uchopení předmětu.

Celá problematika spočívala nejprve v podobě návrhu a sestrojení robotického efektoru. Inspirací pro návrh byly již zhotovené tříprsté efektor, které konstruuji firmy a používají je v průmyslu. Po návrhu v 3D programech přišel samotný 3D tisk, kde se po sérii testování a získaných zkušenostech autora projektu vybral typ filamentu typu PETG. Po vytisknutí všech částí robotického efektoru započalo sestavování chapadla do jeho konečné podoby. Při sestavování vznikaly problémy zejména v oblasti nevhodně zvolených montážních materiálů. Původní spojovací materiál v podobě závlaček byl nevyhovující a později nahrazen 3 mm kulatinou. Další problém vznikl v oblasti šnekového převodu. Z důvodu špatného návrhu docházelo k časté deformaci šnekového převodu. Tato chyba se zcela neeliminována, ale minimalizovala se za pomoci vhodnějšího návrhu, zvolení tvrdšího materiálu pro 3D tisk a preciznějšího tisku. Zejména limity 3D tiskárny neumožnily provést vhodnější tisk, a proto je možné si všimnout i nízké plynulosti pohybu jednotlivých prstů. Problematická byla i aplikace DC motorů. Zde z důvodu nedostupnosti požadovaných motorů s optickým enkodérem v čase konstruování bakalářské práce byly využity alternativní DC motory bez optického enkodéru. Výsledkem je tak menší krouticí moment a celková síla DC motoru, která zapříčinila menší přítlačnou sílu efektoru na uchopovaný předmět, než byla původně zamýšlena. Konečná poloha motoru byla proto řešena tlakem snímače na dlaň efektoru. Zpětná vazba každého prstu efektoru je řešena pomocí piezorezistivního snímače. Zde byla řešena zejména instalace piezorezistivního snímače na konec prstů, aby snímač mohl co nejspolehlivěji zaznamenat množství vynaložené přítlačné síly na měřenou část snímače. Tento typ snímače splňuje svoji roli v oblasti zpětné vazby.

Pro dokonalejší zpětnou vazbu je však doporučeno využít kvalitnější snímače. Důvodem je zejména nepřesnost měření piezorezistivních snímačů. Přístup k snímačům a jednotlivým prstům je zajištěn pomocí dotykového panelu Nextion. Na tomto displeji bylo řešeno ovládání jednotlivých prstů a nastavení míry tlaku, který je zapotřebí vynaložit na uchopovaný předmět. Poslední část konstrukce byla věnována napájením celé soustavy. Zde bylo zapotřebí rozdělit přívod DC napětí pro Arduino Mega a DC motory. To bylo realizováno za pomoci připojení 9V baterie na dvoustavový přepínač a konektor pro připojení 12V síťového adaptéru pro napájení DC motorů.

Důvodem rozdělení napájecího napětí je zejména kvůli zaručení přívodu 12 V pouze do DC motorů a minimalizovat zničení mikroprocesoru na desce Arduino Mega 2560.

Budoucí vylepšení efektoru by mohlo směřovat směrem k výměně stávajících DC motorů za kvalitnější model. Dále také vhodnějším a kvalitnějším zvolení zpětnovazebních snímačů pro robotický efektor. A v neposlední řadě využití tvrdšího materiálu pro samotný tisk. Všechna tato vylepšení jsou čistě závislá na množství investování peněz do jednotlivých prvků.

POUŽITÁ LITERATURA

- AnalogRead. 2022. *Arduino* [online]. Monza: Arduino SLR, [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Reference/AnalogRead>
- ATmega328. 1998. *Microchip* [online]. Chandler: Microchip Technology [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://www.microchip.com/en-us/product/ATmega328>
- BONANOMI, Anna. 2019. Vertical grip: Magnetic Gripper For Robots. *Power Transmission World* [online]. Milan: Tecniche Nuove Spa, [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://www.powertransmissionworld.com/vertical-grip-on-sheet-metal-in-the-automotive-and-metal-industries/>
- ĎAĎO, S.; KREIDL, M. 1996. *Senzory a měřicí obvody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, ISBN 80-01-01500-9.
- DC motor. 2011. *Drátek* [online]. Havlíčkův Brod: Eclipsera, [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/3099-stejnosemny-motor-s-prevodovkou-dc-12v-300-rpm-n20.html>
- FRADEN, J. 2016. *Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications*. Fifth edition. Cham: Springer, ISBN 978-3-319-19302-1.
- FSR402. 2010. *Datasheet* [online]. Rev. A. Camarillo: Interlink Electronics, [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://www.interlinkelectronics.com/fsr-402>
- Gripper. 2012. *Robotiq* [online]. Lévis: Robotiq, [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://robotiq.com/products/3-finger-adaptive-robot-gripper>
- HOELLDORFER, Andreas. 2015. *3D Printable Robot Arm* [online]. Pasadena: Hackday, 2015 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://hackaday.io/project/3800-3d-printable-robot-arm>
- HUGHES, A; DRURY, B. 2013 *Electric motors and drives: fundamentals, types and applications*. 4th ed. Amsterdam: Elsevier. ISBN 978-0-08-098332-5.
- KOLÍBAL, Z. 2016. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTIUM, ISBN 978-80-214-4828-5.
- KUKA ready2. 2022. *KUKA* [online]. Augsburg: KUKA Aktiengesellschaft, [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-sluzby/robotické-systémy/ready2_use/kuka-ready2_arc
- Mega 2560. 2022. *Product Reference Manual* [online]. Rev3. Arduino, [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>
- Modular Circuits. 2011. *Modular Circuits* [online]. Andras Tantos, [cit. 2022-03-19]. Dostupné z: <https://www.modularcircuits.com/blog/articles/h-bridge-secrets/h-bridges-the-basics/>
- Motor driver, 2019 *Arduino: Project Hub* [online]. Hackster, [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://create.arduino.cc/projecthub/electropeak/arduino-l293d-motor-driver-shield-tutorial-c1ac9b>
- Motor shield. 2011. *Drátek* [online]. Havlíčkův Brod: Eclipsera, 2011 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/dok/VHG83tB5FpQUhUGC>

