

**UNIVERZITA PARDUBICE**

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**2024**

**Bc. Michal Šimon**

**UNIVERZITA PARDUBICE**

Fakulta elektrotechniky a informatiky

**KONCOVÝ EFEKTOR S EXTERNÍM ŘÍZENÍM**

Bc. Michal Šimon

Diplomová práce

2024

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

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal Šimon**  
Osobní číslo: **I22198**  
Studijní program: **N0714A150005 Automatické řízení**  
Téma práce: **Koncový efektor s externím řízením**  
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

## Zásady pro vypracování

Cílem práce je návrh a realizace koncového efektoru mikromanipulátoru robotického ramene. Pohyby efektoru budou řízeny autonomní, externí, elektronickou jednotkou. Pohyby mechanické konstrukce budou realizovány vhodnou sestavou standardních servo motorů. Pro ovládání efektoru bude navržena a realizována autonomní řídicí jednotka. Jako základní prvek řídicí jednotky bude použit vybraný vývojový kit s jednočipovým mikropočítačem (např. Arduino UNO, Mega, ESP32 atp.).

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: **60 stran**  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.  
MATIČKA, Robert a TALÁČKO, Jaroslav. *Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů*. Praha: SNTL, 1980.  
CHVÁLA, Břetislav; MATIČKA, Robert a TALÁČKO, Jaroslav. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Praha: SNTL, 1990. ISBN 80-03-00361-x.  
BOŽEK, Pavol. *Špecializované robotické systémy*. Ostrava: Ámos, 2011. ISBN 978-80-904766-3-9.  
SICILIANO, Bruno. *Robotics: modelling, planning and control*. Advanced textbooks in control and signal processing. London: Springer, c2010. ISBN 978-1-84628-641-4.

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

Datum zadání diplomové práce: **8. listopadu 2023**  
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2024**

**Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.** v.r.  
děkan

L.S.

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

V Pardubicích dne 14. listopadu 2023

## **Prohlášení**

Prohlašuji:

Práci s názvem Koncový efektor s externím řízením 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 17. 05. 2024

Bc. Michal Šimon, v. r.

## **Poděkování**

Rád bych vyjádřil své díky rodině, přátelům a dalším, kteří mi byli oporou během studia a při psaní této diplomové práce. Velké poděkování patří především mému vedoucímu práce, panu Ing. Liboru Havlíčkovi, PhD. za odborné vedení a cenné rady, které mi byly poskytnuty během realizace této práce a po dobu celého studia.

V Pardubicích dne 17. 05. 2024

Bc. Michal Šimon, v. r.

## **ANOTACE**

*Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací tříprstého mechanického koncového efektoru. Cílem je vytvořit efektor, který je možné řídit pomocí externího zařízení. Nejprve byla provedena rešerše koncových efektorů a konstrukčních prvků, které jsou aplikovány v konstrukci. Poté je práce soustředěna na vývoj obou konstrukcí v 3D programu a následné zhotovení pomocí 3D tisku. Pro obě konstrukce je realizována programová výbava, výrobní dokumentace a uživatelský manuál. Cílem práce je nabytí zkušeností v oblasti návrhu a realizace koncových efektorů a řídicích systémů.*

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

*koncový efektor, Arduino, 3D modelování, externí řízení*

## **TITLE**

## **EFFECTOR WITH EXTERNAL CONTROL UNIT**

## **ANNOTATION**

The thesis deals with the design and implementation of a three-finger mechanical end effector. The aim is to create an effector that can be controlled by an external device. Firstly, a research of end-effectors and the design elements that are applied in the design has been carried out. Then the work is focused on the development of both designs in a 3D program and the subsequent fabrication using 3D printing. The software, manufacturing documentation and user manual are implemented for both designs. The aim of the work is to gain experience in the design and implementation of end effectors and control systems.

## **KEYWORDS**

**End effector, Arduino, 3D modelling, External control**

# OBSAH

	Seznam ilustrací.....	9
	Seznam zkratk a značek.....	11
	Seznam symbolů veličin.....	12
	Seznam tabulek.....	13
	Úvod .....	14
1	Úvod do koncových efektorů .....	15
1.1	Struktura efektorů .....	15
1.1.1	Interface .....	16
1.1.2	Pohon.....	16
1.1.3	Kompenzátor .....	16
1.1.4	Těleso efektoru .....	17
2	Úchopné hlavice .....	18
2.1	Pasivní mechanické úchopné hlavice .....	18
2.2	Aktivní mechanické úchopné hlavice.....	19
2.3	Podtlakové úchopné hlavice .....	20
2.4	Magnetické úchopné hlavice .....	21
2.5	Technologické hlavice .....	23
2.6	Speciální hlavice.....	23
3	Servo pohony .....	24
3.1	Stejnoseměrné (servo) motory.....	25
3.1.1	Konstrukce DC motoru.....	26
3.1.2	Princip funkce DC motoru.....	26
3.1.3	PWM modulace a řízení DC motorů .....	27
4	Arduino.....	28
4.1	Arduino UNO .....	29
4.2	Arduino NANO .....	31
4.2.1	Bluetooth technologie.....	32
5	Senzor pro měření polohy – potenciometry .....	33
6	Technologie 3D tisku.....	34
6.1	FDM tiskárny.....	34
6.1.1	Typy filamentů.....	35



7	Návrh a sestavení efektoru.....	36
7.1	Konstrukce části s pohony.....	37
7.2	Konstrukce úchopných prstů a dlaně.....	38
7.2.1	Polohy natočení prstů.....	39
7.2.2	Výpočet působení sil na konstrukci prstů efektoru.....	40
7.3	Elektronika koncového efektoru.....	45
7.3.1	Servopohony efektoru.....	46
7.3.2	Bluetooth modul HC-05 – slave.....	48
7.4	Vlastnosti a kompletizace efektoru.....	50
8	Konstrukce řídicího zařízení – rukavice.....	52
8.1	3D návrh rukavice.....	53
8.2	Elektronika řídicí rukavice.....	54
8.2.1	Potenciometry jako přenos ohybu prstu.....	55
8.3.2	Bluetooth modul HC-05 – master.....	57
8.3.3	LCD displej a napájení řídicí rukavice.....	58
8.4	Vlastnosti a kompletace řídicí rukavice.....	59
9	Řídicí program.....	60
9.1	Kalibrační program.....	60
9.2	Program koncového efektoru.....	61
9.3	Program řídicí rukavice.....	64
	Závěr.....	66
	Použitá literatura.....	67
	Přílohy.....	71

## SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Struktura efektoru (Skařupa, [2008]) .....	15
Obr. 2.1 – Robotické rameno s pasivním efektoem (Kodnongbua et al., 2022) .....	18
Obr. 2.2 – Robotické rameno s aktivním efektoem (Bernier, 6 December 2021n .l.) .....	19
Obr. 2.3 – Inteligentní efektor OnRobot (RG2-FT – Inteligentní uchopovač, b. r.) .....	20
Obr. 2.4 – Podtlakový efektor (VG10 – ... podtlakový uchopovač, b. r.) .....	21
Obr. 2.5 – Robotické rameno s magnetickou úchopnou hlavici (Bernier, 5 July 2014n. l.)	22
Obr. 2.4 – Svařovací hlavice (How the Right Robotic End-Effector ..., c2024) .....	23
Obr. 3.1 – Typy servo pohonů (DDPC, c2024; Servo motor, c2008-2024; PARKER Hydraulic, c1994 - 2024) .....	24
Obr. 3.2 – Konstrukce DC motoru (Brushed DC Motor, [2021]) .....	26
Obr. 3.3 – Průběh PWM signálu v závislosti na vstupním signálu (Bolic, 2023) .....	27
Obr. 4.1 – Mikrokontroler Arduino UNO (Arduino® UNO R4 Minima, c2024) .....	29
Obr. 4.2 – Rozložení I/O Arduina UNO (Arduino® UNO R4 Minima, [2023]) .....	30
Obr. 4.3 – Arduino Nano (Arduino Nano, c2024). .....	31
Obr. 4.4 – Piny Arduina Nano (Pinout-NANO, [2021]) .....	31
Obr. 5.1 – Potenciometr a jeho konstrukce (Potentiometer Connection ..., [2023]) .....	33
Obr. 6.1 – Části FDM 3D tiskárny (3D tiskárna Original Prusa MK4, [2023]) .....	35
Obr. 7.1 – Návrh efektoru v programu Fusion 360 (Menard, 2018; McMASTER-CARR, b. r.) .....	36
Obr. 5.2 – Konstrukce pro pohony efektoru (Menard, 2018) .....	37
Obr. 7.3 – Konstrukce nástavce na hřídeli (Menard, 2018), (McMASTER-CARR, b. r.) ..	37
Obr. 7.4 – Konstrukce prstů efektoru (McMASTER-CARR, b. r.) .....	38
Obr. 7.5 – Natočení horní části prstů efektoru (McMASTER-CARR, b. r.) .....	39
Obr. 7.6 – Možné koncové polohy prstů efektoru (McMASTER-CARR, b. r.) .....	39
Obr. 7.7 – Schéma řezu jednotlivých těles efektoru (McMASTER-CARR, b. r.) .....	40
Obr. 7.8 – Schéma vlivu sil a momentů na články prstů efektorů .....	40
Obr. 7.8 – Maticový zápis rovnic v programu Matlab .....	42
Obr. 7.10 – Schéma zatížení čepu .....	42
Obr. 7.11 – Graf zatížení čepu od ohybu momentu .....	43
Obr. 7.12 – Část programu pro najití maximálního namáhání .....	44
Obr. 7.13 – Blokové schéma zapojení elektroniky efektoru .....	45

Obr. 7.14 – Mikro servomotor (Servomotor mikro - 180°, b. r.) .....	46
Obr. 7.15 – Servomotor MG996R (Servo MG996R ..., b. r.) .....	46
Obr. 7.16 – Servo driver PCA9685 (IIC I2C Modulový driver ..., b. r.) .....	47
Obr. 7.17 – Zapojení servomotoru k Arduino UNO (Autodesk, 2009) .....	48
Obr. 7.18 - Zapojení HC-05 při konfiguraci (Autodesk, 2009) .....	49
Obr.7.19 – Kompletní zapojení efektoru (Autodesk, 2009) .....	51
Obr. 8.1 – Původní návrh řídicí rukavice .....	52
Obr. 8.2 – 3D návrh řídicí rukavice .....	54
Obr. 8.3 – Blokové schéma elektroniky řídicí rukavice .....	55
Obr. 8.4 – Použitý lineární potenciometr 10k $\Omega$ (Lineární potenciometr, b. r.).....	55
Obr. 8.5 – Zapojení testovacího obvodu pro kalibraci servomotorů (Autodesk, 2009) .....	56
Obr. 8.6 – Implementace potenciometrů.....	56
Obr. 8.7 – Bluetooth modul HC-05 (Bluetooth modul HC-05, b. r.).....	57
Obr. 8.8 – Zobrazení míry natočení potenciometrů .....	58
Obr. 8.9 – Schéma zapojení LCD displeje (Autodesk, 2016).....	58
Obr. 8.10 – Schéma zapojení řídicí rukavice (Autodesk, 2016).....	59
Obr. 9.1 – Vývojový diagram kalibračního programu .....	61
Obr. 9.2 – Vývojový diagram programu koncového efektoru .....	63
Obr. 9.3 – Vývojový diagram programu řídicí rukavice.....	65

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

3D	třírozměrný
ABS	termoplastický polymer z akrylonitrilu, butadienu, styrenu
ASA	akrylonitril-styren-akrylát
C++	programovací jazyk C++
CAN	sběrnice, síť řídicí jednotky
DC	stejnoseměrný proud
FDM	modelování z taveného depozitu
GND	uzemnění
HMH	hypotéza maximálního smykového napětí
I/O	vstupy/výstupy
IDE	integrované vývojové prostředí
IOREF	vstup/výstup reference
ISM	bezlicenční pásmo
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci
LCD	displej s tekutými krystaly
PC Blend	směs polykarbonátu
PETG	polyethylentereftalát glykol - modifikovaný
PLA	polyaktidová vlákna
PVB	polyvinyl butyral
PWM	pulzně šířková modulace
RX	přijímat
SPI	sérové periferní rozhraní
SRAM	statická paměť
TPE	termoplastické elastomery
TTL	tranzistor-tranzistor logika
TX	vysílat
UART	univerzální asynchronní přijímač – vysílač
USB	univerzální sériová sběrnice

## SEZNAM SYMBOLŮ VELIČIN

D	průměr, mm
F	síla, N
I	elektrický proud, A
l	vzdálenost, mm
m	hmotnost, g
M	moment, Nm
R	elektrický odpor, $\Omega$
X	souřadnice, mm
$\alpha$	úhel natočení, $^\circ$
$\beta$	úhel natočení, $^\circ$
$\sigma$	tahové napětí
$\tau$	zatížení smykového charakteru

## SEZNAM TABULEK

Tab. 7.1 – Parametry servomotoru MG996R (Servo MG996R ..., b. r.).....	47
Tab. 7.2 – AT příkazy pro konfiguraci modulu (Bluetooth modul HC-05, c2021).....	49
Tab. 7.3 – Vlastnosti modulu HC-05 (Bluetooth modul HC-05, c2021).....	50
Tab. 7.4 – Parametry koncového efektoru .....	51
Tab. 8.1 – Parametry řídicí rukavice .....	59

## ÚVOD

V dnešní době představuje robotizace a automatizace klíčové technické obory, které můžeme vidět v širokém spektru různých aplikacích, od výrobních procesů až po laboratorní a medicínské prostředí. Manipulátory, které dokáží přenést operátorovi možnost přesně manipulovat s určitým předmětem, jsou dnes již nezbytným nástrojem pro pokročilé technologické operace. Tato práce je zaměřena na návrh a realizaci koncového efektoru a jeho řídicí jednotku. Cílem je vyvinout koncový efektor, který bude schopen pohybu a manipulace s objekty. Součástí práce je také navrhnout a realizovat řídicí jednotku, která bude spojovat operátora s konstrukcí koncového efektoru a bude základem pro jeho ovládání. Celé konstrukční řešení bude doprovázeno zhotovená rešerše na témata týkající se koncových efektorů, technologie, využité při konstrukci a dodatečné dokumentace pro celkovou konstrukci.

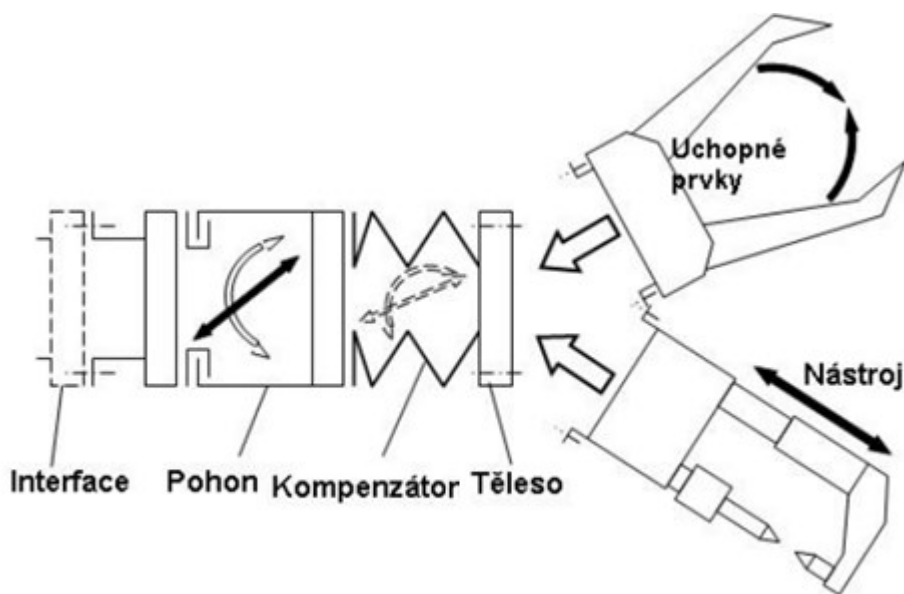
# 1 ÚVOD DO KONCOVÝCH EFEKTORŮ

Efektor je klíčovým prvkem u průmyslových a servisních robotů a manipulátorů. Možnost uchopit, manipulovat nebo jiným způsobem pracovat s předměty je zásadní pro pokrok vývoje robotů.

Účelem efektoru je samotná realizace úkolů, pro které byl robot navržen, což zahrnuje manipulaci s různými objekty s danými parametry polohy, orientace, vzdálenosti, rychlosti, zrychlení atd. Podle druhu objektů a prostředí, kde se manipulace provádí, rozlišujeme mezi uchopovacími a technologickými efekty, případně hybridními, které kombinují obě funkce. Technologické efekty se obvykle využívají k přímé, či nepřímé manipulaci pomocí technologických nástrojů nebo přípravků, které mohou zahrnovat svařování, obrábění, stříkání nebo montáž (Skařupa, [2008]).

## 1.1 STRUKTURA EFEKTORŮ

Struktura efektoru zobrazuje a popisuje jednotlivé části efektoru. Ukazuje přehledná schémata, nákresy a komponenty základních prvků efektoru. Liší se podle účelu a funkce, na kterou je daný koncový efektor určen (Skařupa, [2008]).



Obr. 1.1 – Struktura efektoru (Skařupa, [2008])



### **1.1.1 Interface**

Interface je v pořadí první částí struktury efektoru, která zajišťuje propojení zbytku celé struktury s koncem robotického ramene. Interface zajišťuje stabilní, pevné a tuhé propojení. Mimo přímého mechanického propojení, zajišťuje také propojení energetických řetězců, pneumatického potrubí a jiných potřebných propojení, která jsou zapotřebí k zajištění chodu koncového efektoru (Skařupa, [2008]).

Realizace interface je většinou realizovaná napevno, tzn. není třeba měnit efektor na robotickém rameni. V praxi se však můžeme setkat se situací, kdy je potřeba za provozu měnit koncový efektor na robotickém rameni. Intervaly měnění efektorů jsou různé a liší se od občasného měnění efektoru přes pravidelnou výměnu i většího počtu efektorů. Toto zajišťuje technologie automatického výměnného systému. Jak stálé, pevné připojení efektoru, tak automatická výměna efektoru je realizovaná pomocí interface za určitých norem, podle kterých se řídí většina firem. Je tak zajištěna kompatibilita robotického ramene a koncových efektorů (Skařupa, [2008]).

### **1.1.2 Pohon**

Pohon ve struktuře koncových efektorů je zdrojem pohybů jednotlivých částí samotného efektoru. Může se jednat o pohyb čelistí, natočení nebo ohybu celého ústrojí. Tyto pohony se instalují do koncových efektorů za účelem přesnější a snadnější manipulace s celým kinematickým řetězcem. V případě určitých úkonů se zamezí pohybu celého robota. Jedná se o rozšíření o další stupeň volnosti nad základními možnostmi robota (Skařupa, [2008]).

### **1.1.3 Kompenzátor**

Pro určité úkony je funkce kompenzátoru zásadní. V robotice vyžadujeme potřebnou tuhost celého stroje, zároveň ale potřebujeme, aby se koncový efektor dokázal přizpůsobit s uchopovanému materiálu. Toho docílíme právě přidáním kompenzátoru do celé struktury koncového efektoru. V případě, že se efektor dostane do kontaktu s materiálem, přizpůsobí se danému předmětu a zaručí se přesnější uchopení předmětu, právě díky kompenzátoru. (Skařupa, [2008]).

#### **1.1.4 Těleso efektoru**

Jedná se o prvek, který zajišťuje dostatečnou tuhost a přesnost efektoru. Umožňuje též připojení dalších technologických prvků efektoru a jeho samotnou kompaktnost. Mezi další části struktury efektoru patří také úchopové prvky. Ty hrají důležitou roli v oblasti kontaktu s dotykovými plochami efektoru. Stejně tak i technologické prvky, které se liší podle druhu technologie na pracovišti, na kterém se nachází (Skařupa, [2008]).

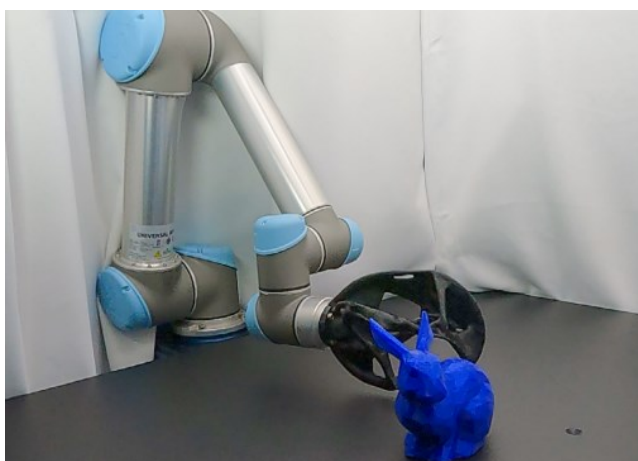
## 2 ÚCHOPNÉ HLAVICE

Úchopné hlavice jsou tvořeny z tzv. úchopných prvků. Tyto prvky jsou části efektoru, které přijdou do kontaktu s uchopovaným předmětem. Základní rozdělení pro úchopné hlavice je odvozeno od stylu uchopení daného předmětu. Rozlišujeme úchopné prvky mechanické, magnetické nebo podtlakové.

Dále dělíme tyto hlavice na dvě další skupiny a to na aktivní a pasivní prvky. Pomocí pasivní úchopné hlavice, která je vytvořená z pasivních prvků, lze uchopit předmět obdobně jako u aktivních hlavic. K uvolnění předmětu je však zapotřebí vnějšího zásahu. Aktivní úchopné prvky umožňují jak úchop, tak i uvolnění daného předmětu samostatně, například pomocí pohonů umístěných přímo v hlavici. Za aktivní úchopnou hlavici můžeme považovat úchopnou hlavici, která obsahuje alespoň jeden aktivní prvek (Chvála et al., 1990).

### 2.1 PASIVNÍ MECHANICKÉ ÚCHOPNÉ HLAVICE

Jedná se o nejjednodušší koncový efektor pro uchopení předmětu. Jedná se například o různé háky, vidlice, lůžka nebo závěsy, na kterých je umístěn, zachycen nebo nasunut předmět. Vyskytují se na průmyslových robotech a manipulátorech, kde je zapotřebí přesouvat předmět, kde se označují jako otevřená chapadla. Požadavky na tyto typy úchopných hlavic jsou vysoká pevnost úchopu a plynulý pohyb celého manipulátoru, aby se zamezilo vypadnutí předmětu. Jak bylo zmíněno v minulé kapitole, jedná se o pasivní prvek a je zapotřebí k uvolnění předmětu cizím zásahem. U těchto typu hlavic je to řešeno například zásahem jiného manipulátoru, zachycením předmětu v jiném stroji nebo pomocí vyhazovače, který vyhazuje předmět z hlavice apod (Chvála et al., 1990).



Obr. 2.1 – Robotické rameno s pasivním efektoem (Kodnongbua et al., 2022)

## 2.2 AKTIVNÍ MECHANICKÉ ÚCHOPNÉ HLAVICE

Jedná se o nejrozšířenější úchopné hlavice. Aktivní mechanické úchopné hlavice jsou mechanická chapadla, která disponují pohyblivými mechanickými čelistmi. Tyto mechanické čelisti jsou označovány za aktivní úchopné prvky.

Inspirací pro konstrukce mechanických efektorů jak pasivních tak i aktivních, je lidská ruka, konkrétně dlaň s prsty. Pokud se podíváme na ruku technickým pohledem, můžeme říct, že se jedná o stroj s aktivními a pasivními prvky. V praxi se málokdy setkáme s koncovou hlavici, která disponuje více jak třemi prsty. Je to zejména proto, že pro většinu úkonů, které zahrnují přesun, vkládání, šroubování apod. nepotřebujeme více jak tři prsty (Chvála et al., 1990).



Obr. 2.2 – Robotické rameno s aktivním efektořem (Bernier, 6 December 2021n .l.)

Většinou se ale setkáváme s ještě větším zjednodušením, a to jsou dvoučelist'ové hlavice. Důvod proč se konstruují zejména dvou čelist'ové hlavice je ten, že v praxi zůstávají koncové hlavice dlouho dobu na stejném pracovišti. Není od nich potřeba univerzálnost, kde se hlavice přizpůsobí různě velkým a tvarově odlišným předmětům. Pokud je třeba přizpůsobit hlavici uchopovaného předmětu, je zatím trendem výměna jednotlivých částí nebo rovnou celých úchopných hlavici (Chvála et al., 1990).

Mechanické úchopné hlavice se dají dělit do mnoha skupin. Jejich dělení napříč literaturou, akademickou sférou a průmyslem se shoduje na dělení podle druhu pohonů, mechanického pohybu aktivních prvků, podle počtu aktivních a pasivních prvků nebo podle prostorového i kinematického uspořádání (Chvála et al., 1990).

Tento typ úchopných hlavic k pohonu jednotlivých částí čelistí používají elektromotory, elektromagnety, pneumatické motory nebo hydromotory. Tyto typy motorů pohybují aktivními mechanickými prvky přes mechanický převod nebo napřímo motor působí na čelisti. Čelisti jsou poté řízeny jedním motorem anebo jednotlivé části mají svůj vlastní motor (Chvála et al., 1990).



Obr. 2.3 – Inteligentní efektor OnRobot (RG2-FT – Inteligentní uchopovač, b. r.)

## 2.3 PODTLAKOVÉ ÚCHOPNÉ HLAVICE

Podtlakové úchopné hlavice jsou další rozšířenou skupinou úchopných hlavic. Podtlaková hlavice uchopí předmět tak, že přitlačí pryžovou přísavku na uchopovaný předmět. Při kontaktu přísavky s předmětem vzniká při manipulaci v prostoru mezi přísavkou a uchopovaným předmětem podtlak. Míra úchopné síly se odvíjí dále na tvaru přísavky a změně vnitřního objemu (Matička a Talácko, 1991).

Úchopnou sílu podtlakové úchopné hlavic se počítá vztahem:

$$F = 10^5 \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot (1 - K) \quad (2.1)$$

kde  $K$  je poměr objemu deformované a nedeformované přísavky,

$\varepsilon$  je parametr tuhosti přísavky,

$D$  je průměr nedeformované přísavky, m. (Matička a Talácko, 1991)

Žádanou vlastností podtlakových úchopných hlavic je vysoká těsnost styku pryžových přísavek s předmětem. Tento typ hlavic se nejvíce používá vzhledem k jejich vlastnostem k uchopování předmětů s rovnou plochu a hladkým povrchem. Nejčastějším použitím těchto hlavic je v průmyslu na přenášení velkoplošných předmětů ze skla, dřeva nebo plechu (Matička a Talácko, 1991).

Konstrukční provedení podtlakových hlavic je řešeno dvěma způsoby a využívá se na potřebách manipulace s uchopovaným předmětem. V případě, že nemůžeme zaručit dokonale hladký povrch, tím pádem netěsnost přísavky s povrchem, je možné udržovat podtlak pomocí válce s odpruženým pístem (Matička a Talácko, 1991).

Podtlakové úchopné hlavice patří mezi pasivní i aktivní úchopné hlavice. Jejimi pasivními prvky jsou pryžové přísavky. K uvolnění objektů z přísavek je proto zapotřebí vnějšího zásahu. U tohoto typu hlavic se uvolnění předmětu zajišťuje obdobně jako u jiných pasivních hlavic, a to externím zásahem jiných hlavic nebo zařízením a zpětným pohybem celého systému, a tím stržení předmětu. Chytřejší podtlakové hlavice (aktivní) mají v sobě konstruované pneumatické ventily, které při poslaném signálu dokáží vyrovnat tlak přísavky, a tím dojde k uvolnění předmětu (Matička a Talácko, 1991).



Obr. 2.4 – Podtlakový efektor (VG10 – ... podtlakový uchopovač, b. r.)

## 2.4 MAGNETICKÉ ÚCHOPNÉ HLAVICE

Podobně jako u podtlakových úchopných hlavic jsou pasivními prvky pryžové přísavky, v případě magnetických úchopných se jedná o permanentní magnety. V případě aktivních magnetických hlavic se bavíme o elektromagnetech, které jsou zde považovány za aktivní prvky hlavice (Matička a Talácko, 1991).

Mezi hlavní přednosti magnetických úchopných hlavice je jejich velká úchopná síla, která je úměrná k počtu magnetů a vlastnostem magnetů. Nevýhodou toho typu hlavice je zejména jejich schopnost uchopovat jakýkoliv magnetický předmět. Mohou to být malé magnetické částice, které mají vliv na úchopnou sílu drženého předmětu. Mezi další nevýhody je také závislost těchto hlavice na materiálu uchopovaného předmětu a na váze předmětu (Matička a Talácko, 1991).

Z toho důvodu, že se tento typ hlavice využívá na manipulaci s předměty menších rozměrů a nižší hmotnosti. V případě větších hmotností předmětů, zejména u pasivních magnetických hlavice, vznikají problémy s jejich uvolněním. Uvolňování předmětů v případě pasivní hlavice je prováděno zásahem jiného zařízení, jako tomu bylo i u předešlých typů pasivních hlavice. Druhou možností je uvolňovat předmět přímo pomocí konstrukce magnetické úchopné hlavice, kde je pomocí pneumatického válce vysouván kroužek, který stáhne předmět z magnetické hlavice (Matička a Talácko, 1991).

Aktivní magnetické úchopné hlavice jsou určeny pro manipulaci s předmětem, který je tvořen z feromagnetického materiálu. Pro úchop materiálu se využívá stejnosměrné magnetické pole, které působí na předmět a ten se vlivem jeho působení zmagnetizuje. Pro uvolnění předmětu se obrátí směr proudu protékající magnetickými cívkami. Tím se přerušuje remanentní magnetismus v uchopovaném předmětu a dojde ke snadnému uvolnění (Chvála, 1990).

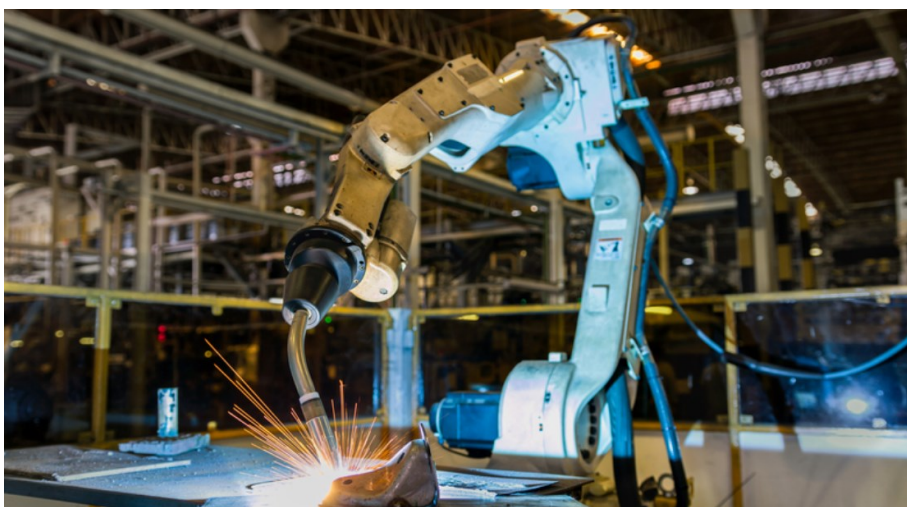


Obr. 2.5 – Robotické rameno s magnetickou úchopnou hlavicí (Bernier, 5 July 2014n. 1.)

## 2.5 TECHNOLOGICKÉ HLAVICE

Už z názvu tohoto typu koncových hlavic vyplývá, že se jedná o hlavice, které provádí technologické operace. Na konci průmyslového robota je instalovaná technologická hlavice, která je tvořena a určena pro určitou technologickou operaci. Tyto hlavice se rozdělují zejména podle toho, jaký druh operace provádějí. Technologické hlavice se využívají zejména ke spojování materiálu pomocí obloukového svařování, bodového svařování, pájení nebo lepení. Dále také k obrábění materiálu, vrtání a frézování. Nanášením ochranných hmot a nátěrových hmot provádí technologické hlavice lakování. V neposlední řadě se hromadně využívají pro aplikace, kde se využijí různé druhy paprsků pro různé druhy řezání materiálu (Kolíbal, 2016).

Tyto jednotlivé úkony technologických hlavic jsou konstruovány tak, aby byly kombinovatelné s jinými systémy, jaké jsou například různé druhy podávacího zařízení. Důležitým aspektem technologických hlavic jsou také využité senzory pro přesnou práci toho typu hlavic (Kolíbal, 2016).



Obr. 2.4 – Svařovací hlavice (How the Right Robotic End-Effector ..., c2024)

## 2.6 SPECIÁLNÍ HLAVICE

Speciální hlavice, vzhledem k jejich použití, nejdou zařadit do žádné z předešlých kategorií. Jejich charakteristikou je zejména vybavení různými senzory jako jsou například hmatové senzory. Využívají se pro speciální operace, kde je potřeba manipulace s křehkým předmětem, u servisních robotů, v lékařství, apod (Kolíbal, 2016).



### 3 SERVO POHONY

Jednou z důležitých částí robotických systémů je správný pohyb celého mechanického systému. Tento pohyb zaručují různé druhy motorů, které se v robotických systémech dělí zpravidla do tří skupin dle vstupního výkonu:

- Pneumatické motory, tento typ motorů využívá stlačený vzduch, který nadále přeměňuje na mechanickou práci pomocí pístů (lineární pohyb) nebo turbín (rotační pohyb).
- Hydraulické motory, které fungují podobně jako pneumatické motory s tím rozdílem, že médiem není stlačený vzduch, ale proudící kapalina.
- Elektrické motory, které mají elektrický zdroj energie, kterou nadále přenášejí na mechanickou energii (Siciliano, c2009).



Obr. 3.1 – Typy servo pohonů (DDPC, c2024; Servo motor, c2008-2024; PARKER Hydraulic, c1994 - 2024)

Každý z těchto typů motoru by měl splňovat následující požadavky, které jsou nezbytné pro správné fungování každého robotického systému.

- nízká setrvačnost motoru,
- schopnost velkého zrychlení otáčení motoru,
- velká škála rychlostí otáček za minutu,
- vhodná polohová tuhost,
- plynulé otáčení motoru i při nízkých otáčkách,
- minimální hmotnost,
- minimální rozměry (Siciliano, c2009).

Pro splnění všech těchto kritérií je zapotřebí co nejpřesnější zpětná vazba funkce motoru. Vyžadováno je určení polohy elektrického motoru a jeho mechanický pohyb. Z těchto důvodů je ideálním typem pohonů pro robotické systémy servomotor. Pneumatické motory mají nevýhodu v stlačitelnosti vzduchu a špatné kontroly přesné zpětné vazby. V případě hydraulických systémů je nevýhodou jejich specifické zaměření, nevyužívají se v objektech, kde je nežádoucí riskovat únik hydraulické tekutiny (Siciliano, c2009).

V robotice jsou nejvíce používány z výše zmíněných třech skupin servomotory elektrické. Elektrické servopohony existují ve dvou verzích a to točivé servomotory, které mají rotační pohyb hřídele a lineární servomotory s posuvným pohybem hřídele. Více využívané jsou pohony rotační, které mají v robotice za úkol pohyb jednotlivých os celého robotického mechanismu, ale i například jednotlivých částí efektoru (Kolíbal, 2016).

### 3.1 STEJNOSMĚRNÉ (SERVO) MOTORY

Stejnoseměrné servomotory jsou hojně používanými pohony v robotice a jsou vhodným typem pro všechny polohové servomechanismy. Hlavními přednostmi tohoto typu motorů jsou:

- jednoduchá regulace otáček motoru,
- jednoduché spojení s řídicími prvky,
- jednoduchá údržba,
- čistota provozu
- nižší pořizovací cena,
- nižší udržovací náklady,
- menší rozměry.

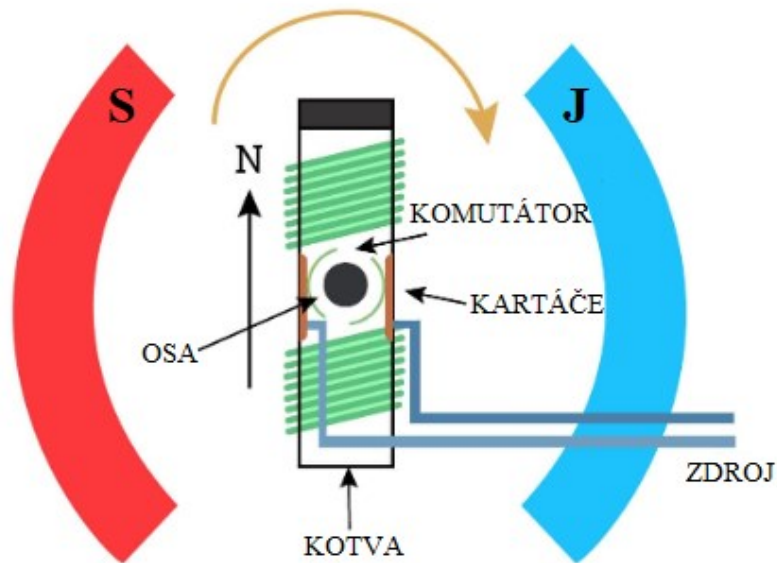
Mezi nevýhody stejnosměrných motorů patří:

- nižší točivý moment,
- vznik pružnosti a vůlí při využití převodu za účelem zvýšení točivého momentu,
- požadavky na kvalitu provedení,
- práce s elektrickým napětím nebezpečí úrazu  
(Siciliano, c2009; Skařupa, [2008]).

### 3.1.1 Konstrukce DC motoru

Stejnoseměrné motory se skládají ze dvou hlavních částí, z rotoru a statoru. Stator se skládá z obvodu s póly, které jsou buzeny proudem nebo permanentními magnety a krytem, který je složen z dílků, které slouží jako ochrana celého motoru (Uhlíř, 2007).

Rotorové plechy jsou uchyceny na hřídeli. Rotorové vinutí tvoří cívky, které mají své vývody připojené na komutátor. Komutátor je válec, na který přiléhají kartáče (Uhlíř, 2007).



Obr. 3.2 – Konstrukce DC motoru (Brushed DC Motor, [2021])

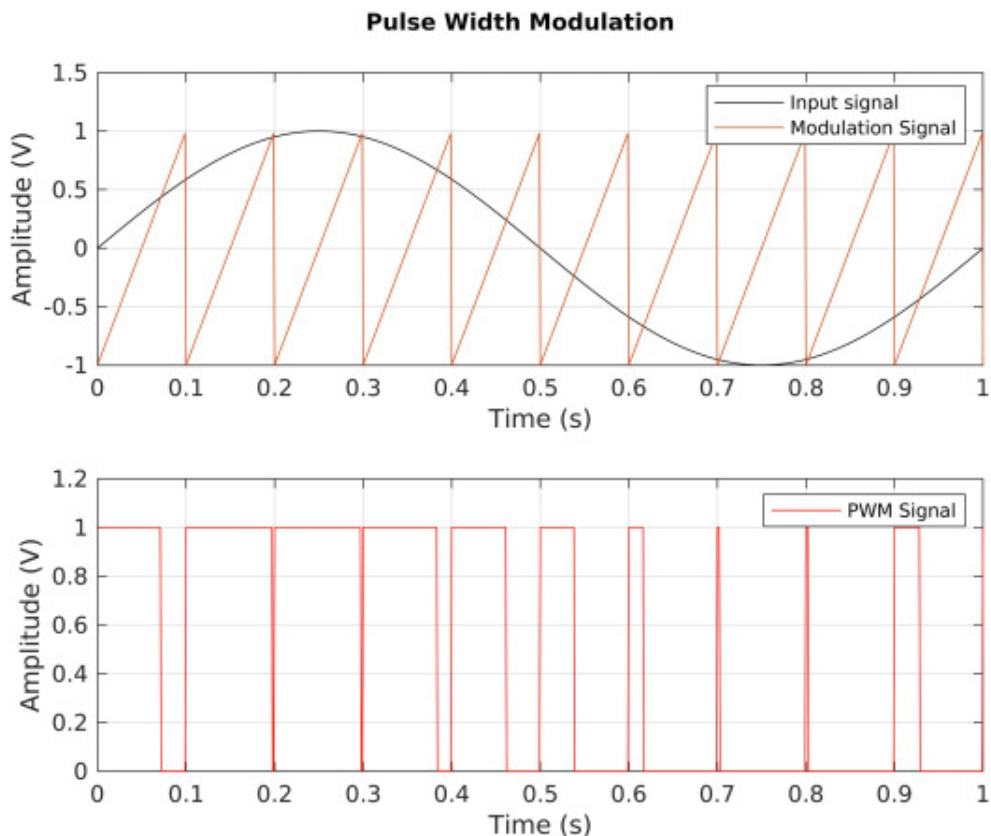
### 3.1.2 Princip funkce DC motoru

Magnetický tok DC motoru se tvoří pohybem magnetických siločar, které vycházejí od S pólu, procházejí rotorem a vstupují do J pólu. Na rotoru je umístěn komutátor, zde na něj doléhají kartáče motoru. Tyto kartáče jsou připojeny ke zdroji DC napětí díky čemuž dochází k průchodu proudu. Díky tomu vzniká Lorentzova síla, která způsobuje otáčení motoru. Když se rotor otočí o 90 stupňů, dojde ke změně směru proudu v komutátoru, ale síla, která působí na vodiče zůstává stejná, protože se vodiče nachází pod opačnými póly magnetu. Aby nedošlo k zastavení motoru v neutrální pozici (pozice mezi cívkami), motor obsahuje více cívek, které jsou rozloženy po rotoru. Rovnoměrně rozložené cívky zajišťují konstantní točivý moment a funkci DC motoru (Uhlíř, 2017).

### 3.1.3 PWM modulace a řízení DC motorů

Využití pulzně šířkové modulace (PWM) je jedním z nejběžnějších způsobů, jak řídit otáčky a docílit natočení stejnosměrného motoru. Pulzně šířková modulace využívá změnu časového intervalu, kdy řídicí signál nabývá jednu ze dvou logických hodnot. Díky PWM můžeme tedy ovlivnit dobu trvání logické 1 nebo logické 0. Doba trvání se vyjadřuje v % a nazývá se střídou. V případě ovládání DC motoru může regulace otáček vypadat tak, že při nastavení střídy na 100% bude mít motor maximální otáčky. Při střídě 50% bude mít motor pouze poloviční otáčky jeho rozsahu. Z toho vyplývá, že při střídě 0% se motor zastaví (Livinti a Mazen, c2015).

Na následujícím obrázku je vyobrazen vstupní signál a trojúhelníkový modulační signál. Na dolním průběhu je vyobrazen PWM signál. Je patrné, že závislost vstupního a modulačního signálu vyobrazuje logickou hodnotu, a taky dobu trvání dané logické hodnoty (Bolic, 2023).



Obr. 3.3 – Průběh PWM signálu v závislosti na vstupním signálu (Bolic, 2023)

## 4 ARDUINO

Arduino je levný vývojový jednočipový počítač, který byl vyvinut pro studenty jako levnější varianta konkurenčních vývojových setů. Desky Arduino disponují velkou uživatelskou podporou, kde různí akademici, inženýři nebo nadšenci vytvářejí různé druhy aplikací, knihoven a elektronických projektů využívající právě Arduino desky.