- Nextion 3.2. 2011. *Drátek* [online]. Havlíčkův Brod: Eclipsera, [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/50942-nextion-3.2-nx4024t032-hmi-lcd-displej.html>
- Nextion Introduction. 2011. *Nextion* [online]. Šen-Čen: Intead studio, [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://nextion.tech>
- PWM. 2021. *EletronicsTutorials* [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.electronics-tutorials.ws/blog/pulse-width-modulation.html>
- ROUBÍČEK, O. 2004. *Elektrické motory a pohony: příručka techniky, volby a užití vybraných druhů*. Praha: BEN – technická literatura. ISBN isbn80-7300-092-x.
- SELECKÝ, M. 2016. *Arduino: uživatelská příručka*. Přeložil Martin HERODEK. Brno: Computer Press, ISBN 978-80-251-4840-2.
- SICILIANO, B. 2010. *Robotics: modelling, planning and control*. London: Springer, Advanced textbooks in control and signal processing. ISBN 978-1-84628-641-4.
- SINATRA, R.; Clark B. TEEPLE a PARKER, F. 2019. Ultrgentle manipulation of delicate structures using a soft robotic gripper. *Science Robot.* Aug 2019, 2019(4), 60. ISSN 2470-9476. Dostupné z: doi:10.1126/scirobotics.aax5425
- SKAŘUPA, J. 2008. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, [cit. 2022-03-10]. ISBN 978-80-248-1522-0.
- Spot welding. 2022. *ABB Group* [online]. Zurich: ABB Asea Brown Boveri, [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/spot-welding>
- Stejnosměrný motor. 2021. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Stejnosměrný_motor
- ULBRICHT, R. 2020. A/D converter. *ArduinoSlovakia* [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: https://www.arduinosllovakia.eu/page/a/d-prevodnik?lang=en#google_vignette
- Uno. 2022 *Product Reference Manual* [online]. R3. Arduino, [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
- VÁŇA, V. 2003a *Mikrokontroléry Atmel AVR – assembler*. Praha: BEN – technická literatura, ISBN 80-7300-093-8.
- VÁŇA, V. 2003b *Mikrokontroléry ATMEL AVR: Popis procesoru a instrukční soubor*. Praha: BEN – technická literatura, ISBN 80-7300-083-0.
- VODA, Z. 2015 *Průvodce světem Arduina*. Bučovice: Martin Stříž, ISBN 978-80-87106-90-7.
- VOJÁČEK, A. 2008. Automatizace.HW.cz. *Automatizace.HW* [online]. [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/motory-jejich-rizeni-s-mcu-2-cast-spinaci-mustky-jejich-pripojeni-k-mcu>
- WARWICK, A. 2021. *Arduino Uno Hardware Manual*. Revised & Updated. Susteren: Elektor, ISBN 978-3-89576-434-9.
- ZEHNULA, K. 1990 *Čidla robotů*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, Automatizace a regulace.

PŘÍLOHY

Příloha A – CD

Příloha B – Uživatelská příručka

Příloha C – Technický popis

Příloha k bakalářské práci

Senzorické chapadlo robotického ramene

Michal Šimon

CD

OBSAH

- 1 Text bakalářské práce ve formátu PDF.
- 2 Uživatelská příručka ve formátu PDF.
- 3 Technická dokumentace ve formátu PDF.
- 4 Řídicí program soustavy.
- 5 Program pro vizualizaci.
- 6 3D modely dílů.
- 7 Schémata zapojení.

Příloha k bakalářské práci

Senzorické chapadlo robotického ramene

Michal Šimon

UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA PROGRAMU

Uživatelské rozhraní pro senzorické chapadlo

OBSAH

	Obsah	B – 2
	Seznam ilustrací	B – 3
	Úvod	B – 4
1	Požadavky na robotický efektor	B – 5
1.1	Požadavky na HW	B – 5
1.2	Požadavky na SW	B – 5
2	Oživení robotického chapadla	B – 6
3	Ochrana zdraví a zařízení	B – 8
	Závěr	B – 9

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 2.1 – První strana ovládání robotického efektoru.....	C – 6
Obr. 2.2 – Druhá strana ovládání robotického efektoru	C – 7
Obr. 2.3 – Třetí část ovládání robotického efektoru	C – 7

ÚVOD

Drtivá většina robotických efektorů, kam nespádají pouze chapadla, ale i ostatní typy efektorů, nejsou řízena samostatně, tudíž nezávisle na robotickém rameni. V praxi se robotické efekторы řídí pomocí stejného softwaru jako robotické rameno. Pro tuto aplikaci bylo zapotřebí zajistit prostředí, přes které by se celá konstrukce robotického efektoru dala ovládat. V tomto prostředí bylo zajištěno ovládání jednotlivých prstů nebo hodnoty, jakou mají prsty tlačit na uchopovaný předmět a vyslat tyto hodnoty do uživatelského rozhraní.

1 POŽADAVKY NA ROBOTICKÝ EFEKTOR

Pro správné fungování robotického efektoru je zapotřebí dodržet požadavky na zprovoznění, které jsou rozepsány v kapitolách 1.1 a 1.2.

1.1 POŽADAVKY NA HW

Pro ovládání robotického chapadla pomocí dotykového panelu je zapotřebí řídicí jednotka v podobě Arduino desky, Arduino Motor shieldu a připojených periférií. Mezi tyto periférie patří 12 V DC motory s minimálně 150 otáčkami za minutu, FSR senzor a samotný dotykový panel, nejméně o velikosti 2,4".

Pro napájení celé soustavy je zapotřebí rozdělit napájení pro desku Arduino a pro DC motory. Pro desku Arduino je zapotřebí přivést napětí od 9 V do 12 V (doporučeno je 9 V) a pro motory 12 V přes Arduino Motor shield.

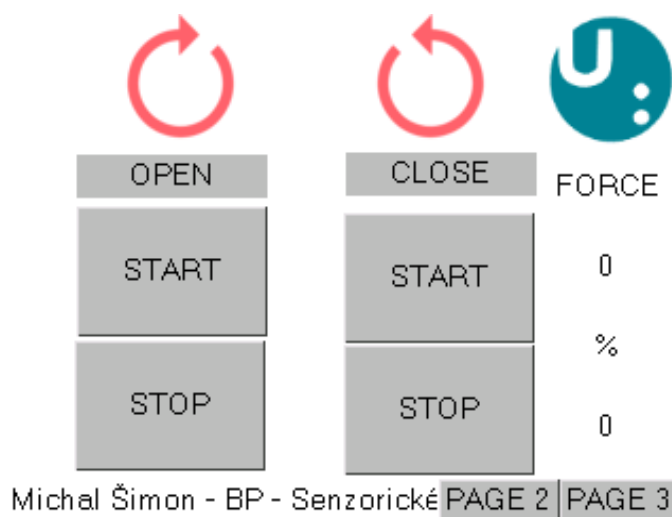
1.2 POŽADAVKY NA SW

Požadavky na software jsou pouze v podobě programů pro realizaci uživatelského prostředí a to je program Nextion Editor. Následně program pro programování Arduino desky, Arduino IDE. V programu Arduino IDE je možné vypsání množství vyvinuté síly působící na uchopovaný předmět. Tento údaj je zobrazen a nastavován na dotykovém panelu.

2 OŽIVENÍ ROBOTICKÉHO CHAPADLA

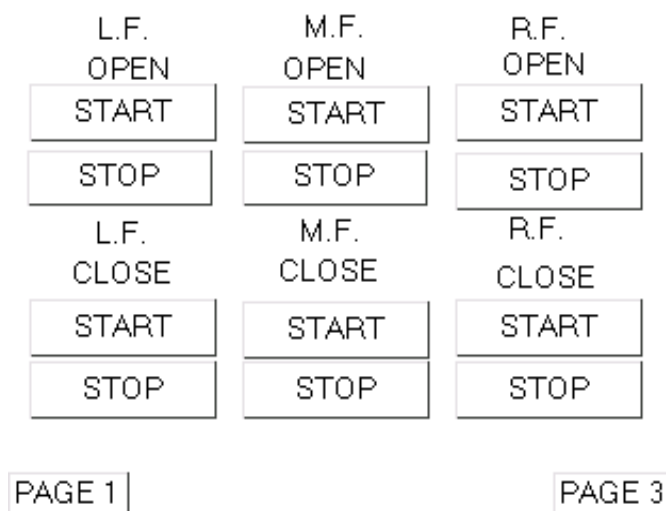
Pro oživení robotického chapadla je zapotřebí nejprve přivést napájení pro celou konstrukci. Pro toto slouží dvoustavový přepínač a jack konektor. Po zkontrolování připojené 9V baterie ve spodní části podstavce můžeme přepnout přepínač do ON polohy, pro indikaci připojeného napětí slouží LED dioda umístěná na přepínači. Vedle přepínače se nachází jack konektor, přes který je možné přivést napětí o velikosti 12 V pro DC motory. Zde se na Arduino Motor shield nachází propoj, který je zapotřebí před připojením 12 V odpojit. V případě, že tento propoj bude připojen, celá soustava bude napájena 5 V.

Po správném připojení 12V a přepnutí spínače se rozsvítí dotykový panel, na kterém se nachází ovládací tlačítka pro samotné ovládání ruky. Hlavní stránka obsahuje jednoduché a zároveň nejčastěji používané ovládání robotického chapadla. Nachází se zde kompletní zavření a otevření robotického chapadla, signalizace síly tlačením a přepínání na další stránky uživatelského rozhraní, viz obr. 2.1.



Obr. 2.1 – První strana ovládání robotického efektoru

Druhá stránka obsahuje obsluhu jednotlivých prstů. Důvodem realizace této stránky je zejména minimalizace chybovosti tlačením jednotlivých prstů na uchopovaný předmět. Důvodem je také občasné přeskokování šnekového převodu, a tím nesoučasné zavírání všech tří prstů, viz obr. 2.2.



Obr. 2.2 – Druhá strana ovládání robotického efektoru

Třetí strana zajišťuje obsluhu nastavení míry tlačené síly na uchopovaný předmět. Zde je zajištěno posílání požadované hodnoty do Arduino desky a následné porovnání této hodnoty a případné zastavení motorů, viz obr. 2.3.



Obr. 2.3 – Třetí část ovládání robotického efektoru

3 OCHRANA ZDRAVÍ A ZAŘÍZENÍ

Celá soustava robotického chapadla je napájena a pracuje s napětím do 12 V. V rámci toho napětí při přímém kontaktu s osobou nehrozí osobě úraz elektrickým proudem.

Robotické chapadlo disponuje motory, mechanickými převody nebo pružinami. Část robotické dlaně je zakryta z důvodu ochrany motorů, ale část prstů je odkrytá. Při chodu robotického chapadla by zejména v oblasti prstů mohlo dojít k poranění při kontaktu s vlasy nebo dojít ke skřípnutí prstů.

Ochrana zařízení je zajištěna samotnou konstrukcí, kde možnost jiného napájení pro Arduino desku než formou 9V baterie není podporováno. V případě napájení do Arduino Motor shieldu lze připojit až 20 V. Před připojením je zapotřebí vždy zkontrolovat propoj, který nepustí víc jak 5 V. U jack konektoru je dodatečně přidán informační nápis v podobě doporučeného napětí.

ZÁVĚR

V této příloze bylo popsáno uživatelské rozhraní a způsob ovládání robotického chapadla. Celé ovládání bylo navrženo s cílem, aby bylo co nejjednodušší a rychle aplikovatelné na případnou instalaci robotického efektoru na robotické rameno.

Příloha k bakalářské práci

Senzorické chapadlo robotického ramene

Michal Šimon

TECHNICKÁ DOKUMENTACE

Konstrukce senzorického chapadla

OBSAH

	Seznam ilustrací	C – 3
	Úvod	C – 4
1	Konstrukce robotického chapadla	C – 5
2	Konstrukce elektroniky	C – 12
3	Konstrukce podstavce	C – 14
	Závěr	C – 16

SEZNAM ILUSTRACÍ

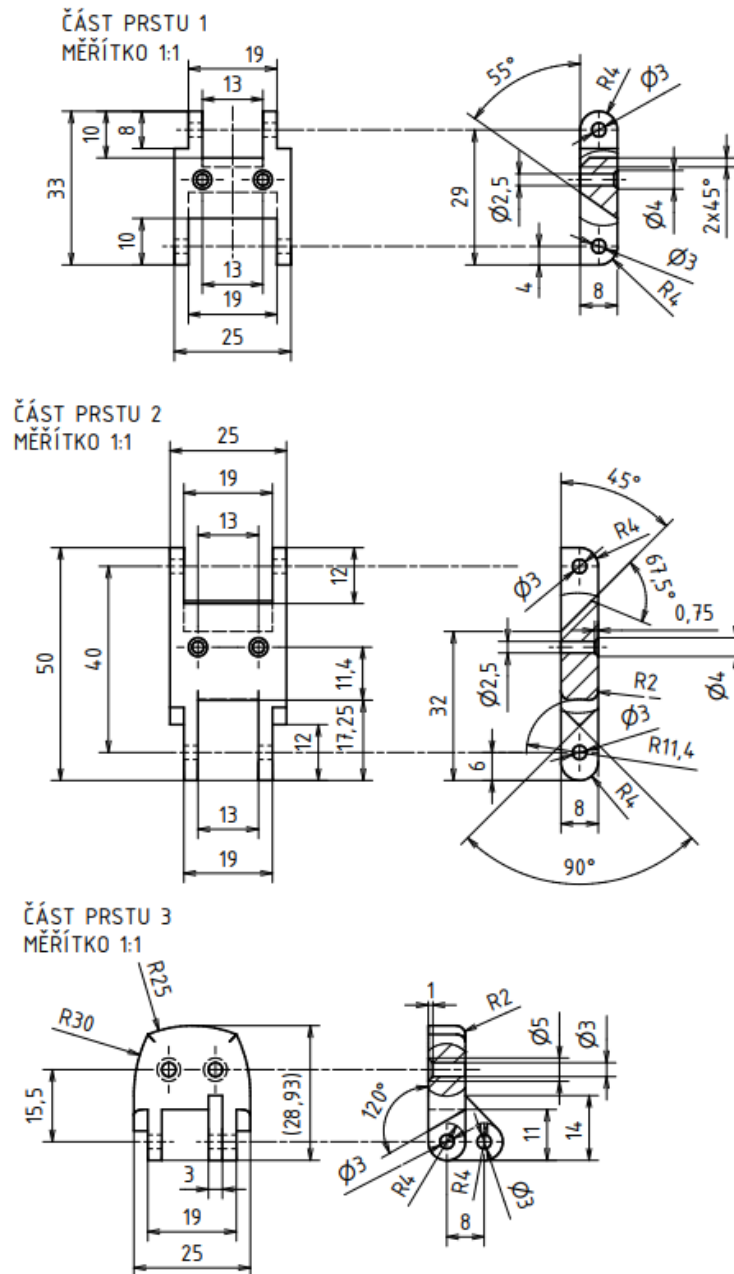
Obr. 1.1 – Rozměry jednotlivých částí prstů	C – 5
Obr. 1.2 – Mechanické táhla robotického prstu	C – 6
Obr. 1.3 – Mechanické táhla robotického prstu	C – 7
Obr. 1.4 – Středová část robotické dlaně	C – 8
Obr. 1.5 – Pravá/Levá část robotické dlaně	C – 9
Obr. 1.6 – Kryty motoru robotické dlaně	C – 10
Obr. 1.7 – Šnekové převody robotického efektoru	C – 11
Obr. 2.1 – Umístění DC motorů v robotické dlani efektoru	C – 12
Obr. 2.2 – Elektronika v podstavci efektoru	C – 13
Obr. 3.1 – Konstrukce podstavce robotického efektoru	C – 14
Obr. 3.2 – Konstrukce krytu na dotykový panel	C – 15

ÚVOD

Součástí bakalářské práce bylo zkonstruování robotického efektoru. Velká část konstrukce byla již popsána v samotné bakalářské práci, jelikož to byl jeden z hlavních cílů při realizaci celé bakalářské práce. Pro konstrukci byl zvolen 3D tisk vzhledem k tomu, že umožňuje relativní rychlou a snadnou tvorbu různých konstrukcí. Celá konstrukce byla původně provizorně realizována na nepájivé pole z důvodu rychlého řešení chyb při zapojení. Výsledné zapojení bylo zapájené.