Desky Arduino využívají procesory od firmy Atmel. Mezi nejpoužívanější jsou procesory ATmega168, ATmega328, ATmega16u2, ATmega8u2, ATmega32u4, ATmega2560 a Atmel SAM3X8E. Každý z těchto procesorů využívá jiný druh desky Arduino. Celá rodina Arduino desek čítá mnoho různých druhů desek. Jednotlivé desky se od sebe liší hlavně v rozdílném hardwaru a tím pádem i v jejich využití.

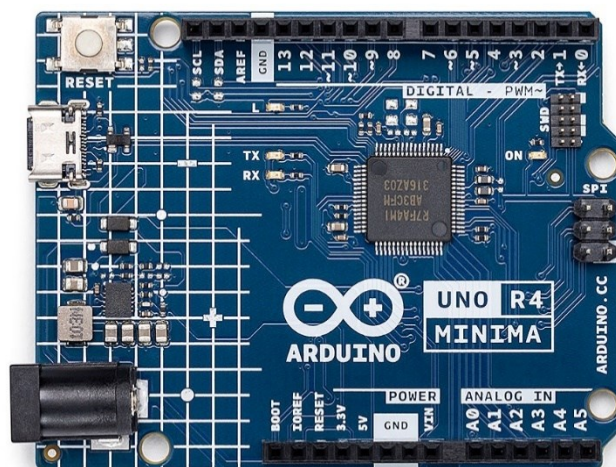
Jednotlivé druhy Arduino:

- Arduino Mini patří mezi rozměrově nejmenší z rodiny Arduina a využívá se v aplikacích, kde je potřeba řídicí deska s malými rozměry.
- Arduino Nano je další rozměrově malé Arduino, které se od Arduino Mini liší hlavně tím, že disponuje USB portem a převodníkem.
- Arduino Micro je druh Arduina, které díky svému čipu umí chovat jako myš nebo klávesnice počítače.
- LilyPad Arduino je typ desky, který byl vyvinut pro nošení na textilu.
- Arduino Fio je určené pro dodatečné připojování různých druhů bezdrátových modulů.
- Arduino Uno je nejpoužívanějším typem desky. Díky USB portu, čipu ATmega328 a velkou paletou I/O portů se jedná o velmi multifunkční desku z rodiny Arduino.
- Arduino Leonardo, vývojová deska, která se od verze Uno liší pouze v jiném využití procesoru, kterým je ATmega32u4.
- Arduino Yún s čipem Atheros AR9331 je deska, která je schopna využívat operační systém Linux.
- Arduino Mega2560 se řadí mezi rozměrově největší desky z rodiny Arduino. Jedná se o hardwarové rozšíření verze Arduino Uno zejména o větší výkon a I/O pinů (Voda, 2015; Ibrahim, c2023).

- Arduino Due je výkonnější model Arduina Mega2560 a to zejména díky čipu Atmel SAM3X8E, který disponuje více bitovým jádrem a vyšší taktovací frekvencí.
- Arduino Esplora patří do kategorie speciálních vývojových desek. Jeho hlavní využití je díky joysticku, potenciometru a různým senzorům v herním průmyslu pro ovládání her, konzolí nebo speciálních herních setupů.
- Arduino Robot bylo vyvinuto pro uživatele, kteří se chtějí zabývat vytvořením vlastního robota.
- Arduino Intel Galileo s procesorem Intel Quark SoC X1000 je první z rodiny Arduino, které disponuje čipem od firmy Intel.
- Arduino Tre, největší a nejvýkonnější z celé Arduino rodiny. S velice výkonným procesorem a dvěma jádry je zaměřeno na náročné aplikace. Tento typ Arduina se nejvíce podobá konkurenčním deskám z rodiny Raspberry Pi (Voda, 2015; Ibrahim, c2023).

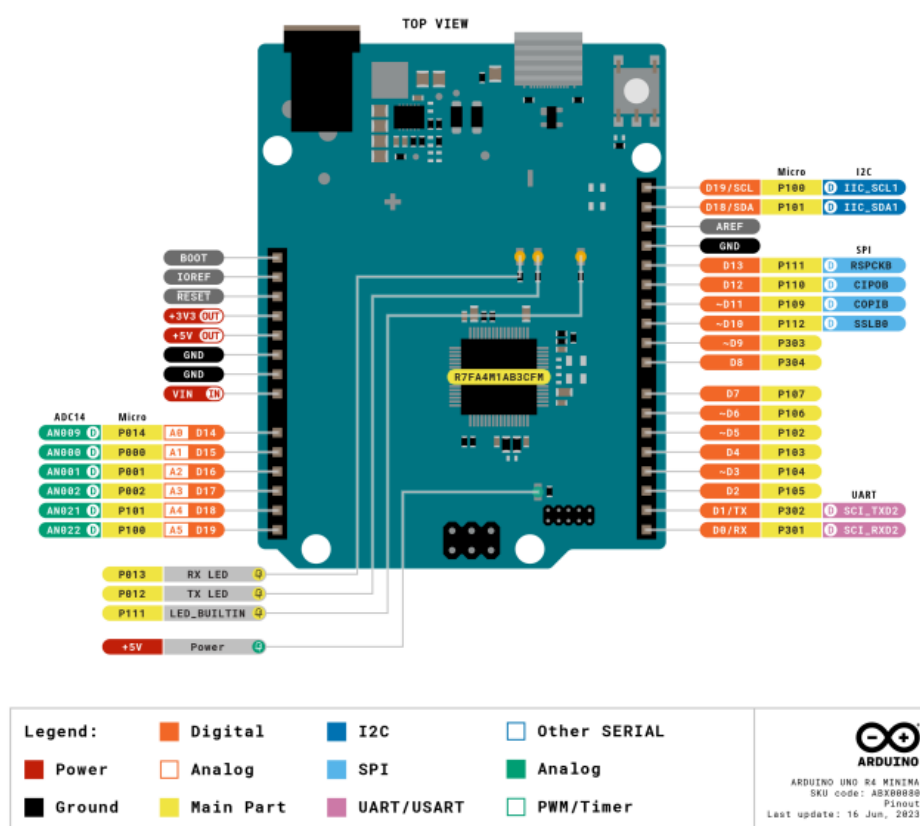
#### 4.1 ARDUINO UNO

Arduino Uno patří mezi nejrozšířenější typy vývojových desek rodiny Arduino. Arduino Uno disponují několika verzemi, poslední dvě verze jsou Arduino Uno R3 a Arduino Uno R4. Rozdíl mezi verzí R3 a R4 je hlavně v mnohem větším výkonu verze R4 oproti R3. Arduino Uno R4 je nástupcem verze R3 a disponuje větším SRAM pamětí, EEPROM pamětí, flash pamětí, frekvencí procesoru, USB-C a dalšími prvky (Ibrahim, c2023).



Obr. 4.1 – Mikrokontroler Arduino UNO (Arduino® UNO R4 Minima, c2024)

Arduino Uno R3 a R4 mají na desce podobné rozložení komponentů. Uprostřed obou desek je čip. Levá strana Arduina Una disponuje USB konektorem, tlačítkem reset a konektorem pro připojení k počítači. Po stranách Uno desek se nacházejí konektory. Jedná se o šest 14 bitových analogových vstupních pinů (A0-A5). Poté GND pin, Vin pin, +5V pin pro napájení, +3.3V pin, RESET, IOREF a BOOT. Na druhé straně se nachází 14 digitálních pinů (D0-D13), zároveň 6x PWM pinů (D3, D5, D6, D9, D10, D11), UART piny (D0, D1), SPI piny ( D10-D13, ICSP), I2C piny (A4, A5, SDA, SCL) a CAN piny (D4, D5) (Arduino® UNO R4 Minima, [2023]).

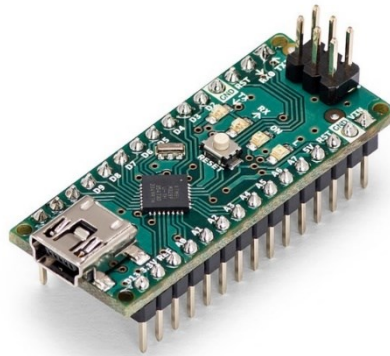


Obr. 4.2 – Rozložení I/O Arduina UNO (Arduino® UNO R4 Minima, [2023])

Kód pro vývojové desky Arduino se vytvářejí v programu Arduino IDE nebo ve webovém editoru. Arduino IDE je založeno na jazyku C++. Součástí IDE je editor, kompilátor ladící program a nástroj pro upload programu. Součástí softwarové výbavy Arduina je velké množství knihoven. Spousta knihoven je podporovaná a vytvářena samotnou komunitou různých programátorů a nadšenců. Používání daných knihoven značně usnadňuje programování určitých aplikací jelikož spousta projektů už někdo aspoň z části dělal (Ibrahim, c2023).

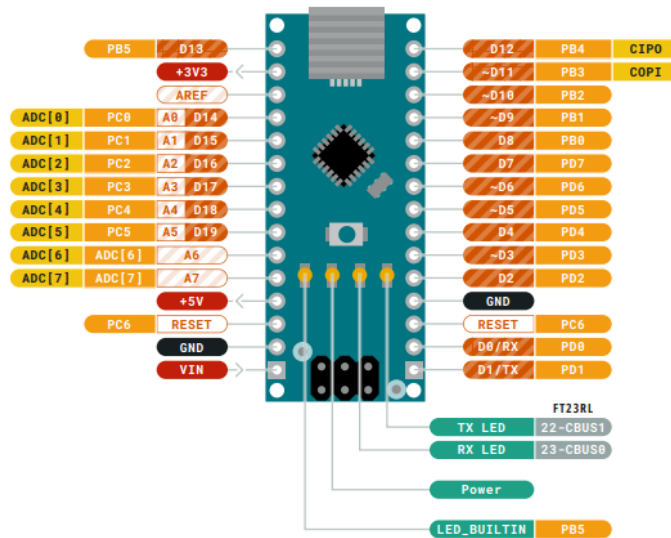
## 4.2 ARDUINO NANO

Arduino Nano je na rozdíl od Arduino UNO více kompaktní. Jedná se o mikrokontroler založený na procesoru ATmega328 nebo starší verze na ATmega168. Předností Arduino Nano je hlavně v jeho kompaktnosti, patří do rozměrově menších desek v rodině Arduino (Arduino Nano, c2024).



Obr. 4.3 – Arduino Nano (Arduino Nano, c2024).

Na rozdíl od UNO nedisponuje JACK konektorem, a proto jeho napájení je možné realizovat buď přes mini-B USB konektor nebo přes pin  $V_{IN}$ . Arduino Nano disponuje mnoha I/O, které je možné stejně jako u UNO definovat jako vstupní nebo výstupní. Dále disponuje 8 analogovými vstupními piny a dalšími piny pro sériovou komunikaci (Arduino Nano, c2024).



Obr. 4.4 – Piny Arduina Nano (Pinout-NANO, [2021])



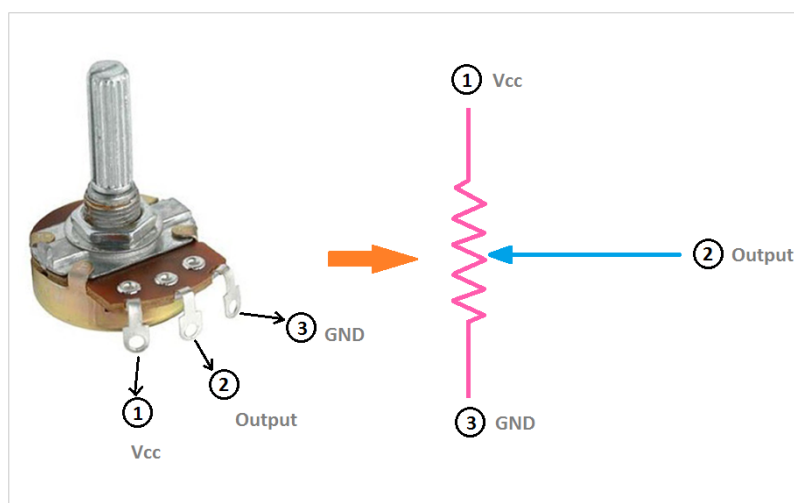
### 4.2.1 Bluetooth technologie

Bluetooth technologie je bezdrátový komunikační standard pro komunikaci dvou zařízení (point to point). Pro přenos dat využívá nelicencované radiové ISM pásmo o frekvenci 2,4 GHz. Bluetooth se v posledních letech využívá zejména pro připojení různých zařízení (sluchátka, klávesnice, myš, chytré hodinky) k počítači, mobilům, tabletům nebo autům (What Is Bluetooth® Technology?, [2023]).

Momentálně používané Bluetooth standardy jsou Bluetooth Classic a Bluetooth Low energy, který už ze svého názvu napovídá, že se jedná o optimalizovanou verzi Bluetooth classic, která díky své nízké spotřebě energie je vhodná pro aplikace, kde je zapotřebí prodloužit výdrž baterie. Bluetooth LE má také nižší přenosovou rychlost dat (2 Mb/s) než Bluetooth Classic (3 Mb/s). Podobně tomu je i u dosahu mezi přijímačem a vysílačem. Data o dosahu Bluetooth se různě liší v závislosti na verzích Bluetooth, na prostředí, ve kterém se zpráva přenáší, na počasí a rušivých vlivech (Bluetooth® Wireless Technology, c2024).

## 5 SENZOR PRO MĚŘENÍ POLOHY – POTENCIOMETRY

Potenciometry patří do skupiny senzorů pro měření polohy, posunutí nebo pohybu. Jedná se o odporové senzory polohy, které se chovají jako napěťový dělič. Tyto senzory disponují pohyblivým jezdcem. Tento jezdec je řešen nejčastěji rotačním pohybem, přímočarým pohybem nebo spirálovým pohybem. Pohybem jezdcem se mění odpor, který se pohybuje po odporové dráze. Pokud otočíme potenciometrem do počáteční polohy, je odpor minimální, v opačné poloze maximální (Ďaďo a Kreidl, 1996).



Obr. 5.1 – Potenciometr a jeho konstrukce (Potentiometer Connection ..., [2023])

Odporové potenciometry se dělí do několika skupin a to hlavně podle typu konstrukce. Dle tvaru kostry vinutí se dělí na lineární a profilové. Dále je dělíme podle materiálu odporové dráhy na kovové a nekovové. Každý z těchto potenciometrů se liší ve svých vlastnostech a použití. Rozlišovací schopnost potenciometrů je nejvyšší u potenciometrů s odporovou dráhou, s odporovým drátem a posuvným jezdcem. Linearita je další důležitou vlastností potenciometrů a závisí na rovnoměrnosti vinutí. Potenciometry, které mají posuvný jezdec, mají větší nelinearitu dosahující až 0,1%. V momentě, kdy pohybujeme jezdcem po vinutí, vzniká šum. Pokud aplikace vyžaduje rychlejší posun jezdců, lze šum eliminovat využitím potenciometrů s dvěma jezdcem různých rozměrů u kterých nenastává rezonance. Mezi vlastnosti také patří dynamické vlastnosti potenciometrů a životnost potenciometrů, která se udává maximálním počtem otáček, ten je cca  $2 \cdot 10^6$  (Ďaďo a Kreidl, 1996).

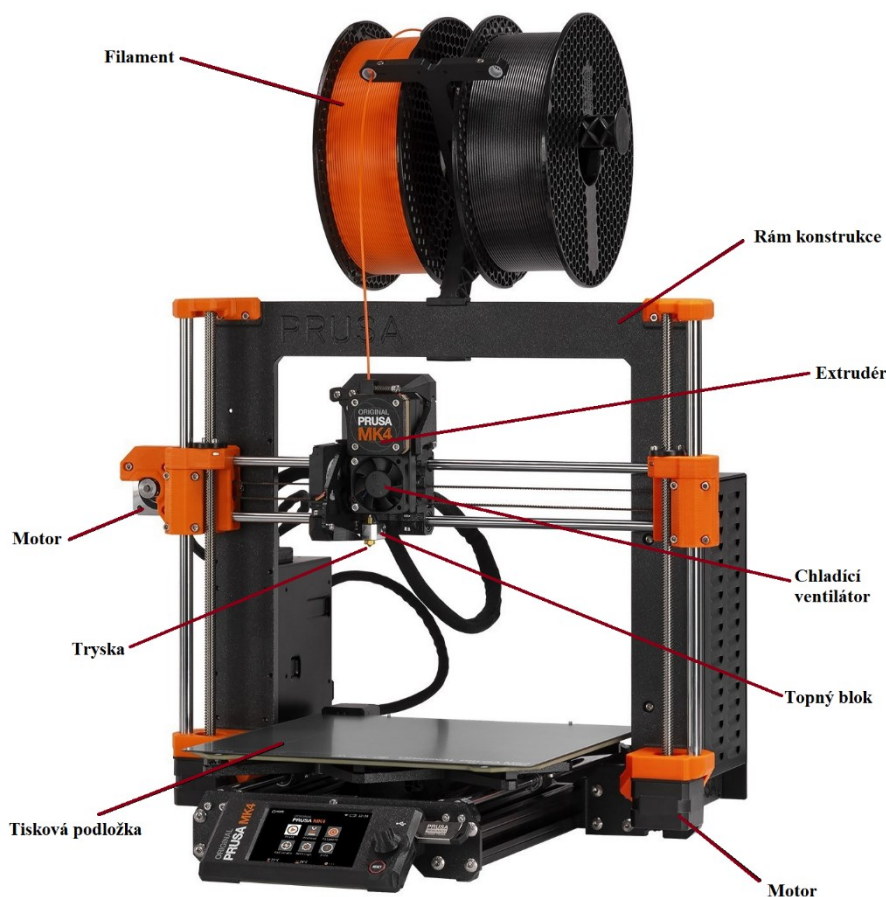
## 6 TECHNOLOGIE 3D TISKU

Technologie 3D tisku je v posledních letech na velkém vzestupu a někdy je její rozšíření považováno za počátek třetí průmyslové revoluce. Stejně jako u předešlých počátcích výrobních revolucí i 3D tisk přinesl nové výrobní procesy. Pokud někdo vlastní 3D tiskárnu, vlastní malý výrobní stroj, na kterém může vyrobit téměř vše, co mu daný materiál dovolí. Před technologií 3D tisku tyto možnosti měly pouze velké stroje a specializované výroby. Díky 3D tisku je možné vyrábět rychle a efektivně výrobky, přesně určené zákazníkem a není zde limitace velkovýrobou. Největší výhodou je tak personalizace produktů, pohodlná výroba v domácím prostředí a možnost rychle a levně vyrábět produkty na zakázku (Kloski a Kloski, 2017).

### 6.1 FDM TISKÁRNY

K 3D tisku využíváme různé typy tiskáren. Tiskárny rozlišujeme zejména podle jejich typu fungování. Jednou z největších, nepoužívanějších, nerozšířenějších skupin jsou FDM (fused deposition modeling) tiskárny (Kloski a Kloski, 2017).

FDM tiskárna se skládá z několika částí. Hlavní konstrukci drží jakýsi rám, který má za úkol být co možná nejbytelnější a nejméně náchylný vůči vibracím. Součástí rámu je mnoho komponentů. Mezi ty nejdůležitější patří stejnosměrné motory. Ty mají za úkol pohybovat hlavou 3D tiskárny. Jejich typ, množství a umístění se liší od typu tiskárny. Další důležitou součástí FDM tiskáren je tisková podložka. Jedná se o plochu, kam je nanášen materiál (filament). Tiskové podložky jsou často skleněné nebo z pružné oceli. Obě tyto varianty mají většinou ještě povrchovou úpravu, která má za úkol zvětšit přilnavost (adhezi) materiálu k podložce a zamezit k pohybu výrobku při jeho tisknutí. Proto, aby ale mohl být materiál nanesen na podložku, je zapotřebí extruderu. Extruder je mechanické ústrojí, které zahřívá vlákno (filament) na požadovanou hodnotu, kdy dochází k jeho roztavení. Extruder se tak většinou skládá z nějakého pohonného mechanismu. Stejnosměrný motor, který má za úkol uchopit vlákno a tlačit ho směrem k trysce (u starších druhů tiskáren se můžeme setkat s variantou, že tyto pohony filamentů jsou mimo extruder). Následně se filament dostává do topného bloku, který je zahříván, vlákno se zde taví a tryskou jde ven. V neposlední řadě celý mechanismus disponuje chladicími ventilátory. Novější 3D tiskárny obsahují většinou dva ventilátory. Jeden je pro chlazení topného bloku a tím jeho správnou regulaci tepla a druhý pro rychlejší ochlazení materiálu (Kloski a Kloski, 2017).



Obr. 6.1 – Části FDM 3D tiskárny (3D tiskárna Original Prusa MK4, [2023])

### 6.1.1 Typy filamentů

Důležitým parametrem pro 3D tiskárny je tisková struna tzv. filament. Filament má dva základní rozměry a to o průměru 1,75 mm a 2,85 mm s tím, že většina 3D tiskáren využívá první variantu. Filament je vytvořený z několika druhů materiálů a dosavadní typy se stále rozšiřují a optimalizují pro co největší možnost výběru materiálu a za účelem zlepšení kvality tisku. Nejvíce používaný materiál je PLA (polyaktid), který je uživatelsky přívětivý, zejména díky jeho dobrým vlastnostem a jednoduchosti tisku (Kloski a Kloski, 2017).