1 KONSTRUKCE ROBOTICKÉHO CHAPADLA

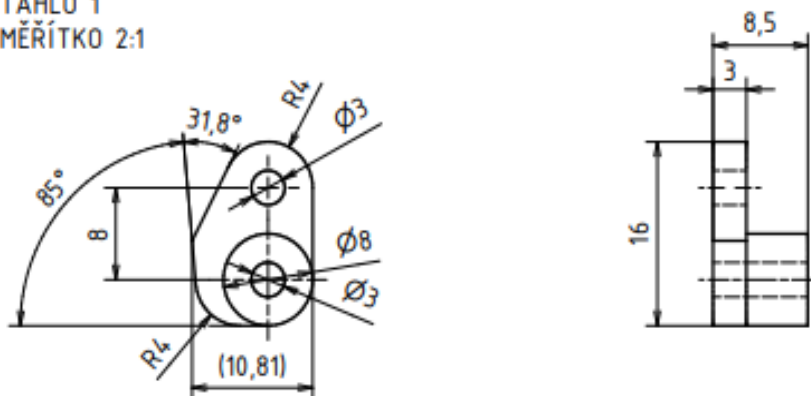
Konstrukci robotického chapadla tvoří mnoho částí. Jedná se tak o trojici prstů, které jsou zhotoveny ze tří částí pro lepší přilnavost prstů k uchopovanému předmětu.



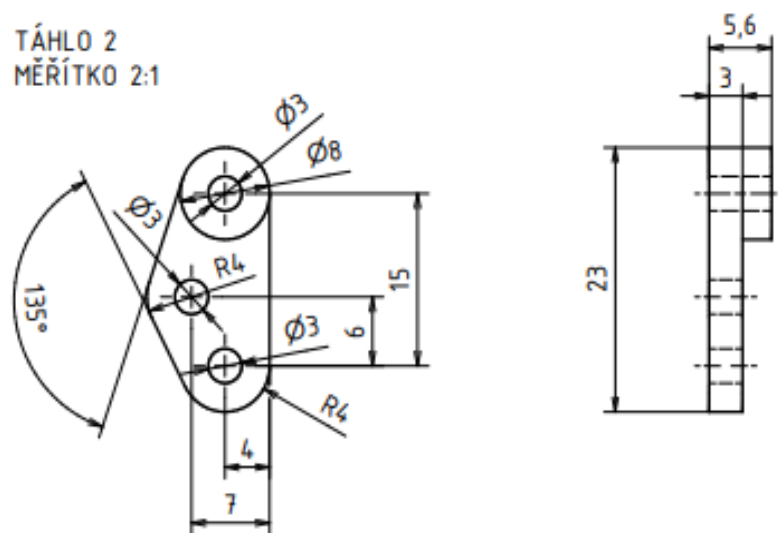
Obr. 1.1 – Rozměry jednotlivých částí prstů

Nedílnou částí prstů jsou také mechanická táhla, která přenášejí pohyb z motoru do částí prstů. Každý prst disponuje 5 táhly.

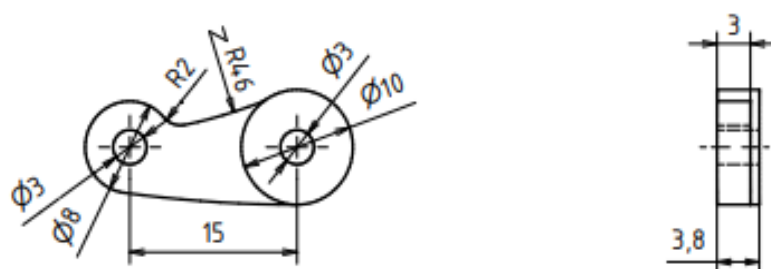
TÁHLO 1
MĚŘÍTKO 2:1



TÁHLO 2
MĚŘÍTKO 2:1

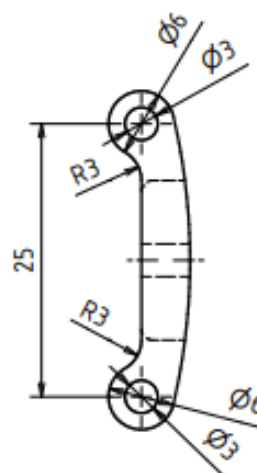
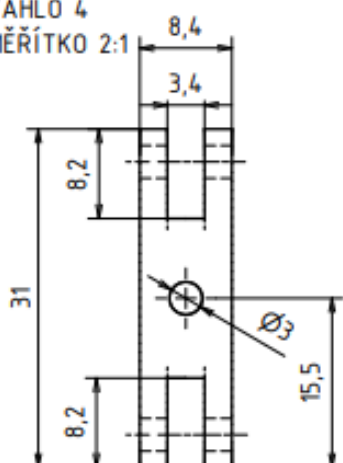


TÁHLO 3
MĚŘÍTKO 2:1

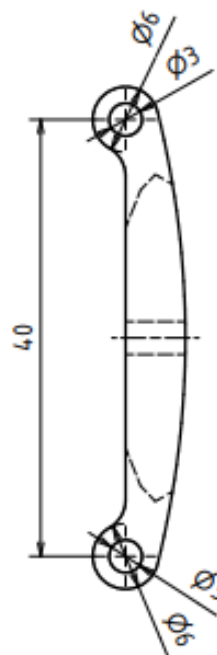
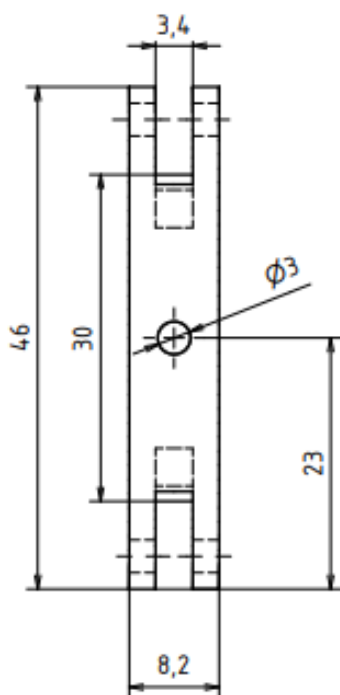


Obr. 1.2 – Mechanická táhla robotického prstu

TÁHLO 4
MĚŘÍTKO 2:1

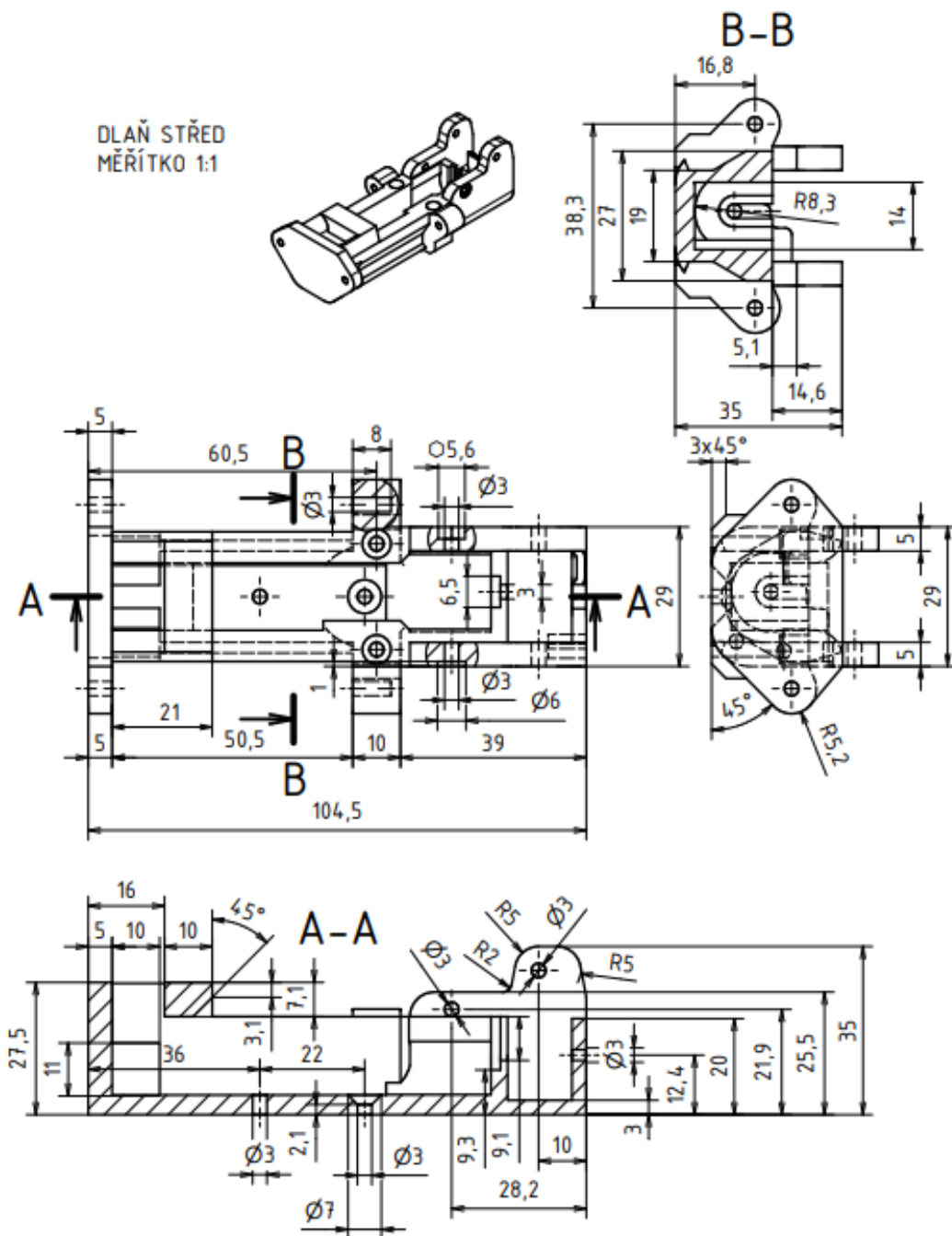


TÁHLO 5
MĚŘÍTKO 2:1



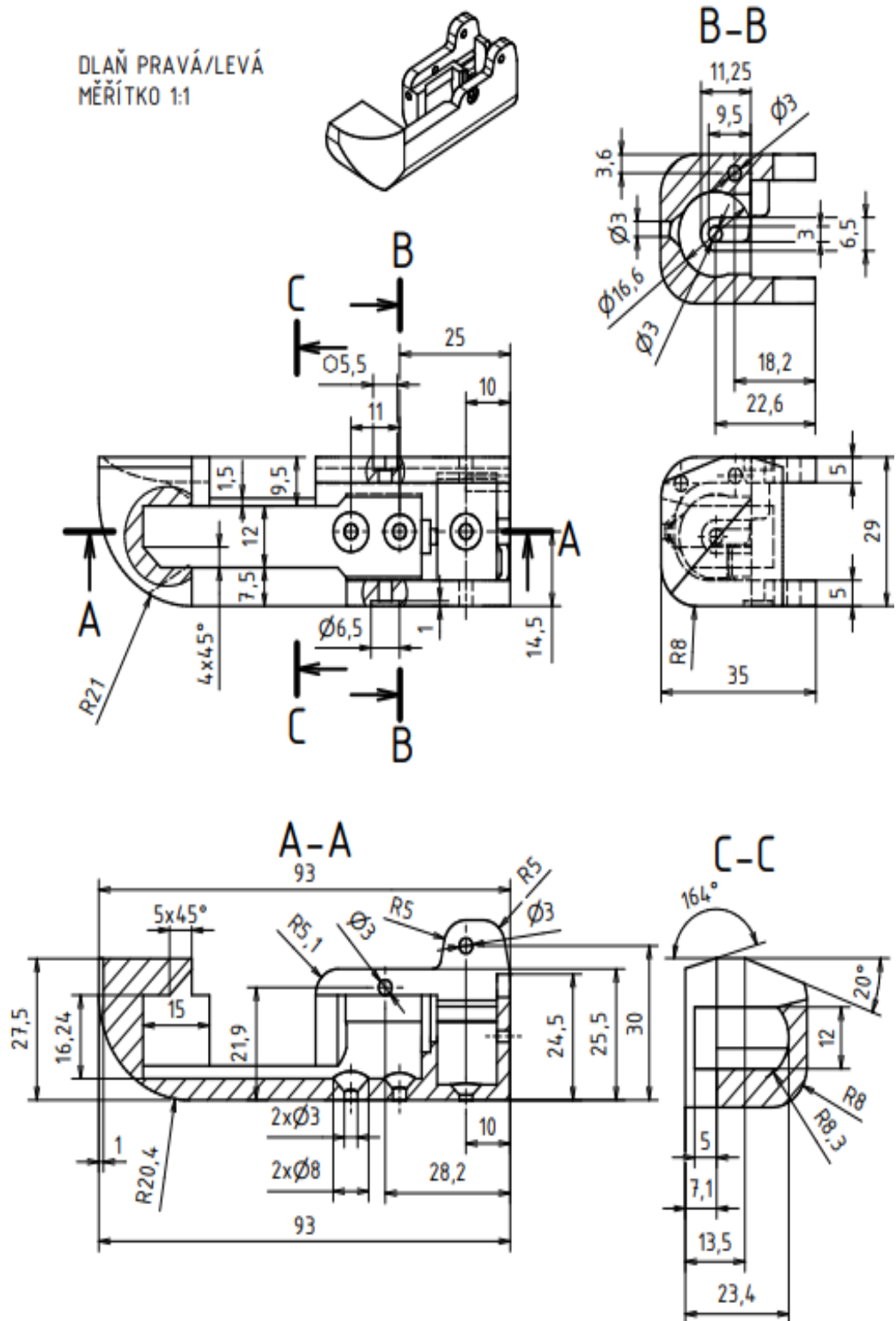
Obr. 1.3 – Mechanické táhla robotického prstu

Dlaň je tvořena taktěž třemi částmi. Konstrukce obsahuje pouze dvě části. Část středová a část pro pravou stranu a levou stranu. Zde se poté v programu pro konečnou vizualizaci před 3D tiskem vertikálně otočila levá/pravá část robotické dlaně, aby se zaručila symetrie robotické dlaně.