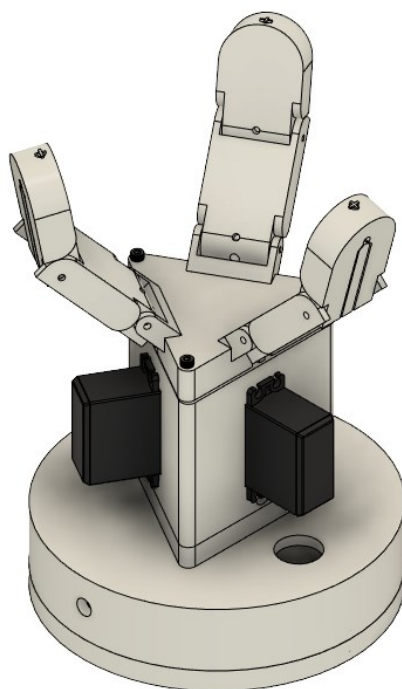
Dalšími hojně používanými materiály pro 3D tisk na FDM tiskárnách je například ABS (akrylonitrilbutadienstyren), který je vytvořen z ropy a snáší lépe různé druhy námahy a zátěže než PLA. Dále materiál PETG (polyethylentereftalát), který známe z výroby plastových láhví (PET), který je podobný jako ABS s rozdílem, že při tisku nezapáchá a je možno jej recyklovat. Typů filamentů je celá spousta, za zmínku stojí ještě typy ASA, TPE, NYLON, PVB, PC Blend a mnoho dalších (Kloski a Kloski, 2017).

## 7 NÁVRH A SESTROJENÍ EFEKTORU

Návrh koncové hlavičky neboli efektoru je klíčovým prvkem manipulačního systému. Na základě stavby efektoru je založena celá manipulace s objekty a jeho správný výběr typu, a poté návrh, je klíčové i pro tuto práci. Bylo důležité vybrat efektor, který by byl dobře řízen pomocí externího zařízení, které bude ovládáno pomocí lidské ruky a zároveň dokázal operovat s jednoduchými předměty (tvary koule, kužele, krychle, kvádrů, apod).

Na základě těchto vstupních parametrů pro návrh efektoru byl zvolen aktivní mechanický úchopný efektor. Jak již bylo zmíněno v kapitole č. 2, aktivní mechanické úchopné efektor jsou jednou s nejrozšířenější skupinou koncových efektorů a pro tuto práci byla navržena tříprstá varianta. Efektor je ovládán lidskou rukou, kde pro uchopení většiny předmětů využíváme tři prsty. Konstrukční řešení mechanického efektoru obsahuje proto tři prsty a rozšiřuje tak škálu předmětů, které se dají uchopit, a tím i využitelnost celé aplikace.

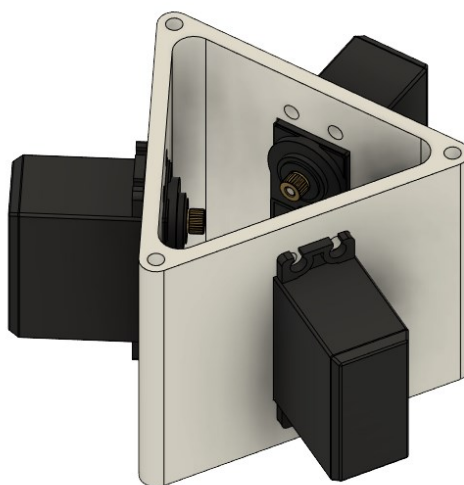
Celá konstrukce efektoru se rozděluje na několik částí. Cílem návrhu bylo vytvořit konstrukci, která se svými částmi přibližuje struktuře konstrukce efektoru v první kapitole této práce. Konstrukce disponuje částí interface, který zde neslouží pro upevnění celé konstrukce na robotické rameno, ale pro řídicí elektroniku. Na tuto část je připevněná část s pohony a táhly pro jednotlivé prsty. Toto řešení spojuje jak část pohonu, tak tělesa. Na konec jsou přidělané úchopné prvky.



Obr. 7.1 – Návrh efektoru v programu Fusion 360 (Menard, 2018), (McMASTER-CARR, b. r.)

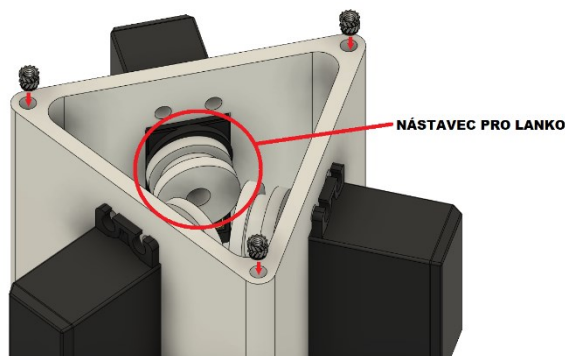
## 7.1 KONSTRUKCE ČÁSTI S POHONY

Při konstruování celé soustavy bylo zapotřebí navrhnout stabilní konstrukci pro pohony jednotlivých prstů. Celý efektor je souměrná soustava ve tvaru trojúhelníkového hranolu se zaoblenou hranou. Na každé ze stran konstrukce pro pohony je umístěný 5V servopohon, kde každý má za úkol pohánět ovládání jednoho prstu. Motory jsou umístěny vertikálně, aby se minimalizovala velikost konstrukce. Zároveň je tak umístění hřídele motoru usazená přímo doprostřed konstrukce.



Obr. 5.2 – Konstrukce pro pohony efektoru (Menard, 2018)

Na hřídeli motoru je usazen nástavec. Tento nástavec slouží jako pomocné ukotvení lanka, které se při otáčení hřídele motoru na nástavec namotává. Lanko je ukotvené na špici prstu, a tím se zaručí ohyb. Pro správné namotání lanka bylo zapotřebí navrhnout dostatečně velký nástavec, který dokáže spolehlivě namotat lanko a následně ho uvolnit. Tato část konstrukce pro pohony je s konstrukcí interface spojena pomocí 3x M3 šroubů. Pro zvětšení pevnosti celé konstrukce se do navrhnutých děr vložily závitové vložky do plastu.



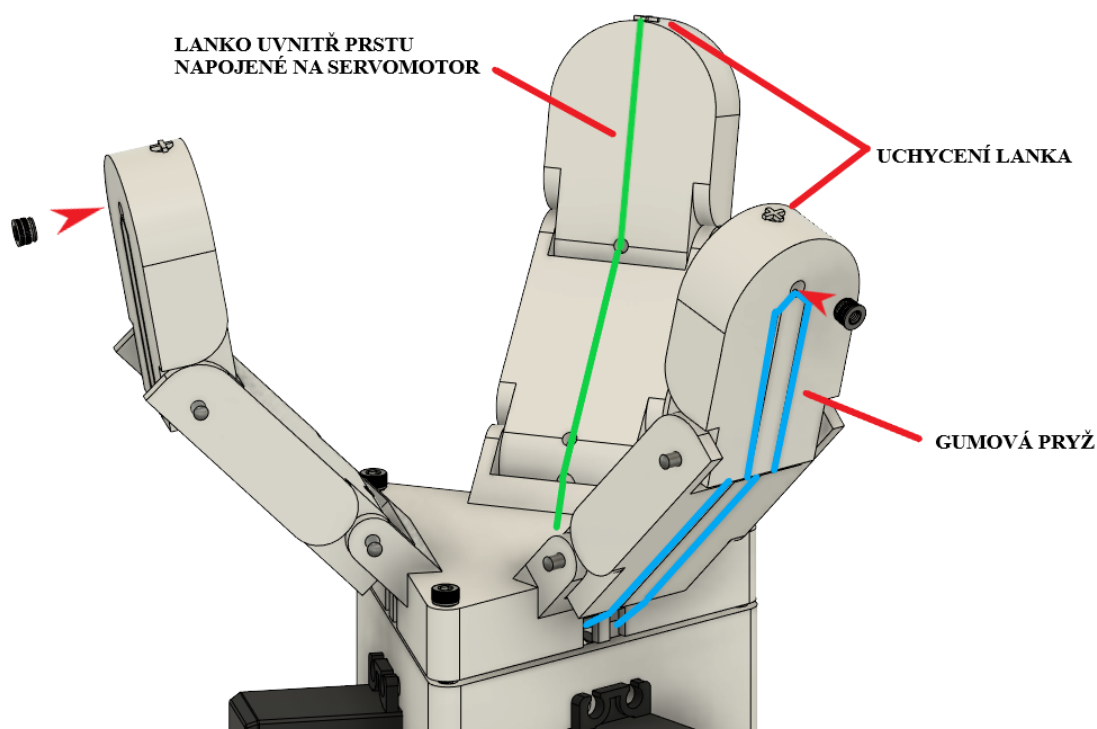
Obr. 7.3 – Konstrukce nástavce na hřídeli (Menard, 2018), (McMASTER-CARR, b. r.)

## 7.2 KONSTRUKCE ÚCHOPNÝCH PRSTŮ A DLANĚ

Mechanický koncový efektor je navržen jako tříprstý efektor. Vzhledem ke tvaru konstrukce, která je symetrická a připomíná trojúhelníkový hranol, bylo možné k návrhu přistupovat tak, že byl navržen jeden prst, mechanicky odzkoušen, a poté zkopírován pro další dvě strany.

Jednotlivé prsty se skládají z horní a spodní části. Spodní část úchopného prstu je pohyblivá a připevňována kovovým čepem o průměru 2,5 mm k dlani efektoru. Horní část úchopného prstu je statická. Čep, který spojuje horní a spodní část je dotažen operátorem, který si úhel natočení horní části prstu zvolí podle svých potřeb.

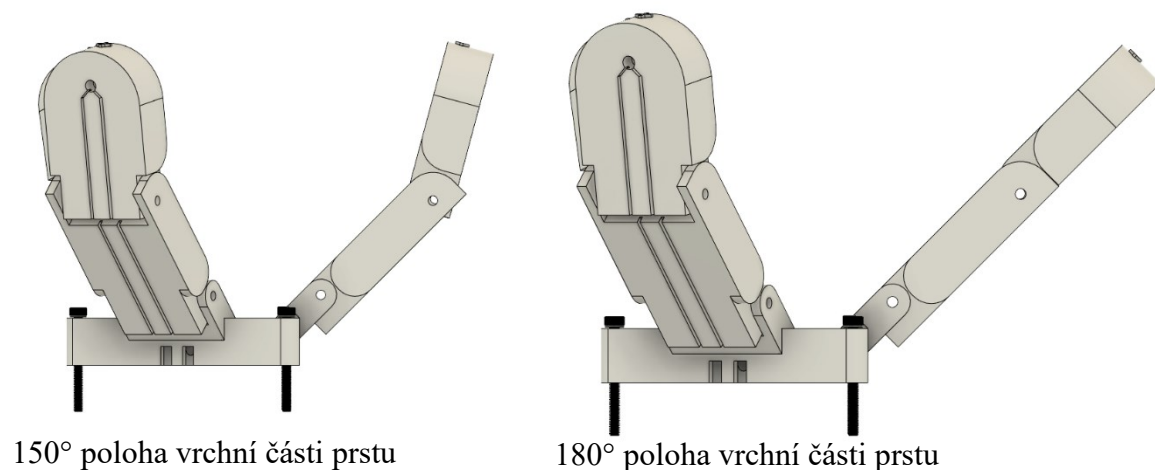
Ohyb prstů zaručuje otáčení servomotoru. Pokud se otáčí servomotor, navijí na nástavec na hřídeli lanko, které tahá za prsty a tím dochází k zavírání a otevírání efektoru. Aby bylo otevření efektoru při zpětném chodu servomotoru co možná nejplynulejší, jsou jednotlivé články prstů opatřeny malou drážkou. V této drážce je zavedena gumová pryž, která klade odpor při zavírání prstu. Při otevírání tak pomáhá efektoru ponechat lanko napnuté a tím minimalizovat stav, kdy by mohlo dojít k poruše. Pro správné uchopení pryže bylo potřeba navrhnout drážky a montážní díry, které drží pryž napnutou.



Obr. 7.4 – Konstrukce prstů efektoru (McMASTER-CARR, b. r.)

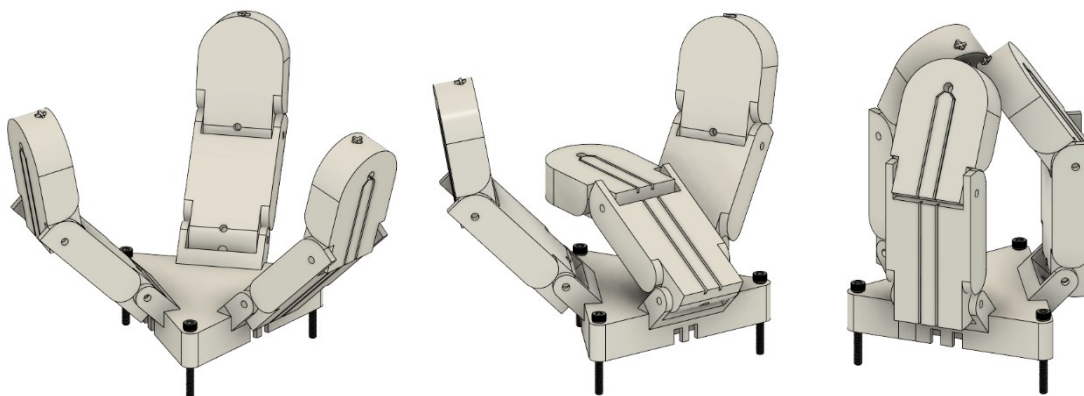
## 7.2.1 POLOHY NATOČENÍ PRSTŮ

Horní část prstů má ohybový úhel pouze  $30^\circ$ . Původní záměr a návrh konstrukce byl takový, že by horní část měla být statická. Operátor si měl navolit míru náklonu horní části a tím si upravil úchopový prostor podle vlastních potřeb. Po několika testováních a úpravách byla i horní část prstů také zcela ohebná a ohýbá se na základě míry tažné síly servomotorů.



Obr. 7.5 – Natočení horní části prstů efektoru (McMASTER-CARR, b. r.)

Dolní část všech tří prstů je zcela ohybná a závisí pouze na tom, jak operátor zrovna řídí jednotlivé prsty. Konstrukce dovoluje tři konečné stavy, do kterých lze efektor nastavit a ve kterých jde předmět uchopit nebo naopak uvolnit. Tyto stavy jsou ovlivněny nastavením horní části článku prstů a při každém stupni se budou mírně lišit. Na následujícím obrázku jsou vyobrazeny všechny tři stavy, kde je horní část prstu v  $150^\circ$  poloze.



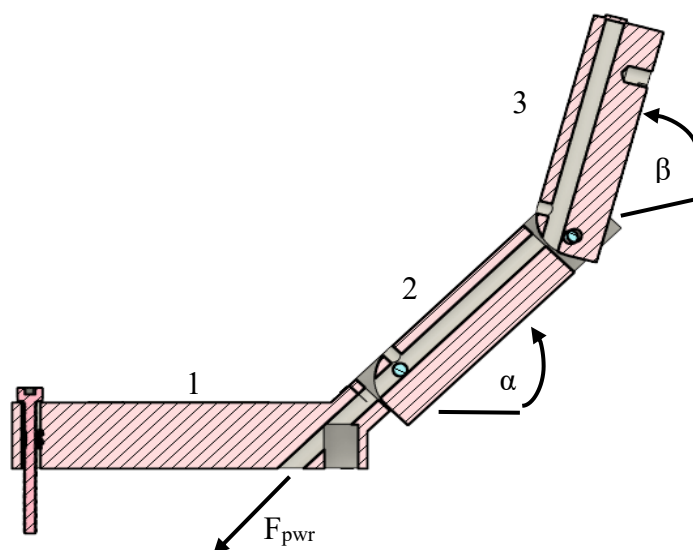
Obr. 7.6 – Možné koncové polohy prstů efektoru (McMASTER-CARR, b. r.)



## 7.2.2 VÝPOČET PŮSOBNÍ SIL NA KONSTRUKCI PRSTŮ EFEKTORU

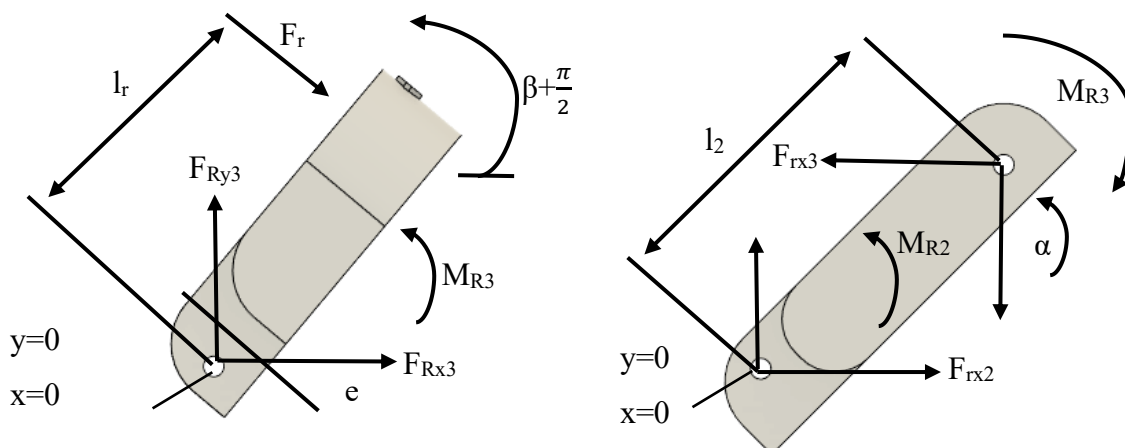
Díky symetrii efektoru lze na zatížení počítat pouze jeden prst. Předpokladem pro výpočet je, že v nejkrajnějším případě je prst zatížen celou silou motoru.

Celý prst bude počítán na ohybové zatížení ve všech možných konfiguracích natočení, jako důležitý konstrukční uzel je považován čep spojující prst s nepohyblivým rámem, který bude zatěžován více, než čep spojující jednotlivé články prstů, proto se tomuto méně namáhanému čepu výpočet dále nevěnuje.



Obr. 7.7 – Schéma řezu jednotlivých těles efektoru (McMASTER-CARR, b. r.)

Pro číslování jednotlivých těles je zavedena jednoduchá konvence, kdy číslo „1“ vždy patří nepohyblivému rámu a ostatní tělesa jsou číslovány od 2 až  $n$ . Zároveň se dodržuje konvence „tahového zatížení“ (v našem případě ohybového momentu, může být i zatížení tahové či tlakové) jako  $[\sigma]$  a zatížení smykového charakteru jako  $[\tau]$ .



Obr. 7.8 – Schéma vlivu sil a momentů na články prstů efektorů

Výpočet je založen na 1. Newtonově zákonu akce a reakce, tudíž součet všech akčních sil, momentů a reakcí musí být roven nule pro každé jednotlivé těleso a zároveň i pro celý mechanismus, kde rám je považován jako člen pohlcující všechny síly a reakce. Každé jednotlivé těleso má následně vlastní souřadný systém, který je vhodně vložen do osy čepu. Díky charakteru konstrukce lze úlohu považovat jako rovinnou, bez sil působících mimo danou rovinu řezu (Stejskal et al., 1992).

Byl vybrán model, který uvažuje reakci od uchopeného tělesa v jednom bodě, místo spojitého zatížení. Výběr závisí na charakteru uchopovaného tělesa, zda se deformuje nebo ne. Předpokládáme tedy tuhé těleso, které je ve styku s prstem pouze v jednom bodě. Tento model i předpokládá nejvyšší zatížení od momentu ohybu ve styku prstu s rámem, tudíž vhodný kandidát pro zjištění nejvyššího možného zatížení (Stejskal et al., 1992).

Rovnice pro těleso 3:

$$\Sigma X: F_{Rx3} - F_R \cos\left(\beta + \frac{\pi}{2}\right) = 0 \quad (7.1)$$

$$\Sigma Y: F_{Ry3} - F_R \sin\left(\beta + \frac{\pi}{2}\right) = 0 \quad (7.2)$$

$$\Sigma M: M_{R3} - F_R \cdot l_R = 0 \quad (7.3)$$

kde  $\Sigma X$  je silová působení ve směru X,

$\Sigma Y$  je silová působení ve směru Y,

$\Sigma M$  je součet všech silových moment v rovině,

$F_{Rx3}$  je reakce tělesa 3 na těleso 2 ve směru X, N,

$F_{Ry3}$  je reakce tělesa 3 na těleso 2 ve směru Y, N,

$F_R$  je reakce od uchopení uchopovaného předmětu na těleso 3 v bodu dotyku, N,

$\beta$  je úhel natočení tělesa, rad,

$M_{R3}$  je reakce momentu tělesa 3, mm,

$l_R$  je vzdálenost čepů tělesa 3, mm.

Rovnice pro těleso 2:

$$\Sigma X: F_{Rx3} = F_{Rx2} \quad (7.4)$$

$$\Sigma Y: F_{Ry3} = F_{Ry2} \quad (7.5)$$

$$\Sigma M: M_{R2} - M_{R3} + F_{Rx3} \cdot l_2 \sin(\alpha) - F_{Ry3} \cdot l_2 \cos(\alpha) = 0 \quad (7.6)$$

kde  $F_{Rx2}$  je reakce tělesa na rám ve směru X, N,  
 $F_{Ry2}$  je reakce tělesa na rám ve směru Y, N,  
 $M_{R2}$  je reakce momentu tělesa 2, mm,  
 $l_2$  je vzdálenost čepů tělesa 2, mm,  
 $\alpha$  je úhel natočení tělesa 2, rad (Stejskal et al., 1992).