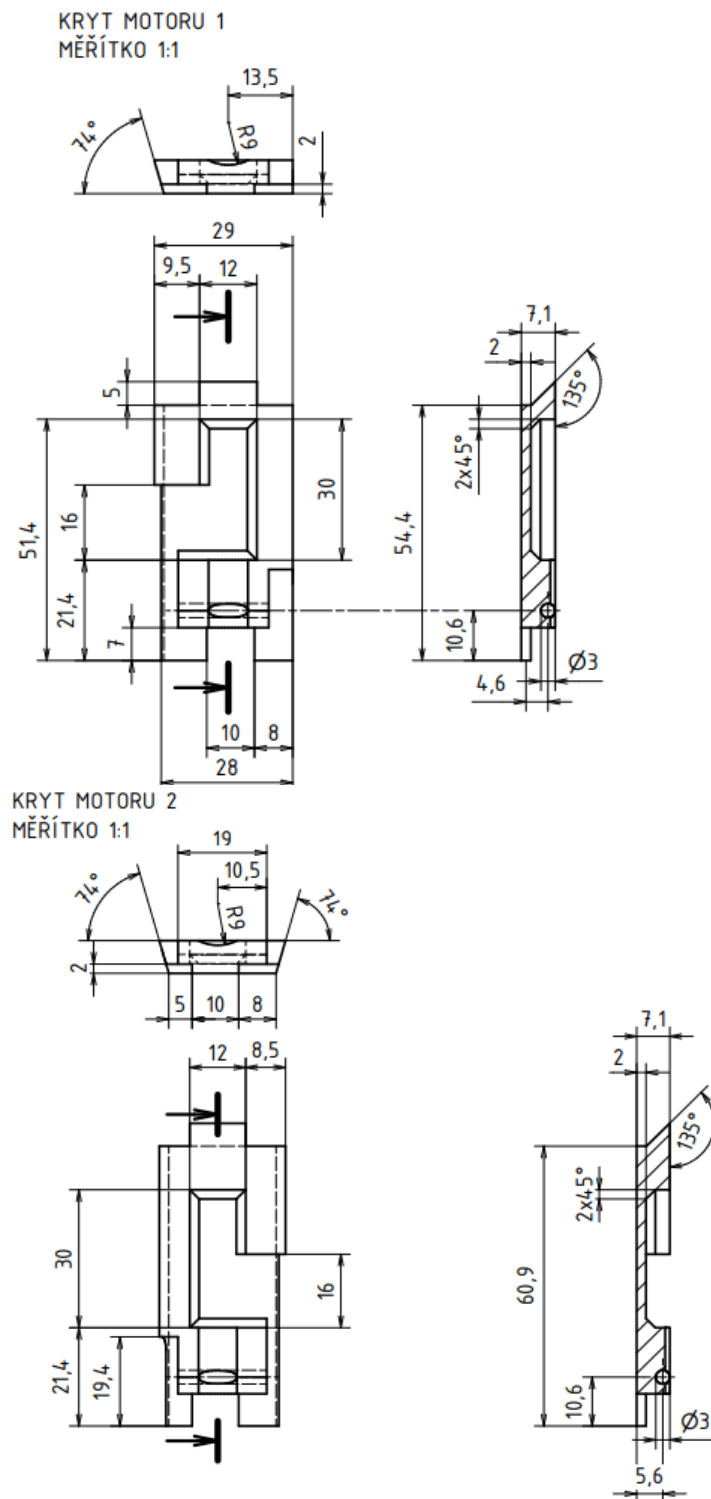
Obr. 1.4 – Středová část robotické dlaně

DLAŇ PRAVÁ/LEVÁ
MĚŘÍTKO 1:1



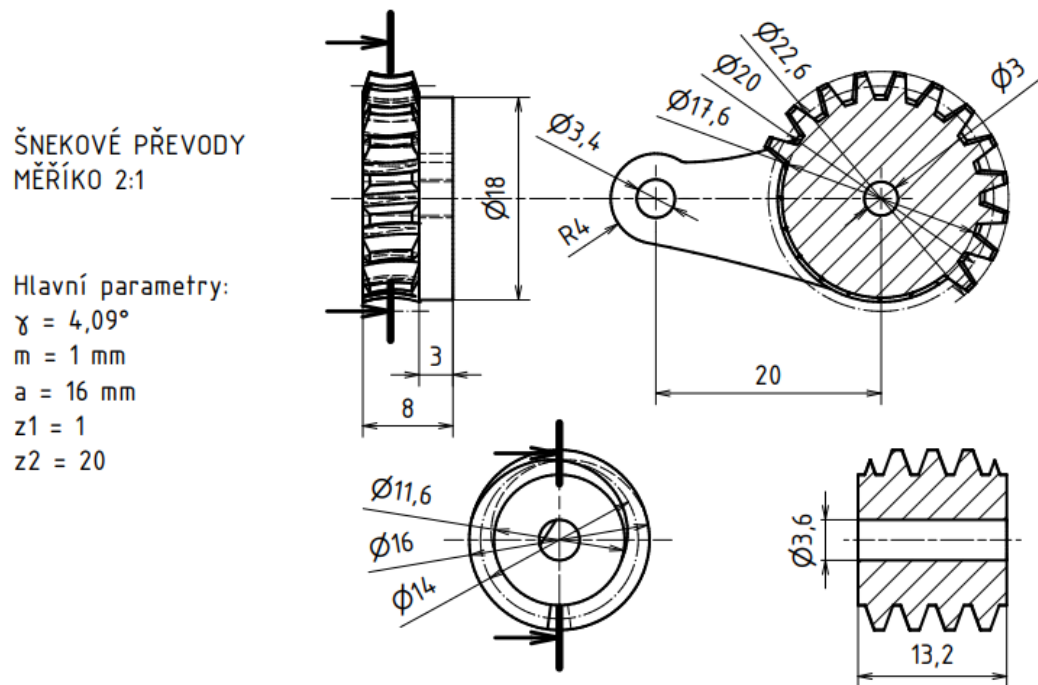
Obr. 1.5 – Pravá a levá část robotické dlaně

Dlaň robotického efektoru je také tvořena krytem motoru. Tyto kryty mají za úkol chránit motory uložené v dlani efektoru a tvořit vnější část dlaně.

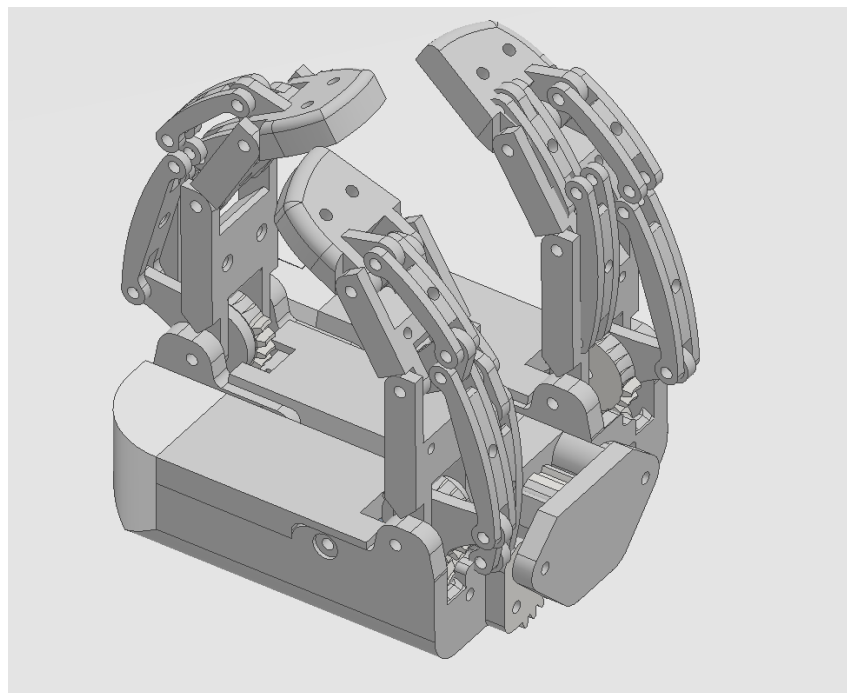


Obr. 1.6 – Kryty motoru robotické dlaně.

Poslední částí jsou ozubené převody efektoru. Tyto převody prošly největšími změnami. Změny se týkaly zejména velikostí a hloubkou zubů šnekového převodu za účelem plynulejšího zavírání a otevírání robotického efektoru.



Obr. 1.7 – Šnekové převody robotického efektoru

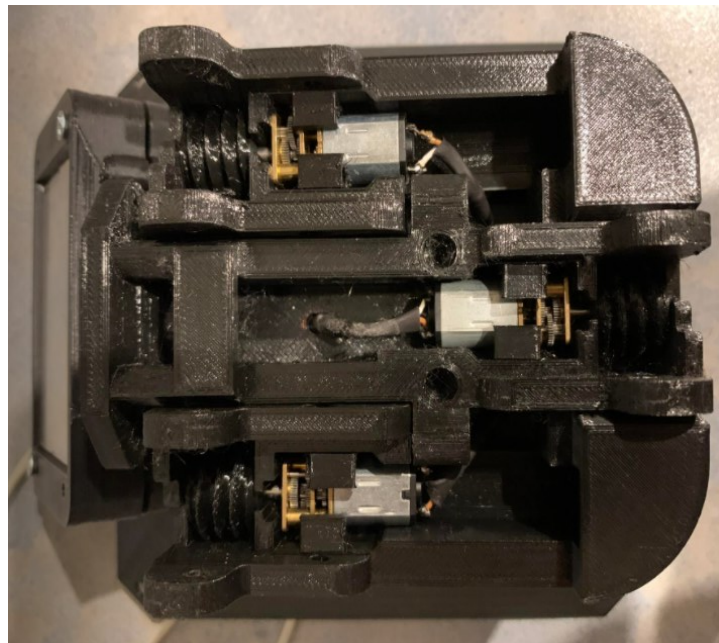


Obr. 1.8 – 3D model robotického efektoru

2 KONSTRUKCE ELEKTRONIKY

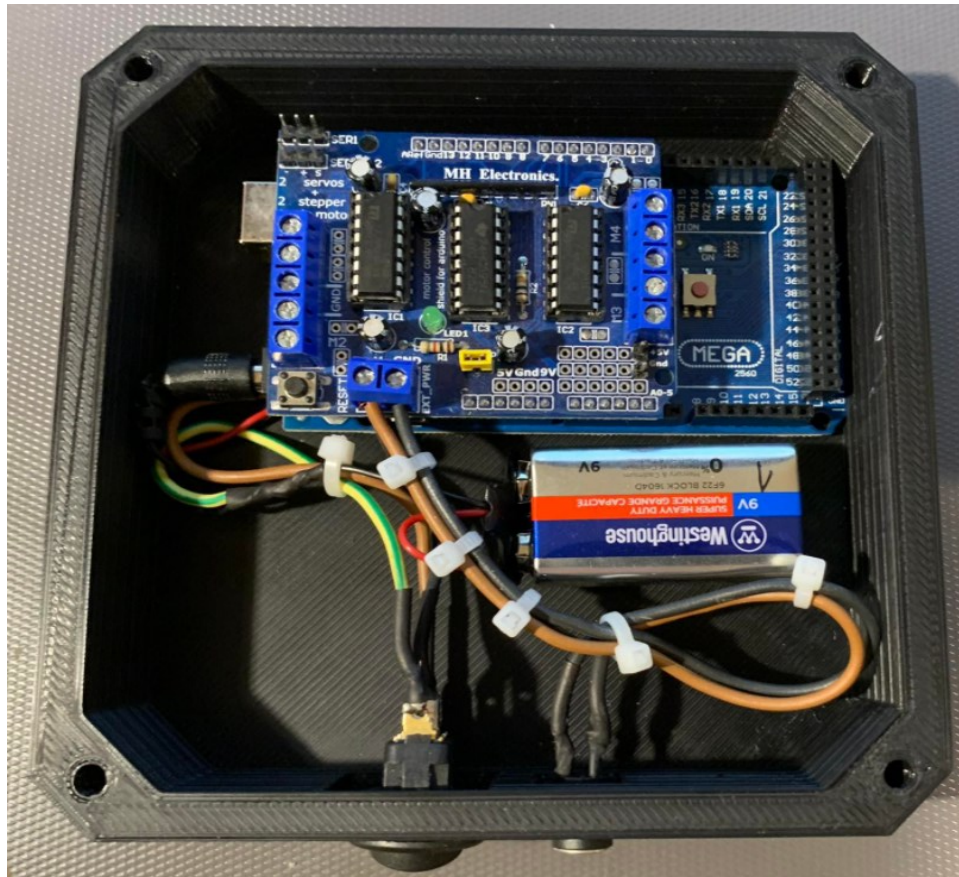
Elektronika v robotickém efektoru se nachází ve třech částech. První částí, kde vede elektronika, jsou samotné prsty robotického efektoru, kde je z každého FSR snímače vyveden a napájen dvoulinkový kabel pro přenos hodnoty z FSR snímače. Tento kabel vede přes dlaň efektoru do podstavce, ve kterém je umístěné Arduino Mega 2560.

Druhým umístěním elektroniky je samotná dlaň, kde se nachází v každé části jeden DC motor. Na tento motor jsou také napájeny dvoulinky pro přívod napájení do motorů s Arduino shieldu. Motory vzhledem k jejich síle měly tendenci se při velké zátěži otáčet v konstrukci, proto byly pro ně vytištěny zářezky, aby se zamezilo nechtěnému pohybu motorů.