Tyto rovnice jsou následně převedeny do maticového zápisu v Matlabu dle:

```
function Y = reakce(alpha, beta, l2, lr, ~, FR, ~)

A = [1      0      0  0  0  0
     0      1      0  0  0  0
     0      0      1  0  0  0
    -1      0      0  1  0  0
     0      0     -1  0  1  0
    1*l2*sin(alpha) -1*l2*cos(alpha) -1  0  0  1];

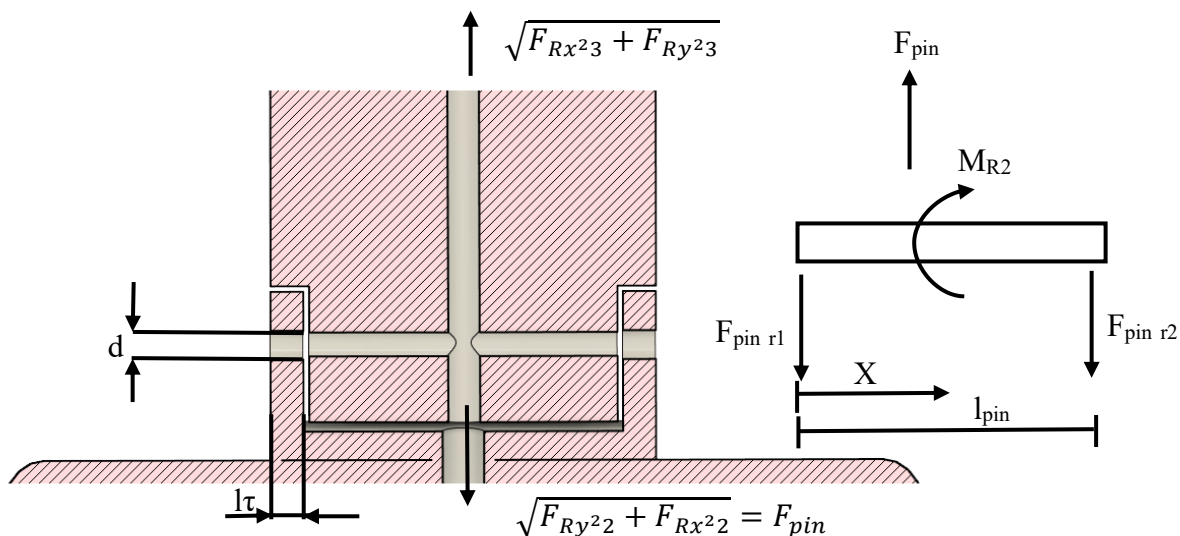
b = [FR*cos(beta + pi/2);
     FR*sin(beta+pi/2);
     FR*lr;
     0;
     0;
     0];

Y = inv(A)*b;

end
```

Obr. 7.8 – Maticový zápis rovnic v programu Matlab

Díky vypočítaným reakcím je nyní možné počítat zatížení na čepu, kde na něj působí reakční síly, reakční moment a zároveň v jednotlivých místech zatížení na střiž. Čep je dle namáhání rozdělen na 2 intervaly, kde se na krajích předpokládá reakce od sil a uprostřed čepu se předpokládá reakce od momentu. Čep je zároveň v místě styku prstu a rámu namáhán na střiž od reakčních sil (Jančík a Zýma, 2004).



Obr. 7.10 – Schéma zatížení čepu

Rovnice ohybového momentu:

$$M_{\text{pin}} = -\frac{F_{\text{pin}} r_1}{2} \cdot X, \quad X \in (0, \frac{l_{\text{pin}}}{2}) \quad (7.7)$$

$$M_{\text{pin}} = -\frac{F_{\text{pin}} r_1}{2} \cdot X + F_{\text{pin}} \cdot X - M_{R2}, \quad X \in (\frac{l_{\text{pin}}}{2}, l_{\text{pin}}) \quad (7.8)$$

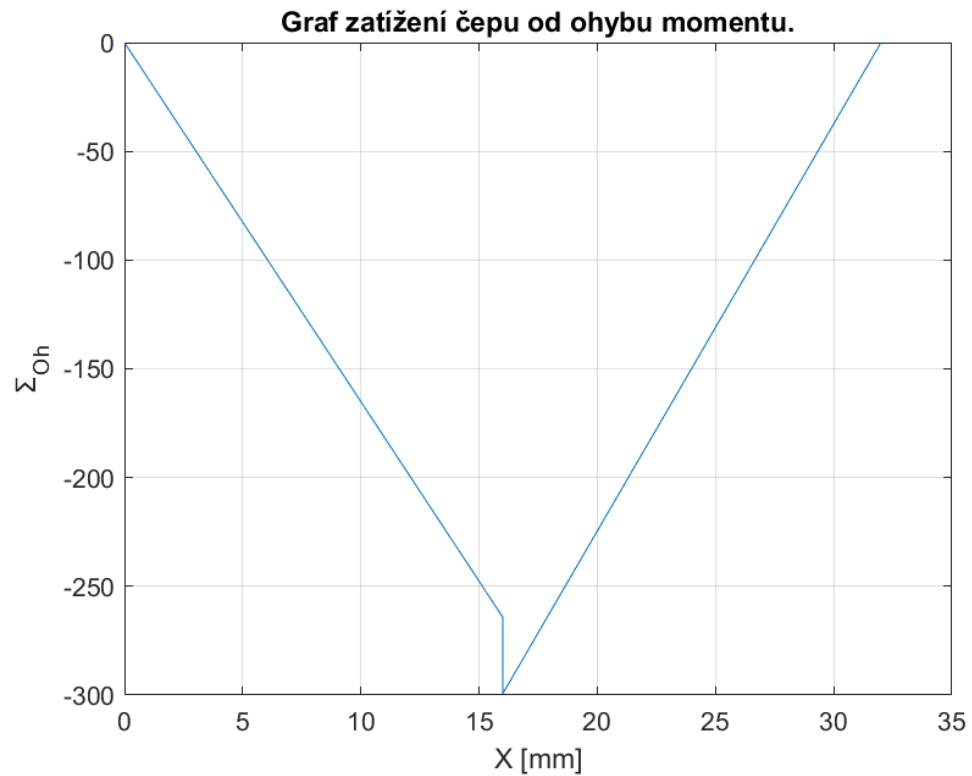
kde  $M_{\text{pin}}$  je moment ohybu, Nm,

$F_{\text{pin} r_1}$  je síla působící na koncích čepu, N,

$l_{\text{pin}}$  je délka čepu, mm,

$X$  je souřadnice definovaná na čepu, mm,

$M_{R2}$  je reakce od ohybového zatížení, mm. (Jančík a Zýma, 2004)



Obr. 7.11 – Graf zatížení čepu od ohybu momentu

Z grafů vidíme, že nejvyšší zatížení od ohybu je ve prostřed čepu. Pro nejvyšší kombinované zatížení se ale může nacházet i v místě působení střihu.

Pro zjištění kombinovaného namáhání v místech působení stříhu a ohybu lze použít teorii  $\tau_{\max}$  nebo HMH. Teorie  $\tau_{\max}$  počítá s vyšším zatížením, použijeme tedy tu. Vytipovány byly tak 3 možné body selhání, v prvním místě styku rámu a prstu, uprostřed čepu a na druhé straně ve styku rámu a prstu. Nejvyšší z těchto namáhání bude tak posuzováno s nejvyšším možným dovoleným namáháním získaným z tabulkové hodnoty pro materiál čepu (Jančík a Zýma, 2004; Michalec, 1995).

```
S = pi*d^4/2;
tau = F_pin/S;

sigma1 = max(abs(((Fr_pin1 * 3/3).^2 + (2 * tau).^2)^(1/2)));
sigma2 = max(abs(((Fr_pin2 * 3/3).^2 + (2 * tau).^2)^(1/2)));
sigma3 = abs(Max_oh);

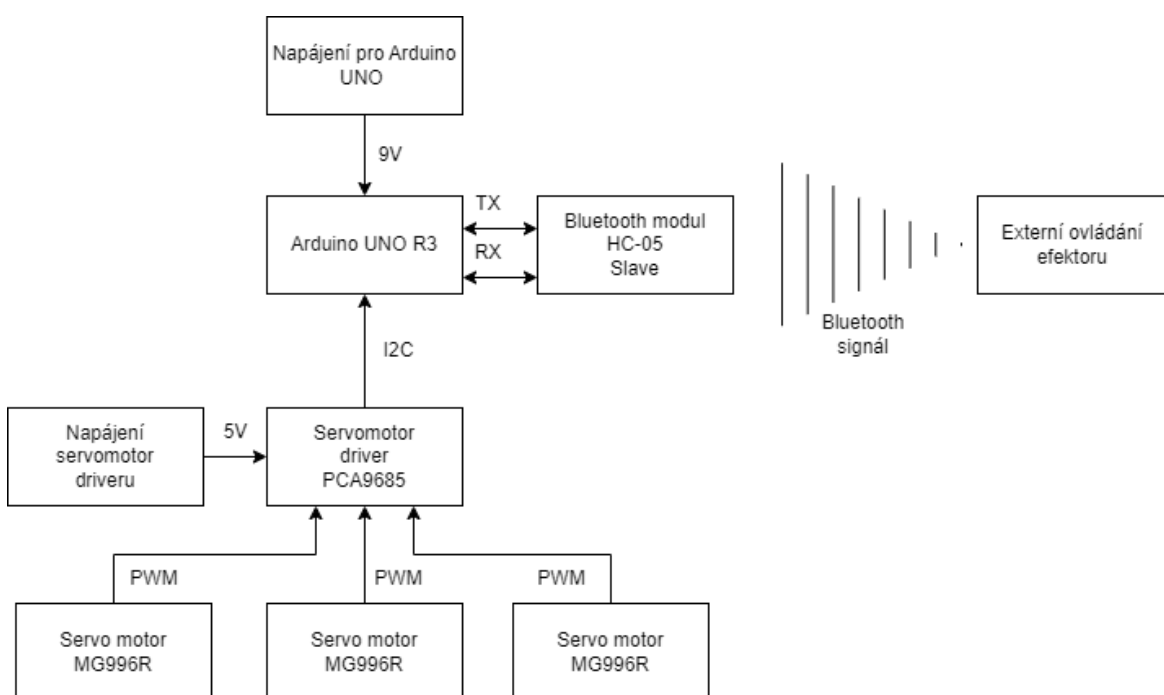
max_sigma_kom = max([sigma1, sigma2, sigma3]); %[MPa] najité maximální kombinované namáhání, tohle musí být menší než dovolené napětí
disp(max_sigma_kom)
max_sigma_kom = 299,4220 MPa
```

Obr. 7.12 – Část programu pro najítí maximálního namáhání

Budeme uvažovat konstrukční ocel S355, jejíž mez kluzu je právě 355 MPa. Tato hodnota byla vydělena hodnotou max\_sigma\_kom. Při vydělení 355/max\_sigma\_kom je výsledkem 1,186. Toto číslo je zároveň koeficient bezpečnosti. Můžeme tedy říci, že je dovolené namáhání předimenzováno o 18,6 %.

### 7.3 ELEKTRONIKA KONCOVÉHO EFEKTORU

Návrh efektoru není jenom v návrhu samotné konstrukce, ale i ve specifikaci elektroniky. Elektroniku v efektoru bychom mohli rozdělit na tři části a to na část samotných pohonů jednotlivých prstů, poté na řídicí část a na část napájení a elektronické ochrany elektroniky. Srdcem řídicího systému byl zvolen jednodeskový počítač Arduino a to konkrétně Arduino UNO. Dostatečný počet vstupů a výstupů, dostupnost velkého množství komunitních materiálů a zejména kompatibilita s mnoha dalšími elektronickými prvky je UNO vhodnou volnou pro tuto konstrukci.



Obr. 7.13 – Blokové schéma zapojení elektroniky efektoru

V průběhu realizace konstrukce bylo prováděno několik změn i v oblasti elektroniky a bylo vyzkoušeno mnoho různých komponentů. Testovaly se dva druhy servomotorů, byla realizována komunikace pomocí bezdrátových wifi modulů. Nakonec byl implementován Bluetooth přenos, velkou mírou k tomu přispěla nižší spotřeba energie, také jednoduchost párování dvou modulů, bezpečnost Bluetooth signálu, a také poměrně malé rušení přenášeného signálu a potíže při přenosu dat mezi efektořem a řídicí rukavicí. Bylo také přehodnoceno připojení servomotorů a implementace servomotor driveru. S tím bylo zapotřebí upravit také celkové napájení efektoru a to rozdělení na napájení řídicího systému efektoru a externího napájení pro servomotoru MG996R.

### 7.3.1 SERVOPOHONY EFEKTORU

V rámci výběru elektroniky bylo zapotřebí vyspecifikovat vhodné pohony, které by zaručily plynulé a pevné ohýbání prstů koncového efektoru. Počáteční návrh a následná implementace byly realizovány na běžné mikro servomotory.



Obr. 7.14 – Mikro servomotor (Servomotor mikro - 180°, b. r.)

Tento typ motoru byl z ranných fází projektu využit zejména z důvodu jeho malé velikosti, nižší spotřebě energie a také nízké ceně. Tyto vlastnosti se jevily jako vhodné, jelikož při konstruování efektorů se konstruktéři snaží o co možná nejmenší rozměry, nízkou hmotnost jednotlivých komponentů a materiálů a také o nízkou energetickou spotřebu.

Nevýhodou tohoto typu motoru je, že má veškeré převody vyrobené z plastu a tím pádem disponuje i nízkou robustností, točivým momentem a hlavně krouticím momentem. Při řízení velkých prstů docházelo ke špatnému ohybu, a také bylo zapotřebí zvýšit celkovou uchopovací sílu efektoru.

Pro konečné řešení byl zvolen servomotor MG996R, který je řízen pomocí PWN modulace. Výběr tohoto motoru závisel na několika vlastnostech, kterými tento servomotor disponuje. Důležitá byla výrazně kvalitnější a robustnější konstrukce samotného servomotoru a vyšší točivý moment.



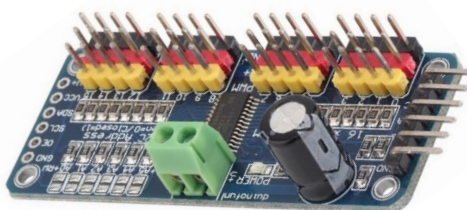
Obr. 7.15 – Servomotor MG996R (Servo MG996R ..., b. r.)

V následující tabulce je uvedeno porovnání vlastností obou typů servomotorů. Je důležité říci, že pro menší mechanické rozměry konstrukce by byl jistě vhodnější mikro servomotor, kde by záleželo zejména na jeho nízké hmotnosti a ne na síle točivého momentu servomotoru MG996R.

Tab. 7.1 – Parametry servomotoru MG996R (Servo MG996R ..., b. r.)

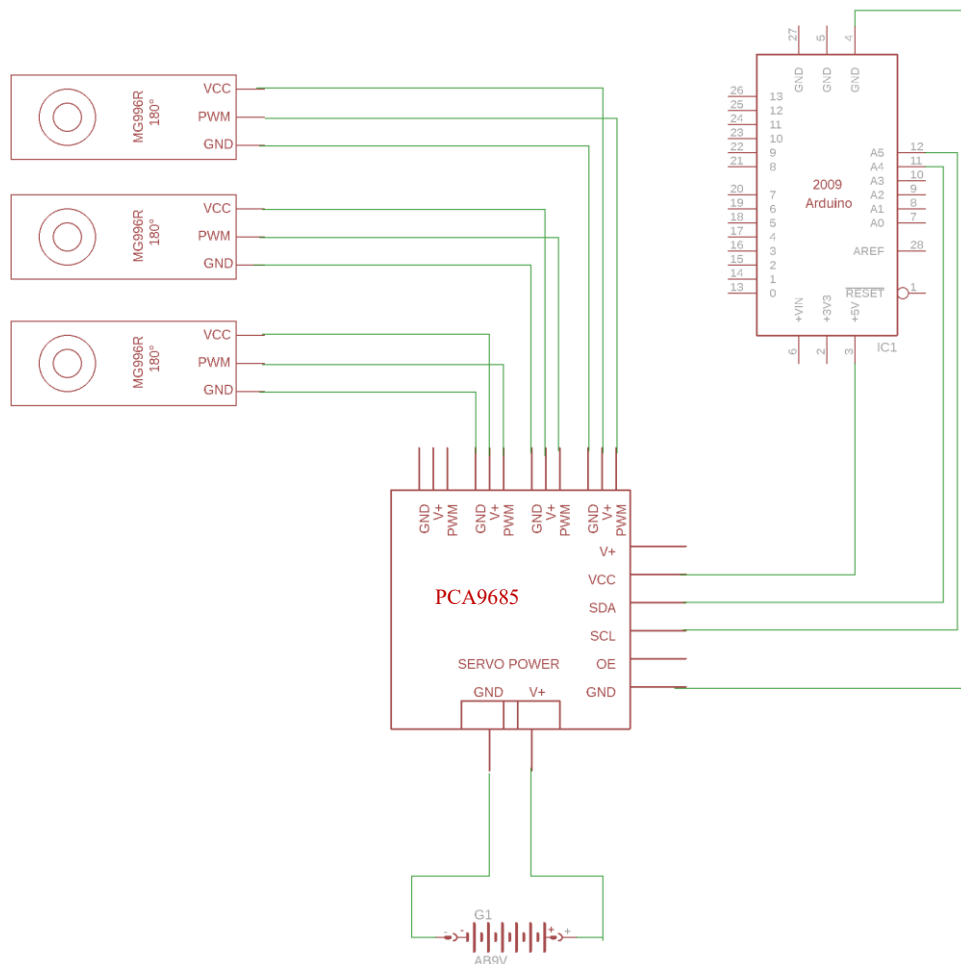
Vlastnosti mikro servomotoru	Vlastnosti MG996R 180° verze
Typ převodů: nylon	Typ převodů: kovové s ložisky
Rozměry: 22 x 11,5 x 27 mm	Rozměry: 40 x 19 x 43
Rychlost: 0,12 sec/60°	Rychlost: 0,17s/60° (při 4,8V)
Točivý moment: 4,8V = 1,2kg/42,3oz	Točivý moment: 4,8V = 9,4kg/cm
Provozní napětí: 3-7 V	Provozní napětí: 4,8-7V
Hmotnost: 14g	Hmotnost: 55g

Jak již bylo zmíněno, servomotor je řízen přes PWM signál. Proto lze servomotor připojit přímo do řídicí desky Arduino přes 3 piny. Servomotor potřebuje minimálně 4,8 V jako napájení, které bylo v testování servomotorů bráno přímo z desky Arduino UNO. Konečné zapojení servomotorů bylo v průběhu testování robotického efektoru mírně změněno. Napřímo připojené servomotory MG996R k mikrokontroleru Arduino zapříčinilo vysoký odběr proudu a tím i riziko zničení desky. Také docházelo k nežádoucímu snížení krouticího momentu servomotoru. Zapojení bylo rozšířeno o servomotor driver PCA9685. Velká výhoda tohoto driveru a i hlavní aspekt jeho implementace do elektroniky efektoru je možnost jednoduchého připojení více servomotorů a rozdělení napájení pro mikročipy jednotlivých desek a samotných servomotorů.



Obr. 7.16 – Servo driver PCA9685 (IIC I2C Modulový driver ..., b. r.)





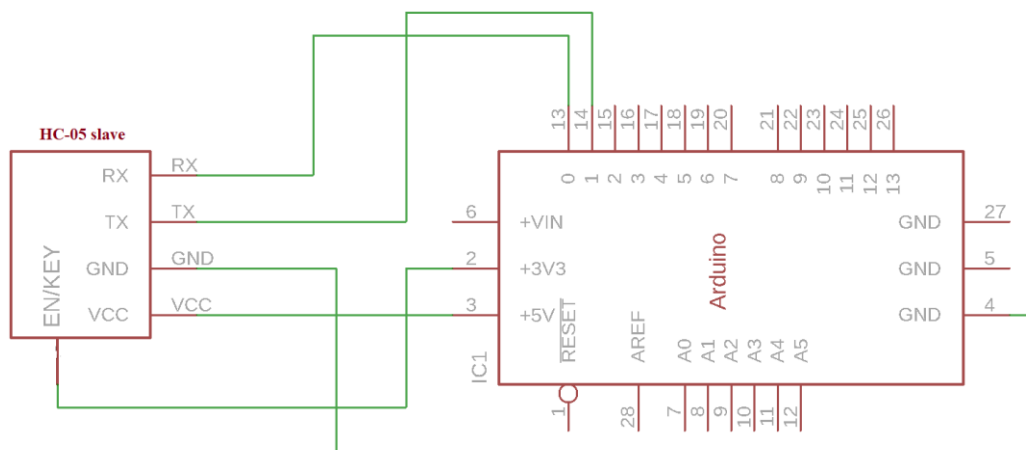
Obr. 7.17 – Zapojení servomotoru k Arduino UNO (Autodesk, 2009)

### 7.3.2 BLUETOOTH MODUL HC-05 – SLAVE

Modul HC-05 je komunikační Bluetooth modul, který byl pro toto řešení zvolený jako prostředek pro komunikaci s jeho protějškem, je umístěný na řídicím systému efektoru.

Nejprve bylo potřeba důsledného prostudování celého modulu. Zejména část, kdy se tento typ modulu parametrizuje a nastavuje, zda budou pracovat jako Master nebo Slave. Konstrukce robotického efektoru je z hlediska řízení řešena jako Slave, jelikož přijímá data od řídicího systému a zpětnou komunikaci v tomto případě není třeba řešit.