Obr. 2.1 – Umístění DC motorů v robotické dlani efektoru

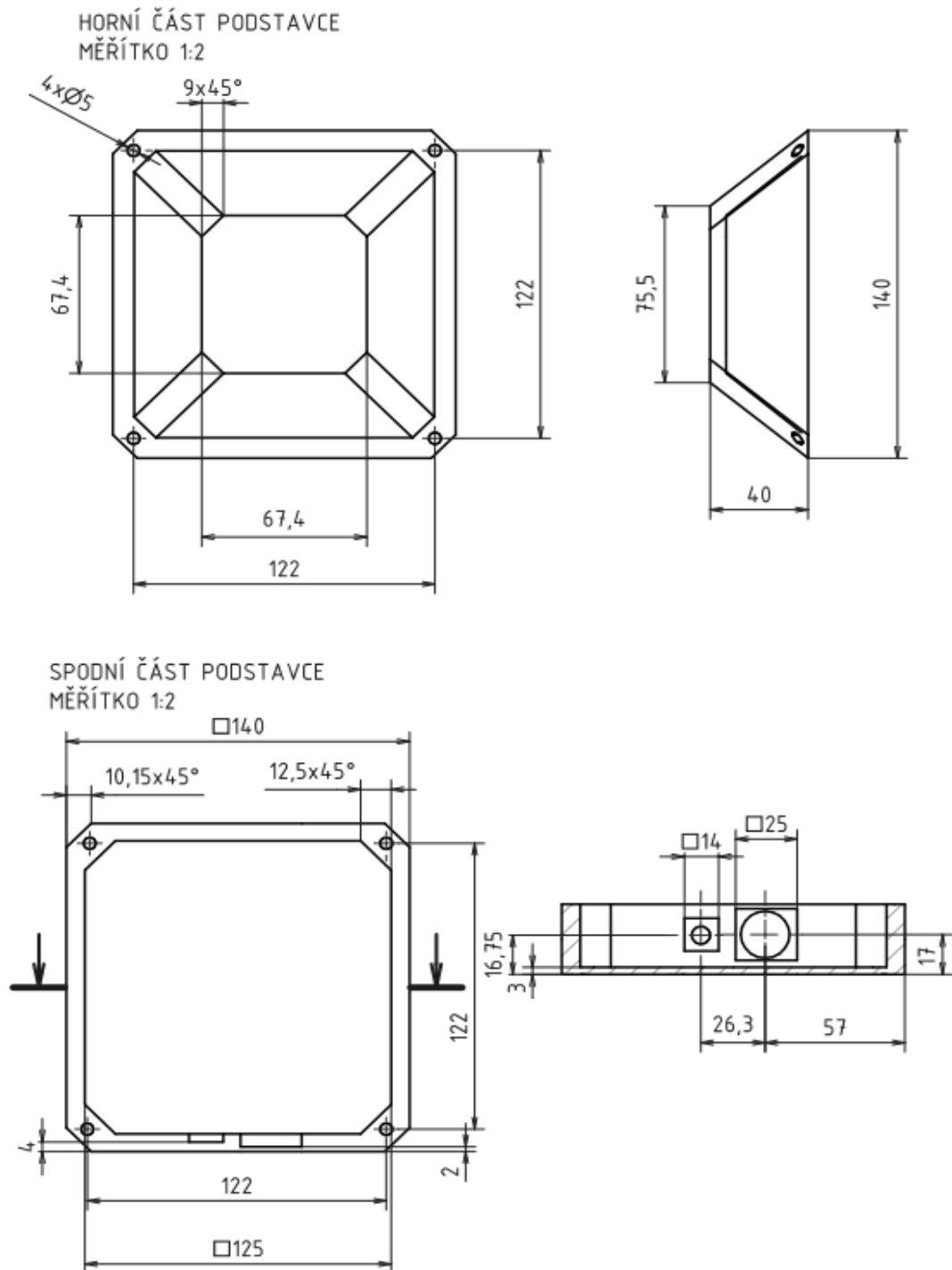
Třetí částí elektroniky je uložena ve spodní části podstavce. Zde se nachází deska Arduino Mega 2560, Arduino Motor shield, 9V baterie, napájecí konektory, tlačítko a veškerá kabeláž, která vede z periférií umístěným na prstech a v dlani, viz obr. 2.2.



Obr. 2.2 – Elektronika v podstavci

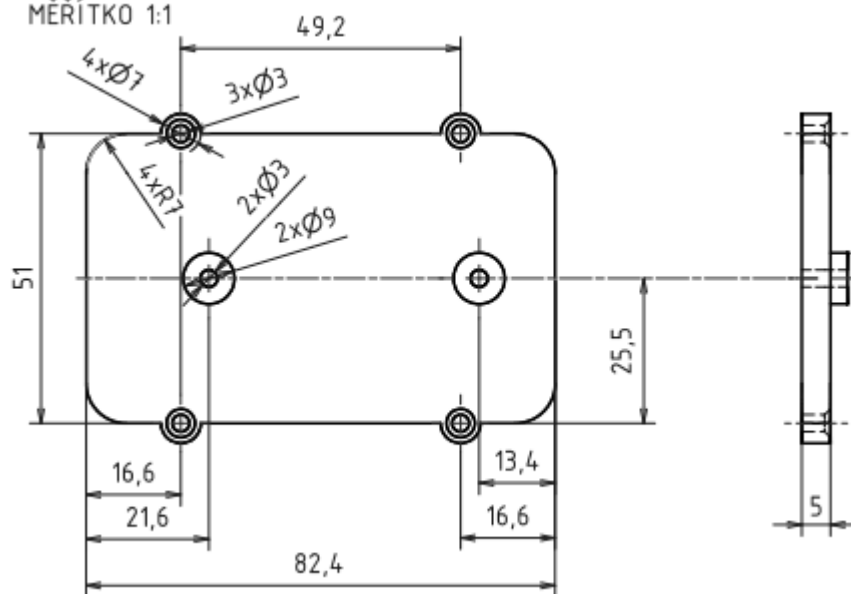
3 KONSTRUKCE PODSTAVCE

Podstavec pod robotický efektor byl navržen tak, aby se do něj vešla veškerá elektronika, včetně kabeláže. Na podstavci je umístěno také ochranné pouzdro pro dotykový panel, aby bylo zamezeno zničení displeje při jeho manipulaci.

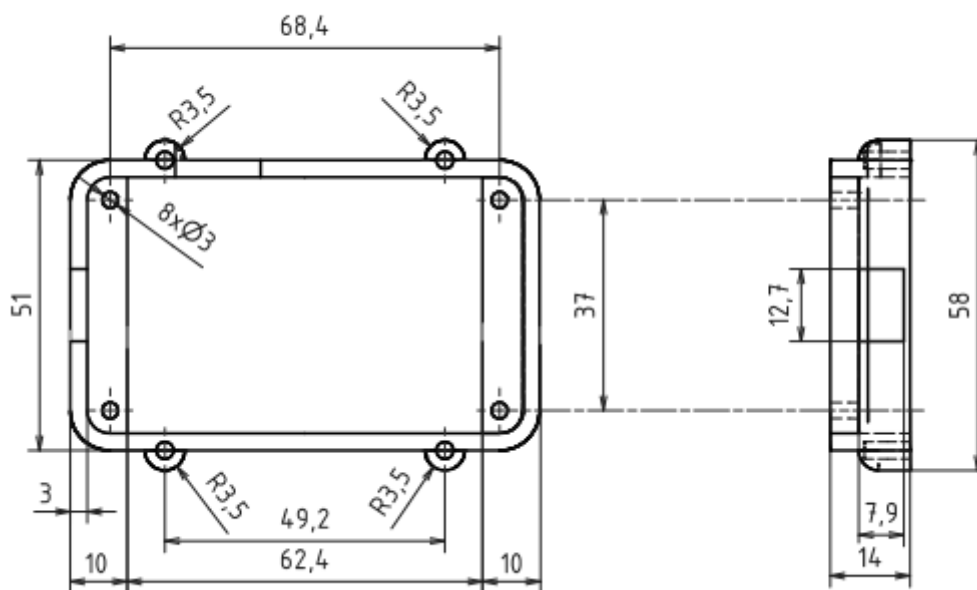


Obr. 3.1 – Konstrukce podstavce robotického efektoru

HORNÍ ČÁST DISPLEJE
MĚŘÍTKO 1:1



SPODNÍ ČÁST DISPLEJE
MĚŘÍTKO 1:1



Obr. 3.2 – Konstrukce krytu na dotykový panel

ZÁVĚR

V této příloze byly ukázány jednotlivé části konstrukce při stavbě modelu robotického efektoru. Celá konstrukce byla sestrojena za účelem co největší výdrže a limitací byly pouze samotné limity 3D tisku. Další dokumentace je obsahem přiloženého CD.