Modul HC-05 se do Slave módu nastavuje přes AT příkazy přímo v programu Arduino v sériovém monitoru. Nejdříve je třeba tento modul správně připojit. Zde je možné k modulu přistupovat několika způsoby. První způsob je konfigurovat modul přes USB/TTL převodník a programy typu SST Simple Serial Terminal anebo Hercules SETUP. Druhým způsob, který byl nakonec zvolen při této konfiguraci, je připojit modul přímo k desce Arduino UNO.



Obr. 7.18 - Zapojení HC-05 při konfiguraci (Autodesk, 2009)

Po připojení Bluetooth modulu bylo zapotřebí přejít k samotné konfiguraci. Pomocí AT příkazů, které se dají polyethylentereftalátu dohledat v datasheetu výrobce samotného modulu, se dá modul nakonfigurovat nejen jako master nebo slave, ale také upravit jeho samotnou adresu, nastavit heslo, změnit jméno, atd.

Tab. 7.2 – AT příkazy pro konfiguraci modulu (Bluetooth modul HC-05, c2021)

Příkaz	Funkce	Parametr	Přístup
AT	Testovací příkaz	-	R
AT+UART	Nastavení rychlosti komunikace	baudrate	R/W
AT+NAME	Název modulu	Řetězec znaků	R/W
AT+ROLE	Role modulu	0-slave, 1- master	R/W
AT+PSWD	Číselné heslo	4místné	R/W
AT+CMODE	Režim připojení	0-určitá adresa 1-jakékoliv slave zařízení 2-slave čeká na mastera	R/W
AT+BIND	Adresa, ke které se má master připojit	Adresa slave zařízení	R/W
A+STATE	Stav zařízení		R

Nejprve se při konfiguraci postupuje tak, že se po správném připojení Bluetooth modulu odzkouší jeho zpětná komunikace po sériové lince. Do připojené desky Arduino UNO byl nahrán čistý program, poté je zapotřebí uvést modul do konfiguračního módu. Toho se docílí tak, že se připojí jeho pin EN a dlouze se podrží tlačítko na samotném modulu. Indikační LED dioda změní interval blikání a tím uživatel ví, že je modul v módu konfigurace. Poté se do sériového monitoru zapíše příkaz **AT**, pokud modul komunikuje, zpětně přijde hláška **OK**. Momentálně modul komunikuje a nyní je možné podle tabulky nastavovat parametry. V případě tohoto modulu slave bylo do sériového monitoru vypsán příkaz **AT+ROLE?**. Tento příkaz zpětně obdržel hlášku **+ROLE:0** a tím bylo potvrzeno, že je modul nastaven jako slave. Pro komunikaci s masterem resp. masteru se slavem bylo nutno zjistit samotnou adresu tohoto modulu. To zajišťuje příkaz **AT+ADDR?**, který zpětně poslal adresu **+ADDR:0023:00:0011EE**.

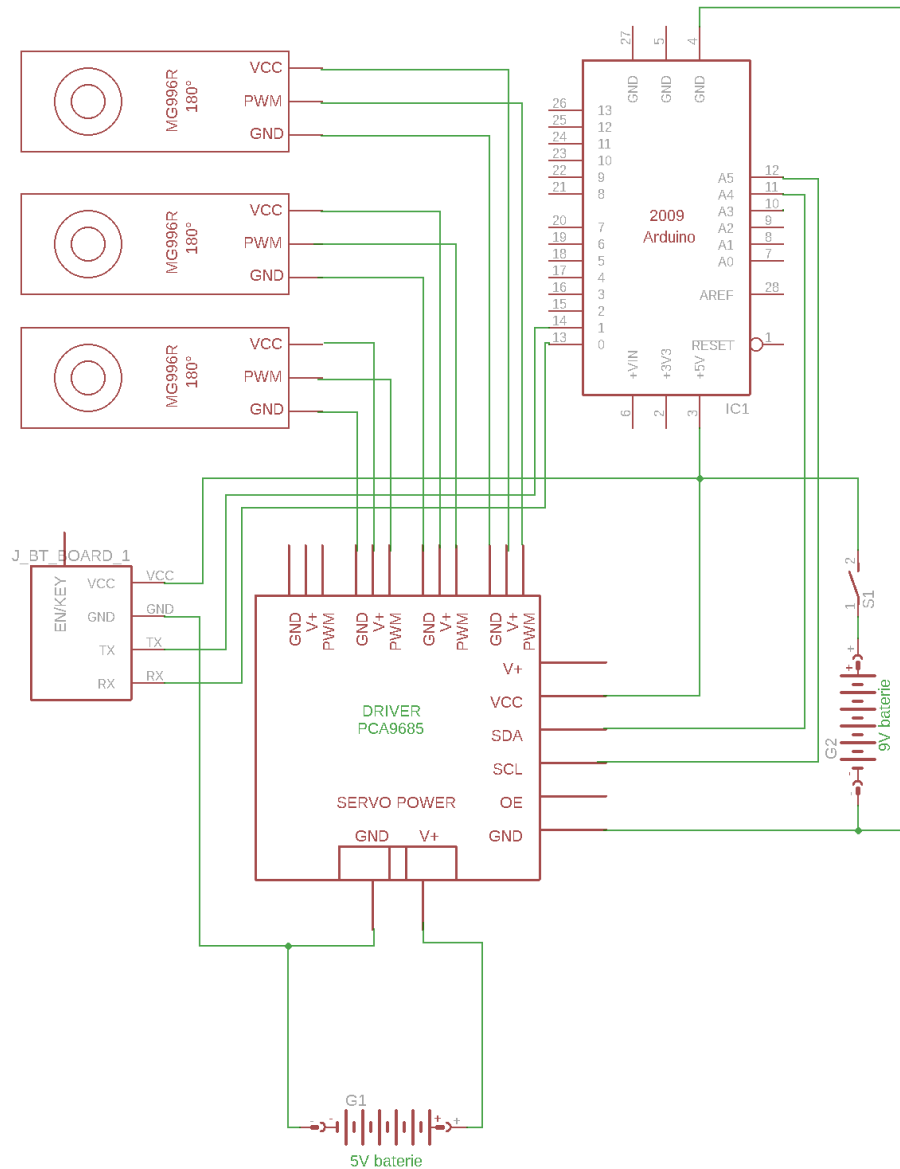
Tab. 7.3 – Vlastnosti modulu HC-05 (Bluetooth modul HC-05, c2021)

Napájecí napětí: 3,3 – 6 V	Rozměry: 3,2 x 1,6 x 0,3 cm
Komunikační napětí: 3,3 V	Vysílací dosah: do 10m
Pracovní proud: do 30mA	Baudrate komunikace: 9600
Bluetooth: 2,4 GHz, Bluetooth V2.0	Baudrate konfigurace: 38400
Vysílací výkon: +4dBm	Váha: 2g

## 7.4 VLASTNOSTI A KOMPLETIZACE EFEKTORU

V této fázi, kdy je vytisknutá konstrukce koncového efektoru, je potřeba při sestavení dbát na vhodném použití čepů, zvolení vhodné pryže s adekvátním odporem. Po kalibraci potenciometrů a konfigurace Bluetooth modulu byla veškerá elektronika zapojena a finálně zapájena. Před finální kompletací byla provedena ještě úprava a montáž táhel, které jsou upevněné na hřídel motoru. Zde je zapotřebí, aby táhla byla dostatečně napnutá, aby docházelo ke správnému zavírání a otevírání prstů efektoru.

Následující část této kapitoly zobrazuje zapojení všech elektronických komponentů koncového efektoru, tabulka vlastností efektoru jak vlastností konstrukčních, tak elektronických a reálný obraz konstrukce.



Obr.7.19 – Kompletní zapojení efektoru (Autodesk, 2009)

Tab. 7.4 – Parametry koncového efektoru

PARAMETRY KONCOVÉHO EFEKTORU	
Rozměry (délka, šířka, výška)	23cm x 23cm x 22cm
Hmotnost	350g
Vstupní napětí pro vývojovou desku	9 V
Vstupní napětí pro servomotor driver	5 V
Odběr proudu vývojové desky	110 mA
Odběr proudu servomotor driveru	cca 2700 mA
Přenosový dosah	max 10m
Konstrukční materiál	ABS, pryž, zinek, měď

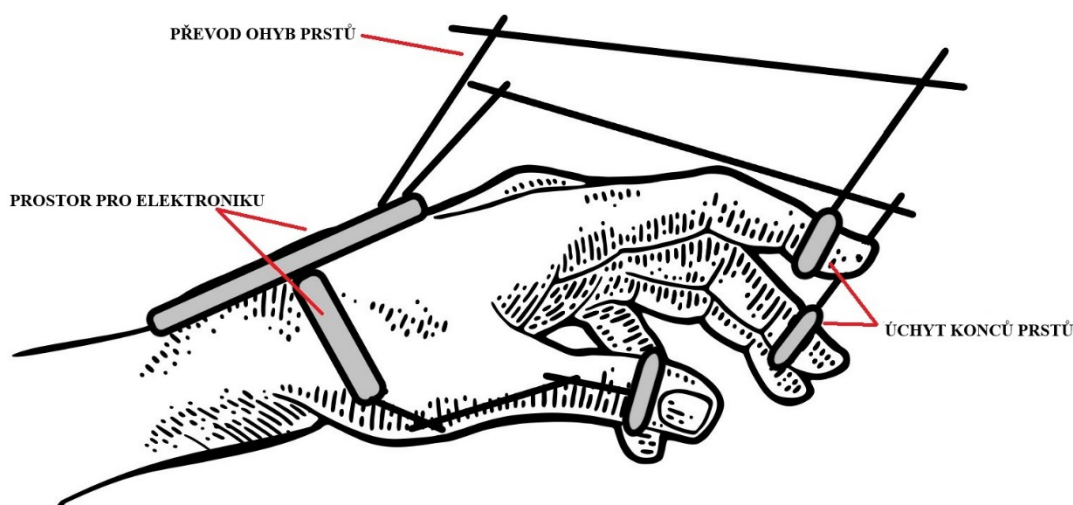
## 8 KONSTRUKCE ŘÍDICÍHO ZAŘÍZENÍ – RUKAVICE

Koncový efektor je třeba řídit a tím i pro něj navrhnout vhodný řídicí systém. Možností jak řídit koncový efektor je mnoho. V praxi se koncové efekty neřídí externě, ale jsou součástí nějakého systému robotického ramene.

Pro tento typ konstrukce koncového efektoru byla navržena možnost externího řízení, které má pomoci operátorovi, v určitých situacích, nezávisle na robotickém rameni řídit koncový efektor.

Konstrukce řídicího systému je navržena jako jaká si rukavice, která je umístěna na ruce operátora. Samotný operátor si pak navlékne danou rukavici a pomocí bezdrátového signálu externě ovládat koncový efektor. Konstrukce využívá převodu ohybu prstů operátora pomocí mechanické konstrukce na elektroniku, která je pro řídicí systém také umístěna na ruce. Koncový efektor disponuje třemi prsty, aby bylo zajištěno nezávislé řízení jednotlivých prstů, je i konstrukce rukavice navržena pro tři prsty.

V průběhu návrhu bylo třeba mířit zejména na správný převod mechanického ohybu prsty. Konstrukce musí kopírovat prst operátora, aby i za lehce rozdílného ohybu prstů byl zaručen pohyb efektoru. Stejně jako u koncového efektoru bylo zapotřebí zajistit velkou tuhost a robustnost celé rukavice. Správné uchycení na jednotlivých částech ruky je žádoucím aspektem ke správnému fungování řídicího systému. Proto bylo v průběhu navrhování řešeno několik verzí konstrukcí, které byly jednotlivě podrobeny testování. Výsledná konstrukce, která je popsána v kapitole 8.1 se v době konstruování zdá jako vyhovující.



Obr. 8.1 – Původní návrh řídicí rukavice

## 8.1 3D NÁVRH RUKAVICE

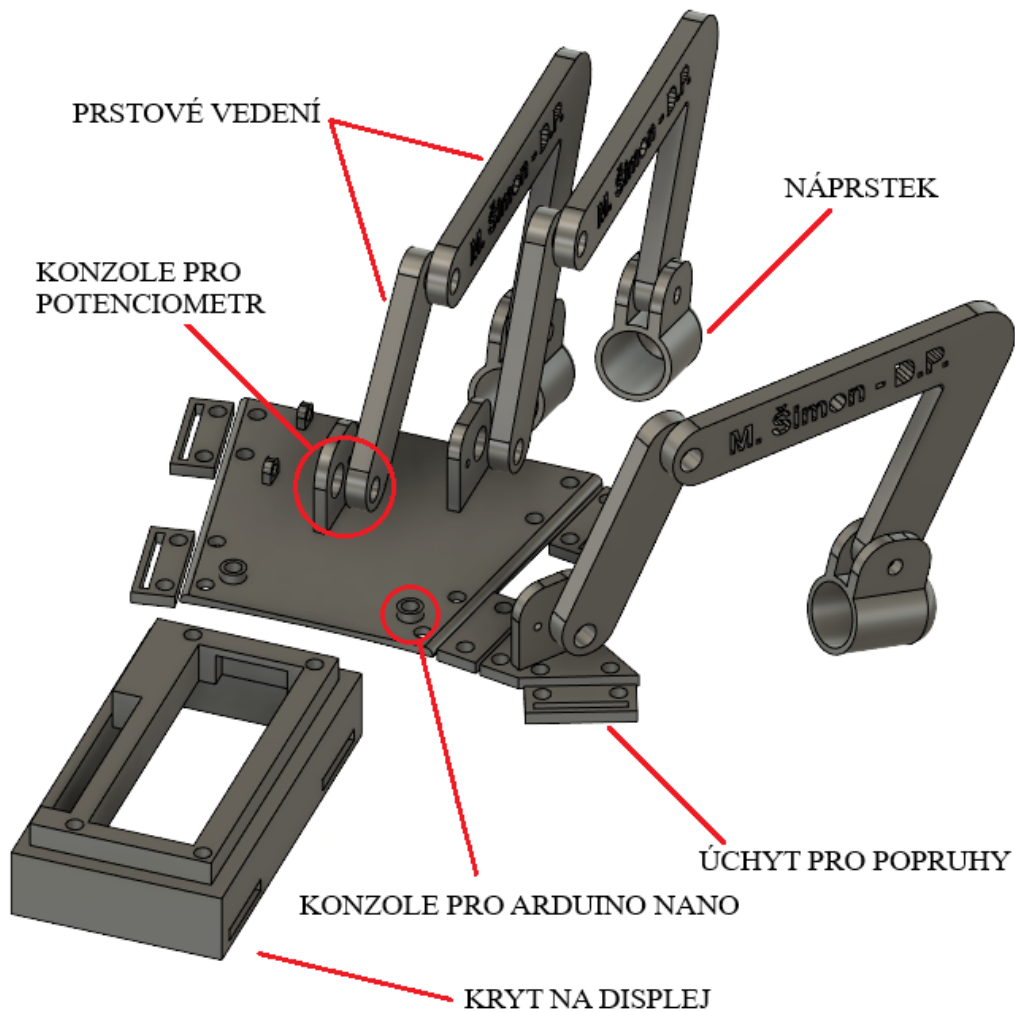
3D návrh rukavice probíhal stejně jako návrh konstrukce koncového efektoru v programu Fusion 360. Nejprve bylo zapotřebí provést rešerši a testování na téma vyhodnocování míry ohybu prstu. Zde byly vzaty v potaz dvě možnosti řešení a to nejprve pomocí piezorezistivních ohybových senzorů. Druhá možnost vyhodnocování míry ohybu prstu je navrhnout takovou konstrukci, která dokáže při ohybu prstu otočit potenciometrem a následně vyhodnotit míru natočení potenciometru. Tato varianta se po sérii testování ohybových senzorů zdála jako spolehlivější zejména při zpětném ohybu prstů (narovnání prstů do vodorovné polohy). Ohybové senzory nedosahují takové přesnosti jako potenciometr a to by zapříčinilo nelineární ohyb prstů efektoru.

Dominantní částí rukavice je část, která je usazena na vrchní částí ruky operátora. Zde jsou navrženy konzole pro pevné ukotvení potenciometru, konzole pro pevné ukotvení jednodeskového počítače Arduino Nano, vodící úchyty pro kabeláž potenciometru a otvory pro stahovací pásky, které slouží jako pospojení jednotlivých částí návrhu.

Velmi důležitá část, která v průběhu návrhu konstrukce prošla mnoha variantami a vývojem je část prstové vedení a náprstek. Prstové vedení se skládá z části, která je ukotvena přímo na potenciometr, poté z části, která slouží jako přímé vedení nad prstem a svým tvarem zajišťuje správný ohyb a nakonec samotný náprstek, který je nasazen na konci prstu. První a druhá část prstového vedení je k sobě ukotvena staticky, operátor si míry ohnutí nastaví podle svým potřeb a pohodlí. Druhá část a náprstek je spojen 2,5mm čepem pro zaručení volného ohybu náprstku. První část je navržena tak, aby přesně doléhala na konstrukci využitého potenciometru, prokluzování nebo nedostatečná tuhost této části by zapříčinila nesprávné otáčení potenciometru.

Operátor má k ruce také připojený LCD displej, který je zde umístěn z důvodu zpětné vazby z jednotlivých elektronických komponentů obou konstrukcí. Kryt pro displej je navrhnout tak, aby držel na zápěstí operátora a nevadil při manipulaci.

Na následujícím obrázku jsou zobrazeny jednotlivě popsané části konstrukce. Rukavice je k ruce operátora připevněna pomocí úchytů, kterými vedou nylonové popruhy se suchým zipem. Popruhy jsou vedeny na 4 částech a to na přední částí ruky před palce, za palcem kolem zápěstí a pak na dvou místech krytu pro LCD displej. Všechny tyto popruhy musí být pevně připevněny k ruce operátora.

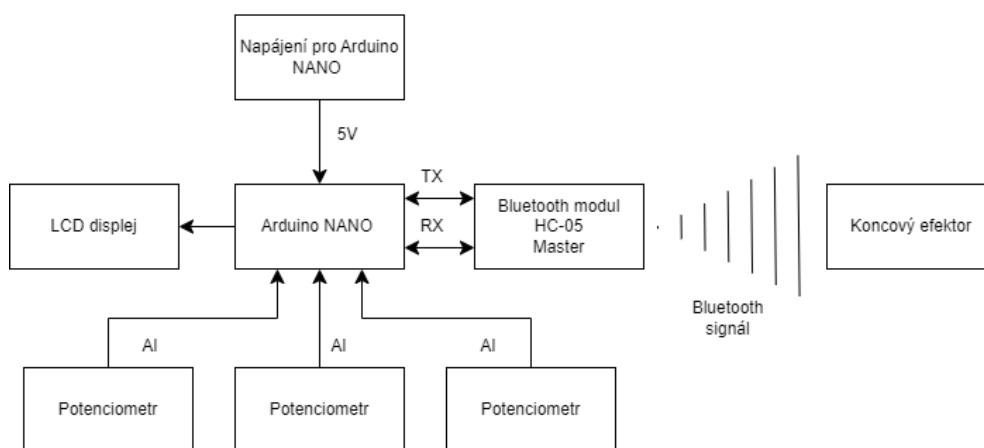


Obr. 8.2 – 3D návrh řídicí rukavice

## 8.2 ELEKTRONIKA ŘÍDICÍ RUKAVICE

Ve specifikaci a výběru elektroniky pro řídicí rukavici můžeme sledovat také rozdělení do několika skupin podle jejich funkčnosti. Bylo třeba zvolit vhodný řídicí systém, který se skládá z jednodeskového počítače Arduino Nano a bezdrátového přenosového modulu, poté vyhodnocovací prvek, který převede ohyb prstů na analogový signál pro řídicí systém, následně určitou formu zpětné vazby v podobě LCD displeje a v neposlední řadě napájení veškeré elektroniky.

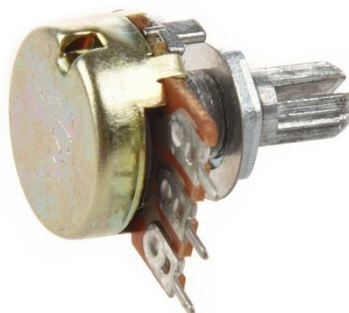
I zde byl, stejně jako u elektroniky koncového efektoru, kladen důraz zejména na nízkou proudovou vytiženost jednotlivých komponentů, nízkou váhu elektroniky a cenovou dostupnost. Jednotlivé periferie spojuje zejména jejich uživatelský přívětivá kompatibilita s řídicím systémem rukavice a také robustnost.



Obr. 8.3 – Blokové schéma elektroniky řídicí rukavice

### 8.2.1 POTENCIOMETRY JAKO PŘENOS OHYBU PRSTU

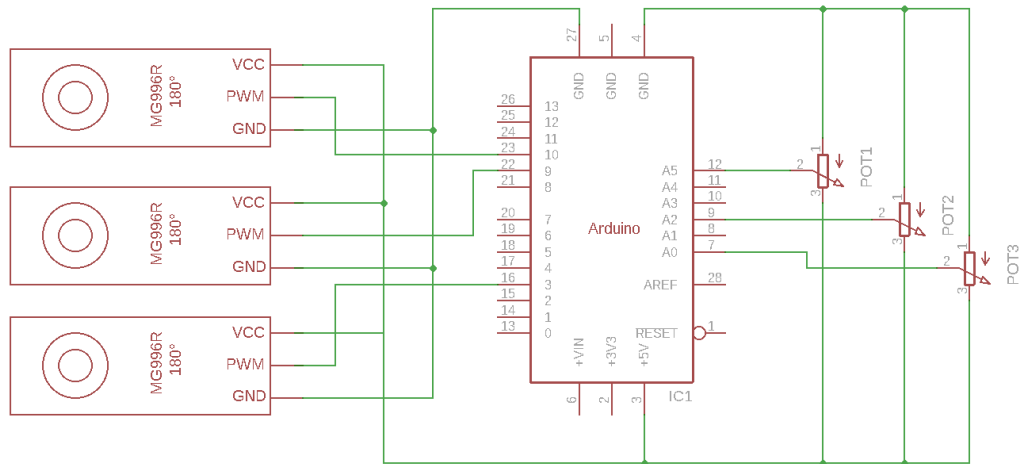
Jak už bylo zmíněno v předchozích kapitolách, pro přenos míry ohybu prstu operátora slouží mechanické převody společně s potenciometrem. Pro řídicí rukavici byly zvoleny lineární potenciometry o odporu  $10\text{k}\ \Omega$ . Při konstrukci se vybíralo mezi potenciometry o hodnotě  $1\text{k}\ \Omega$  a  $10\text{k}\ \Omega$ . Varianta s vyšším odporem byla nakonec zvolena na základě testovacího a později i kalibrovacího obvodu. Při vyšším odporu potenciometru protéká potenciometrem menší proud než u jeho  $1\text{k}\Omega$  variantě za předpokladu, že máme u obou stejné napětí. U  $10\text{k}\Omega$  varianty to má za následek tedy pomalejší a citlivější odezvu na otáčení potenciometrem, to vede k preciznějšímu ovládní servomotoru. Při zapojení  $10\text{k}\Omega$  potenciometru k analogovému pinu jednodeskového počítače Arduino také docílíme menšímu protékání proudu danými piny a tím i snížení zatížení mikrokontroleru. Tato výhoda nese s sebou další pozitivní vlastnost  $10\text{k}\Omega$  potenciometru v této konstrukce a to tu, že spotřeba proudu bude nižší než u  $1\text{k}\Omega$  varianty. U projektu, který je napájený z baterie je nižší spotřeba energie a prodloužení životnosti baterie žádoucí.



Obr. 8.4 – Použitý lineární potenciometr  $10\text{k}\ \Omega$  (Lineární potenciometr, b. r.)

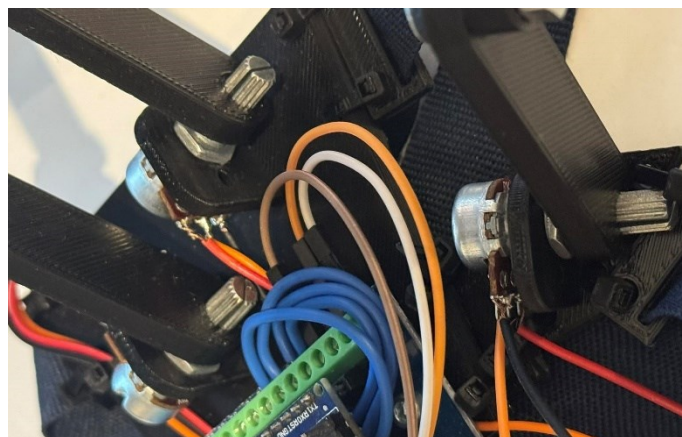


Důležitým krokem pro správné ovládání servomotoru pomocí lineárního potenciometru je kalibrace potenciometru. Ta při konstrukci probíhala ve bodech a to když servomotory nebyly součástí konstrukce efektoru. Zapojení kalibračního obvodu servomotorů a potenciometrů je vyobrazeno na následujícím obrázku.



Obr. 8.5 – Zapojení testovacího obvodu pro kalibraci servomotorů (Autodesk, 2009)

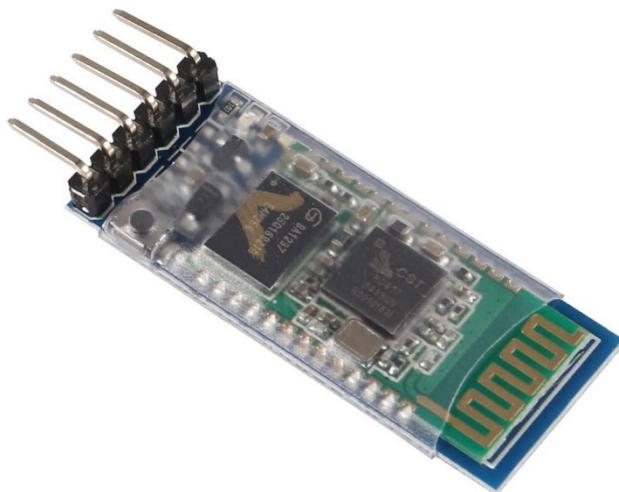
Po správné kalibraci potenciometrů a servomotorů byly jednotlivé potenciometry instalovány na řídicí rukavici. Zde jsou potenciometry pevně upevněny do připravené konzole, která je při jejich otáčení pomocí mechanických táhel drží nehybná. Pro kabelové vedení z potenciometrů jsou poté navrženy oka pro jejich následné upevnění k celé konstrukci. Následně jsou všechny 3 potenciometry připojeni k řídicí desce Arduino Nano. Zapojení je obdobné jako u testovacího obvodu pro kalibraci a to, že jeden vývod je napájení pro potenciometr +5 V, druhý je uzemnění GND a třetí (prostřední) je připojen na analogové vstupy Arduino Nano.



Obr. 8.6 – Implementace potenciometrů

### 8.3.2 BLUETOOTH MODUL HC-05 – MASTER

Bluetooth modul HC-05 byl již popsán v předešlé kapitole, kde bylo zapotřebí nastavit tento modul jako slave, tedy jako modul pouze pro přijímání dat. Řídící rukavice disponuje též Bluetooth modulem HC-05 stejně jako koncový efektor s tím rozdílem, že bylo potřeba nastavit ho jako master.



Obr. 8.7 – Bluetooth modul HC-05 (Bluetooth modul HC-05, b. r.)

Postup nastavování je velmi obdobný s tím, že v postupu, kde je volán AT command **AT+ROLE?** je důležité sledovat jak je modul nastavený. Pokud obdržíme hlášku **+ROLE:0** je modul nastaven také jako slave. Pak je třeba poslat volat AT command **AT+ROLE=1**, tímto příkazem nastavíme tento modul jako master. Další částí nastavení je nastavit připojení master modulu na jeho slave přijímač koncového efektoru. Nejprve je nutno pomocí příkazu **AT+CMOD=0** nastavit modul tak, aby se připojoval vždy pouze k jednomu dalšímu modulu. Po kontrole role modulu a nastavení cmod můžeme přejít k poslední části nastavení a to nastavit master modulu pomocí AT commandu **AT+BIND** adresu modulu slave, aby se připojoval pouze k němu. V tomto případě se AT command запиše ve tvaru **AT+BIND = 0023,00,0011EE**. V této fázi jsou nakonfigurovány oba Bluetooth moduly.

Po správném zapojení k Arduino Nano (které je obdobné jako u koncového efektoru) master a slave modulu dojde ihned k párování obou modulů. Úspěšné spojení obou modulů poznáme tak, že identifikační led dioda na modulu bliká ve stejné frekvenci jako jeho protějšek.

### 8.3.3 LCD DISPLEJ A NAPÁJENÍ ŘÍDICÍ RUKAVICE

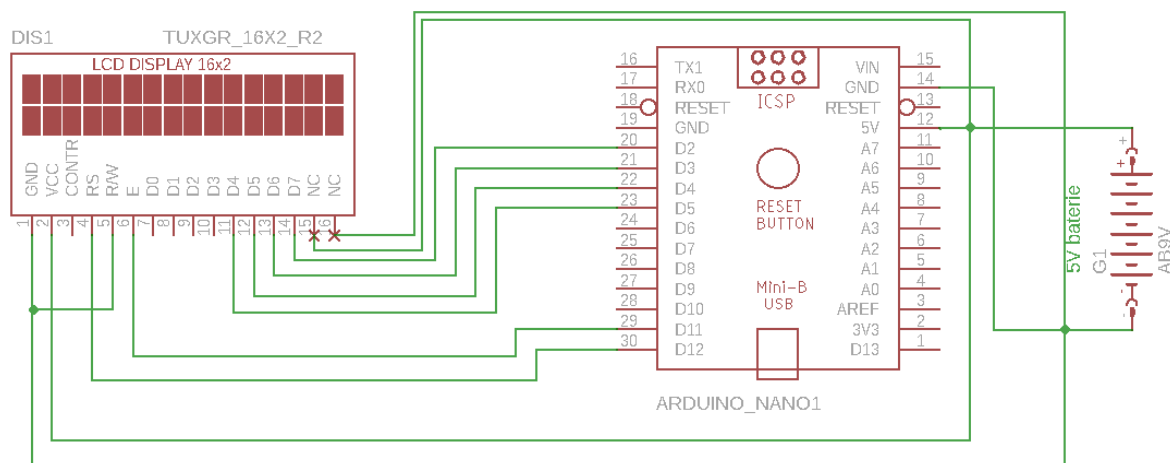
LCD displej a jeho implementace byla realizována zejména kvůli zajištění aspoň částečné zpětné vazby a to zejména kvůli servomotorů. LCD displej na řídicí rukavici plní roli ukazatele míry natočení jednotlivých servomotorů respektive míry pootočení potenciometrů na řídicí rukavici. Toto bylo realizováno kvůli větší kontrole operátora nad mírou ohybů jednotlivých prstů efektoru.



Obr. 8.8 – Zobrazení míry natočení potenciometrů

Pro LCD displej bylo třeba navrhnout externí kryt, který není přímo spojený s řídicí rukavici zejména kvůli tomu, že se jedná spíše o dodatečnou funkci, který nemá přímo vliv na funkčnost celé konstrukce. Je tedy možné LCD displej kdykoliv odpojit a odepnout.

Napájení řídicí rukavice je řešeno 4,5V externí baterií, která je uložena na spodní části ruky operátora. Baterie napájí řídicí jednotku Arduino Nano a tím i jednotlivé komponenty celé rukavice.

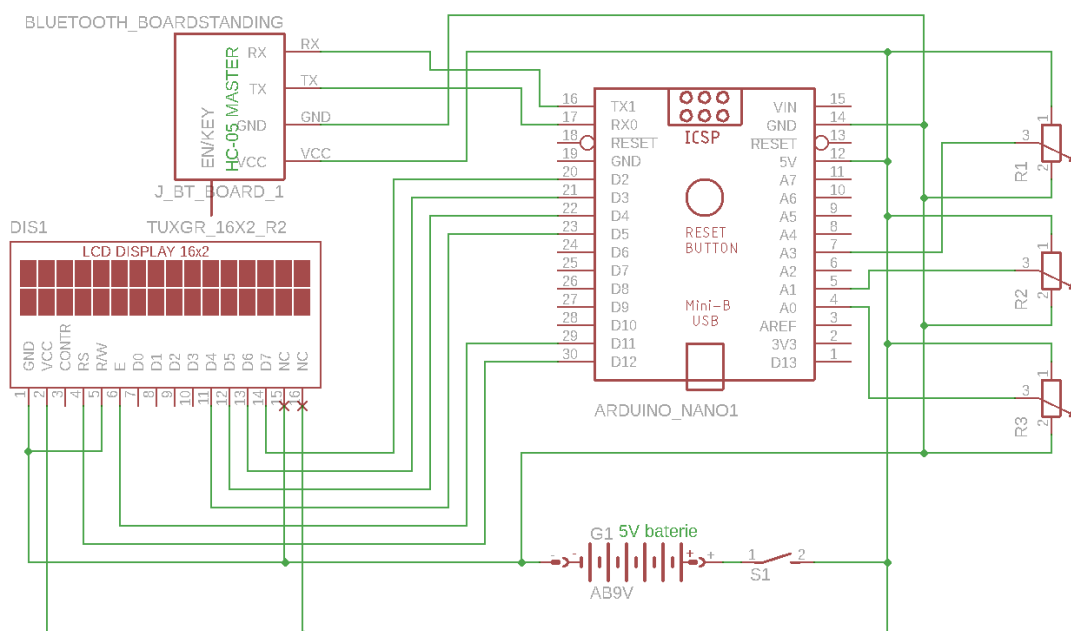


Obr. 8.9 – Schéma zapojení LCD displeje (Autodesk, 2016)

## 8.4 VLASTNOSTI A KOMPLETACE ŘÍDICÍ RUKAVICE

Po kalibraci servomotorů, nastavení Bluetooth modulu HC-05 a připojení LCD displeje je připravena elektronika pro finální zapojení do řídicí jednotky Arduino Nano. Sestrojení konstrukce řídicí rukavice bude pro každého operátora rozdílná vzhledem k odlišným rozměrům rukou. Úpravy v konstrukci budou tak nejvíce rozdílné v oblasti míry nastavení mechanických táhel prstů, polohy náprstků a případně možné přidání spojovacích prvků konstrukce pro úchyt potenciometru na palci.

Na následující tabulce a obrázku můžeme vidět vlastnosti, parametry řídicí rukavice a reální vzhled řídicí rukavice nasazené na ruce operátora.



Obr. 8.10 – Schéma zapojení řídicí rukavice (Autodesk, 2016)

Tab. 8.1 – Parametry řídicí rukavice

PARAMETRY ŘÍDICÍ RUKAVICE	
Rozměry (délka, šířka, výška)	27cm x 12cm x 6cm
Hmotnost	250g
Vstupní napětí	5-12V
Vývojová deska	Arduino Nano
Odběr proudu při aktuálním nastavení	cca 260mA
Přenosový dosah	max 10m
Konstrukční materiál	PLA, zinek, nylon

## 9 ŘÍDICÍ PROGRAM

Řídicí program je důležitou součástí robotiky a automatizace. Jedná se o část, která propojuje elektronické komponenty a konstrukční části a umožňuje jejich spolehlivé řízení.

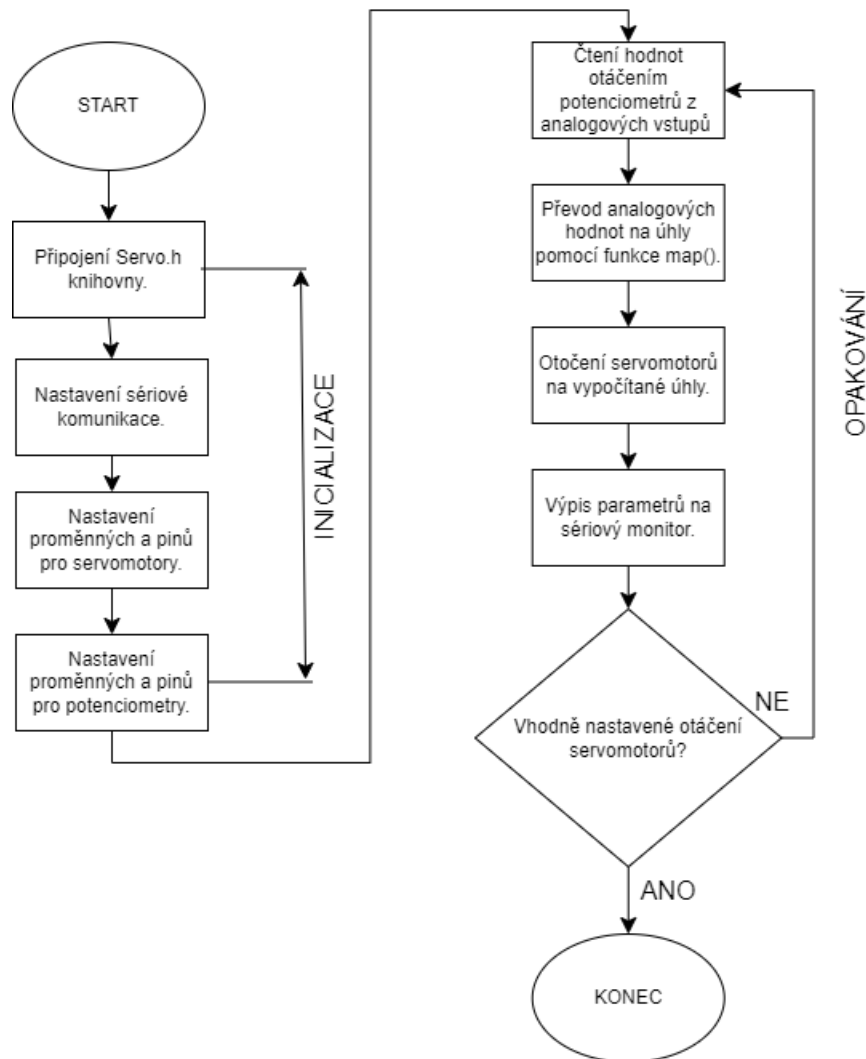
V rámci realizace koncového efektoru a řídicí rukavice byly vyvinuty tři programy, které byly zapotřebí pro dokončení celého projektu. V průběhu realizace bylo zapotřebí navrhnout kalibrační program jednotlivých servomotorů a potenciometrů, poté program pro přijímání dat a řízení koncového efektoru (slave program) a program pro odesílání dat z řídicí rukavice (master program). Veškeré programové vybavení je řešeno v programovém prostředí vytvořené pro řídicí desky about konstrukcí, Arduino IDE.

### 9.1 KALIBRAČNÍ PROGRAM

Kalibrační program je první programem, který bylo potřeba vytvořit při realizaci konstrukce koncového efektoru a řídicí rukavice. Ovládání servopohonů pomocí potenciometrů je programově poměrně jednoduché. V případě konstrukce řídicí rukavice bylo zapotřebí udělat pár kalibračních měření. Ohyb prstů totiž nevyužívá celou škálu otočení potenciometru a tak bylo zapotřebí nastavit škálu potenciometru tak, aby odpovídala plnému otočení celé škály servomotoru. Výsledkem kalibrace bylo tedy docíleno správnému natočení jednotlivých servomotorů a také k zvýšení plynulosti zavírání efektoru.

Program je navržen tak, aby umožnil uživateli nastavovat hodnotu všech servomotorů ovládaných potenciometrem. Nejprve je do programu přidána knihovna Servo.h. Tato knihovna je navržena přesně pro zjednodušení řízení servomotorů a je k nalezení přímo v programu Arduino IDE. Následně jsou definovány proměnné pro jednotlivé digitální PWM piny servomotorů a také pro analogové piny potenciometrů. Knihovna pro řízení servomotorů má specifické příkazy a pro inicializace servomotorů je třeba vytvořit objekt pomocí třídy „Servo“ pro každý servomotor. Ve funkci setup se pak nachází piny servomotorů a také sériová komunikace. V hlavní smyčce programu loop() je potom čtení analogových hodnot z jednotlivých potenciometrů na škále od 0-1023 (jedna z hodnot, kterou je třeba upravovat pro docílení správné kalibrace), tato hodnota pak ukazuje natočení potenciometru. Pomocí funkce map() je potom převedena hodnota z potenciometrů na úhel (0 až 180°). Funkce write() pak nastaví servomotory na vypočítaný úhel. Úhel natočení servomotoru a natočení potenciometru je pak vypsán do sériového monitoru za

účelem sledování chování obou typů komponentů a jejich dodatečného ladění. Na konci programu je implementováno malé zpoždění pro zabránění nechtěnému oscilaci serv.



Obr. 9.1 – Vývojový diagram kalibračního programu

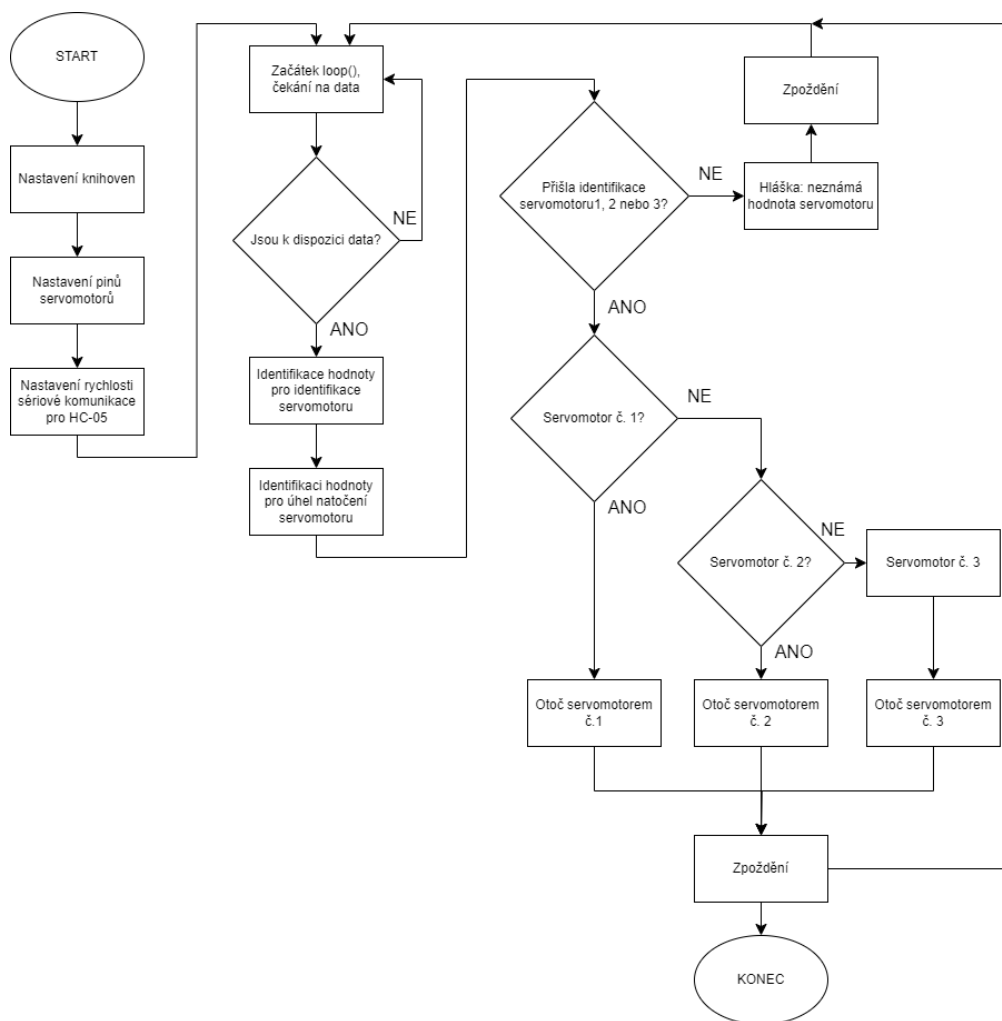
## 9.2 PROGRAM KONCOVÉHO EFEKTORU

Program koncového efektoru je navrhnut pro ovládání tří servomotorů MG996R pomocí bezdrátového Bluetooth modulu HC-05, program je konstruován tak, aby přijímal a zpracoval data z řídicího zařízení (druhého bezdrátového modulu HC-05, který je nastaven jako master) a použil tyto data k řízení natočení tří servomotorů do požadované pozice. Servomotory reagují na příjem dat, které jsou získané z potenciometrů a jejich případnému natočení. Struktura programu umožňuje ovládání servomotorů na základě real-time informací o poloze, což je klíčovým prvkem pro tuto aplikaci, kde je požadována okamžitá reakce na změnu vstupních dat.

Struktura programu začíná inicializací knihoven, které umožňují zjednodušený programový přístup k jednotlivým perifériím. První inicializovanou knihovnou je knihovna Servo.h, která je popsána už v předešlé kapitole a i zde je z důvodu snadného ovládání servomotorů pomocí mikrokontroleru Arduino. Druhou inicializovanou knihovnou je knihovna SoftwareSerial.h. Tato knihovna umožňuje komunikaci Arduina přes digitální piny jiné než TX a RX s ostatními moduly. Inicializace této knihovny není povinná a byla implementovaná zejména v průběhu ladění programu. Pokud jsou na mikrokontrolerech Arduino obsazeny piny TX a RX, nelze nahrávat program do desek Arduino.

V další části programu probíhá definice několika potřebných věcí. Pro ovládání všech třech servomotorů je potřeba nejdříve nadefinovat a vytvořit pro každé servomotory objekty. Tyto objekty reprezentují fyzické servomotory, které jsou ovládány potenciometry. Ve funkci setup() jsou potom pomocí funkce knihovny Servo.h „attach()“ každý objekt servomotoru připojen ke specifickému pinu mikrokontroleru Arduino. Následně je inicializovaná sériová komunikace s určitou rychlostí v baudech. Tato rychlost musí být stejná jako nastavená rychlost master i slave Bluetooth modulů HC-05.

V hlavní smyčce programu loop() dochází zejména k přijímání dat z master programu. Nejprve dochází ke kontrole příjmu dat na sériovém portu. Toto je realizováno kvůli kontrole příjmu důležitých informací pro chod servomotorů, hobby Bluetooth moduly nejsou bezchybné a může dojít ke špatnému formátu příjmu dat. Data přicházejí ve dvou typech. Jedna hodnota reprezentuje typ (ID) servomotoru a druhá hodnota reprezentuje samotné číslo z potenciometru, hodnota, která určuje úhel, na který se servomotor otočí. Příkaz switch poté na základě první hodnoty vyhodnotí, jaký servomotor bude přijímat druhý typ dat a jak se otočí. V case blocích se potom po splnění této podmínky nastaví servomotor pomocí hodnoty poslaných z potenciometrů. Příkaz break zaručí ukončení každého case bloku a zabrání ke spuštění následujícího case bloku. Do programu je přidána funkce s krátkou pauzou mezi jednotlivými cykly loop funkce. Zpoždění je implementováno za účelem zvýšení stabilizace celého programu, zejména kvůli příjmu dat a zabránění zahlcení programu. Nevýhodou tohoto řešení a celkové implementace zpoždění tímto stylem je situace, kdy přijmutí dat má přijít v okamžiku, kdy je krátká pauza. V tomto případě by nemuselo dojít ke správnému příjmu dat. Tato pravděpodobnost situace je však velice malá, zejména kvůli nízké nastavené časové hodnotě zpoždění.



Obr. 9.2 – Vývojový diagram programu koncového efektoru

V průběhu testování a úprav konstrukce byl v hardwarové části přidán servomotor driver PCA9685, jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách. Základní strukturu programu to nějak příliš nezměnilo, ale bylo třeba udělat pár změn. Servomotor drive využívá pro ovládání knihovnu Adafruit\_PWMServoDriver.h, kterou bylo potřeba implementovat. Také bylo potřeba implementovat knihovnu Wire.h, která slouží pro I2C komunikaci. Následně je nadefinování proměnných, které definují maximální a minimální pulsní šířku v jednotkách, v kterých driver pracuje, hodnoty jsou v programu nezměněné a ponechané tak, jak je doporučují autoři knihovny pro driver. Poté se nastaví už jen frekvence PWM. Zbylá část programu funguje už na velmi podobném principu jako při realizaci bez servomotor driveru. Přidáním driveru bylo pouze za účelem rozdělení napájení pro vývojovou desku a servomotory a zefektivnění celé elektroniky. Konstrukce a i programy byly vytvořeny jak se zapojeným driverem, tak bez.



### 9.3 PROGRAM ŘÍDICÍ RUKAVICE

Program řídicí rukavice je díky konfiguraci Bluetooth modulu HC-05 označený jako master program celé konstrukce. Jeho úkolem je odesílat data o stavu natočení hřídele potenciometrů přes Bluetooth komunikaci do slave modulu koncového efektoru. Zároveň je v programu zaimplementovaný výčet některých hodnot na LCD displej. Jedná se zejména o aktuální stav natočení servomotoru resp. stav natočení potenciometrů.

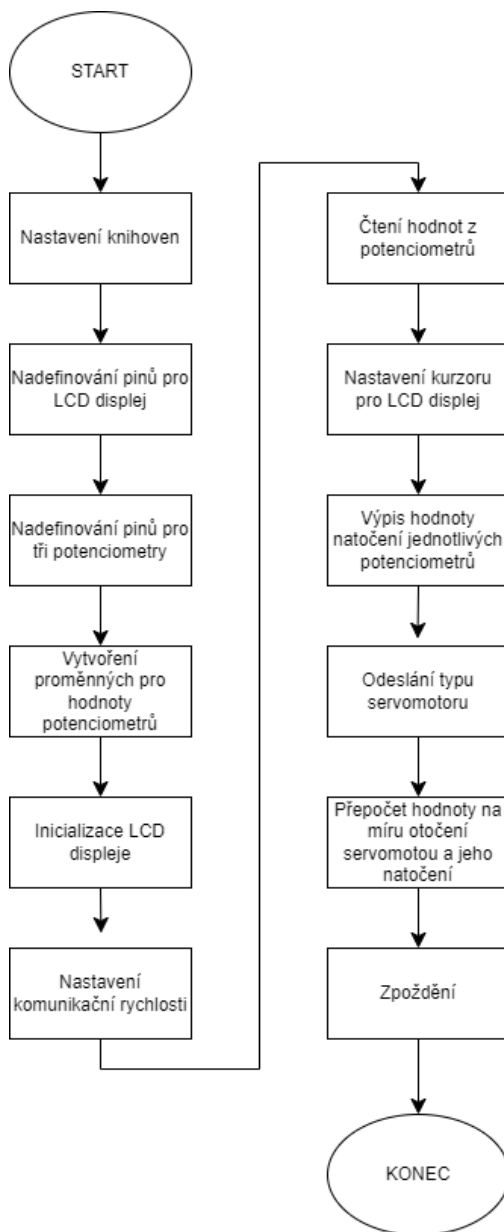
Řídicí program koncového efektoru, program rukavice je obdobně strukturován jako tomu bylo u předchozích popisovaných programů. Nejprve je zapotřebí inicializovat potřebné knihovny, které jsou již součástí Arduino IDE a pomáhají uživateli k jednoduššímu přístupu zapojených periférií. Knihovna SoftwareSerial.h byla i zde také v průběhu realizace implementována, ale v konečném řešení již není potřeba. Důležitou implementovanou knihovnou je knihovna LiquidCrystal.h, která slouží k ovládání LCD displeje, umožňuje parametrizaci a zobrazování zvoleného textu na různé typy LCD displejích.

Zde bylo také nejprve potřeba nadefinovat potřebné piny a proměnné pro jednotlivé periferie, kterými disponuje zapojení řídicí rukavice. Jak je patrné ze zapojení řídicí rukavice, LCD displej je zapojený bez použití převodníku a tak je třeba nadefinovat piny pro RS, Enable a čtyři datové piny D4, D5, D6 a D7. Následně jsou nadefinovány analogové piny pro připojení všech tří potenciometrů, které poskytují data pro ovládání servomotorů. A následně definování proměnných, které uchovávají datovou hodnotu jednotlivých potenciometrů. Ve funkci setup() je provedena pak potřebná inicializace LCD displeje. V ní se nastavuje komunikace a rozměry displeje, v tomto případě se jedná o displej 16x2 což znamená 16 znaků a dva řádky. Dále je potřeba inicializovat stejně jako u slave programu rychlost sériové komunikace, která i zde musí být shodná s konfigurací Bluetooth modulu HC-05 a se slave programem.

V hlavní smyčce loop() je řešeno zejména čtení analogových hodnot ze všech tří potenciometrů a ukládání do nadefinované proměnné. Následně je řešeno nastavení počátečního kurzoru na displeji pro každý řádek LCD displeje. Po nastavení kurzoru je poté vypisován aktuální stav natočení potenciometrů jednotlivých potenciometrů. Dále se ve struktuře programu řeší mapování hodnot z potenciometrů, které se převádí na rozsah 0 až 180, který je úměrný míře natočení servomotoru. Po převedení hodnot potenciometrů na hodnoty pro natočení servomotorů přichází část k odeslání. Odesílání dvou hodnot bylo již zmíněno v programu slave. Za účelem správného přiřazení hodnot potenciometru a servomotoru je zapotřebí posílat dvě hodnoty, kde jedna identifikuje servomotor a druhá

hodnota míru jeho otočení. Na konci každé smyčky programu je implementována opět krátká pauze, která lehce zpomaluje odesílání dat a nechává systému delší čas na zpracování obou hodnot.

Master program tak není jen čtečka dat, ale aktivně zprostředkovává interakci mezi operátorem a konstrukcí efektoru. Klíčovým prvkem tak byla komunikace s externím zařízením, rychlý přenos dat a přesné ovládání mechanických prvků.



Obr. 9.3 – Vývojový diagram programu řídicí rukavice

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zhotovit návrh a následnou realizaci koncového efektoru a jeho řídicí externí jednotku. Díky rešerši a analýze podobných konstrukčních řešení bylo možné zprvu určit typ koncového efektoru a byl zvolen tříprstý koncový efektor. Následně probíhalo série návrhů ve 3D programu samotné konstrukce koncového efektoru. Koncový efektor prošel několika návrhy také v oblasti zpětné tažné síly jednotlivých prstů, která byla realizována nejdříve pomocí kovových pružin, a poté následně přepracována s použitím pružného materiálu, pryže. Návrh byl několikrát modifikován, zejména část pro vedení táhel v jednotlivých prstech, kde byla řešena správná mechanika ohybu jednotlivých prstů. Zde vznikaly v průběhu testování problémy se samotným ohybem a vysokou namáhavostí servomotorů. Budoucí úpravy konstrukce by se zajisté měly týkat oblasti servomotorů a jejich táhel vedených skrz jednotlivé prsty efektoru, úprava konstrukce a zvolení vhodnějšího převodu ohybu prstů za účelem větší plynulosti ohybu a menšího namáhání motorů.

Druhá část konstrukce, řídicí rukavice, též prošla velkou sérií konstrukčních úprav. Týkaly se zejména v zaručení správného převodu ohybu prstů operátora a kvalitního natočení potenciometrů. Poslední a finální varianta vyhovovala požadavkům na fungování. Předchozí varianty konstrukce se lišily zejména v různých konstrukčních variantách jak převést ohyb prstu na potenciometr. Realizace pomocí různých táhel, ohybových senzorů a pružin nepřinášely takové výsledky jako konečná realizace. Budoucí úpravy by se ale mohly týkat ve vyzkoušení různých kombinací těchto řešení, a to zejména v kombinaci stávající konstrukce a konstrukce s použitím pružin, kde by byly pružiny implementovány na mechanické táhla, a tím se zaručilo pohodlnější ohýbání prstů pro operátora.

Vytvoření řídicího programu slave pro koncový efektor a master pro řídicí rukavici bylo řešeno v programovacím prostředí Arduino IDE, kde díky velkému množství komunitních knihoven a podpory byly některé problematiky jednodušší. Problémy nastaly v implementaci Bluetooth modulu HC-05, při rané fázi nastavování a konfigurování bezdrátových modulů docházelo k problémům připojení k samotným modulům, následné ztrátě schopnosti se na sebe vzájemně připojit, samotné komunikace, a také ke správnému posílání dat v požadovaném formátu. Budoucí vylepšení by určitě zahrnovalo přestavbu na bezdrátový přesun dat pomocí Wifi nebo použití kvalitnějších elektronických komponentů.

## POUŽITÁ LITERATURA

- 3D tiskárna Original Prusa MK4*, [2023]. Online. In: Prusa Research by Josef Prusa.  
Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/original-prusa-mk4-2/>. [cit. 2024-04-21].
- Arduino Nano*, c2024. Online. In: Arduino.cc.  
Dostupné z: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>. [cit. 2024-05-14].
- Arduino® UNO R4 Minima*, c2024. Online. In: Arduino.  
Dostupné z: [https://store.arduino.cc/products/uno-r4-minima?\\_gl=1\\*\\_z7pzm2\\*\\_ga\\*MjA3MDYwODc3MS4xNjcwNjI1ODE1\\*\\_ga\\_NEXN8H46L5\\*MTcwMTYzNzg2MC41LjEuMTcwMTYzODAxNS4wLjAuMA..\\*\\_fplc\\*OFQ1V2FjaEhRNVdOcDZhbTVzckdBQUYyUyUyQlhQcGxDSkJZZHk4ZGw3VWUIMkjes2tZZ1IDMUwwUFVfck1QZ1RpdzJaWm5PUW91USUyRkg3dFYycFZ3R3VmeDdscEFwZfQIMkZ0WE9WTHZZNyUyQmNZd21WdVpTZ051YldPOXVFT1lxJTJCUXlnJTNEJTNE](https://store.arduino.cc/products/uno-r4-minima?_gl=1*_z7pzm2*_ga*MjA3MDYwODc3MS4xNjcwNjI1ODE1*_ga_NEXN8H46L5*MTcwMTYzNzg2MC41LjEuMTcwMTYzODAxNS4wLjAuMA..*_fplc*OFQ1V2FjaEhRNVdOcDZhbTVzckdBQUYyUyUyQlhQcGxDSkJZZHk4ZGw3VWUIMkjes2tZZ1IDMUwwUFVfck1QZ1RpdzJaWm5PUW91USUyRkg3dFYycFZ3R3VmeDdscEFwZfQIMkZ0WE9WTHZZNyUyQmNZd21WdVpTZ051YldPOXVFT1lxJTJCUXlnJTNEJTNE). [cit. 2024-04-21].
- Arduino® UNO R4 Minima: Product Reference Manual SKU: ABX00080*, [2023]. Online. Arduino. 14.05.2024.  
Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/ABX00080-datasheet.pdf>. [cit. 2024-04-21].
- BERNIER, Catherin, 05 July 2014n. 1. *Magnetic Robot ...: Magnetic end effector types*. Online. In: Robotiq. 5 May 2016.  
Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/bid/65794/Magnetic-Robot-End-Effector-Top-5-Pros-and-Cons>. [cit. 2024-04-21].
- BERNIER, Catherine, 6 December 2021n. 1. *Robot Grippers and End Effectors: Uses, Benefits, and Cost Analysis: Any Known Challenges With End Effectors?* Online. In: HowToRobot Dostupné z: <https://howtorobot.com/expert-insight/robot-end-effectors> [cit. 2024-05-14]
- Bluetooth modul HC-05*, b. r.. Online. In: Drátek.cz. Eclipsera.  
Dostupné z: [https://dratek.cz/arduino/1005-bluetooth-modul-hc-05.html?\\_gl=1\\*\\_1ix5az8\\*\\_up\\*MQ..&gclid=CjwKCAjwz42xBhB9EiwA48pT7-L-5U19Ulc2dAvlxlqYmZk342oAP5jUmUEKKnKqs8xeyQSGkCQJBoCCaQQAvD\\_BwE](https://dratek.cz/arduino/1005-bluetooth-modul-hc-05.html?_gl=1*_1ix5az8*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjwz42xBhB9EiwA48pT7-L-5U19Ulc2dAvlxlqYmZk342oAP5jUmUEKKnKqs8xeyQSGkCQJBoCCaQQAvD_BwE). [cit. 2024-04-21].
- Bluetooth modul HC-05*, c2021. Online. In: Drátek.cz. Eclipsera.  
Dostupné z: [https://dratek.cz/docs/produkty/1/1401/1427822941.pdf?\\_gl=1\\*\\_294am\\*\\_up\\*MQ..&gclid=Cj0KCQjwiMmwBhDmARIsABeQ7xSQ6\\_Y-vSfLVoHtv5GDy6kYIK7bRZP\\_IEHBJUbjxAizTjpm-MIDNtUaAn3GEALw\\_wcB](https://dratek.cz/docs/produkty/1/1401/1427822941.pdf?_gl=1*_294am*_up*MQ..&gclid=Cj0KCQjwiMmwBhDmARIsABeQ7xSQ6_Y-vSfLVoHtv5GDy6kYIK7bRZP_IEHBJUbjxAizTjpm-MIDNtUaAn3GEALw_wcB). [cit. 2024-04-21].
- Bluetooth® Wireless Technology*, c2024. Online. Bluetooth.  
Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>. [cit. 2024-04-21].
- BOLIC, Miodrag, 2023. *Pulse width modulation: Pervasive Cardiovascular and Respiratory Monitoring Devices*. Online. ScienceDirect.  
Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pulse-width-modulation>. [cit. 2024-04-22].

- Brushed DC Motor*, [2021]. Online. In: IQSdirectory.  
Dostupné z: <https://www.iqsdirectory.com/articles/electric-motor/dc-motors.html>.  
[cit. 2024-05-16].
- ĎAĎO, Stanislav a KREIDL, Marcel, 1996. *Senzory a měřicí obvody*. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-01-01500-9.
- DDPC ...: Válce podle norem s odměřováním polohy DDPC*, c2024. Online. In: FESTO.  
Dostupné z: [https://www.festo.com/cz/cs/p/valce-podle-norem-s-odmerovanim-polohy-id\\_DDPC/?q=~%3AfestoSortOrderScored](https://www.festo.com/cz/cs/p/valce-podle-norem-s-odmerovanim-polohy-id_DDPC/?q=~%3AfestoSortOrderScored). [cit. 2024-04-21].
- How the Right Robotic End-Effector ...*, c2024. Online. In: Genesis-Systems. Dostupné z: <https://www.genesis-systems.com/blog/benefits-finding-right-robotic-end-effector>. [cit. 2024-04-21].
- CHVÁLA, Břetislav; MATIČKA, Robert a TALÁCKO, Jaroslav, 1990. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Praha: SNTL. ISBN isbn80-03-00361-x.
- IBRAHIM, Dogan, c2023. *Mastering the Arduino Uno R4*. Elektor. ISBN 978-3-89576-578-0.
- IIC I2C Modulový driver ...*, b. r.. Online. In: Drátek.cz.  
Dostupné z: [https://dratek.cz/arduino/1686-iic-i2c-modulovy-driver-servo-motoru-pro-arduino-pca9685-16-kanalu-12-bit-pwm.html?\\_gl=1\\*1e4ih7a\\*\\_up\\*MQ..&gclid=CjwKCAjwz42xBhB9EiwA48pT78oghgxTtvLNQ6iTr2PVcewfGuvILBtMND0\\_J-4HrQrfhGhZ7OczMRoC1LUQAvD\\_BwE](https://dratek.cz/arduino/1686-iic-i2c-modulovy-driver-servo-motoru-pro-arduino-pca9685-16-kanalu-12-bit-pwm.html?_gl=1*1e4ih7a*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjwz42xBhB9EiwA48pT78oghgxTtvLNQ6iTr2PVcewfGuvILBtMND0_J-4HrQrfhGhZ7OczMRoC1LUQAvD_BwE). [cit. 2024-04-21].
- JANČÍK, Luděk a Jiří ZÝMA, 2004. *Části a mechanismy strojů*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-01-02891-7.
- KLOSKE, Liza Wallach a Nick KLOSKE, 2017. *Začínáme s 3D tiskem*. Přeložil Jakub GONER. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-4876-1.
- KODNONGBUA, Milin; GOOD, Ian; LIPTON, Jeffrey a SCHULZ, Adriana, July 2022. Computational Design of Passive Grippers. Online. In: *Computational Design of Passive Grippers*. Washington: ACM Trans, s. 1.  
Dostupné z: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3528223.3530162>. [cit. 2024-04-17].
- KOLÍBAL, Zdeněk, 2016. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM. ISBN 978-80-214-4828-5.
- AUTODESK, 2009. *Libraries: arduino.zip*. 31.8.2009.  
Dostupné také z: [http://eagle.autodesk.com/eagle/libraries?utf8=√&q%5Btitle\\_or\\_author\\_or\\_description\\_cont%5D=arduino.zip&button=](http://eagle.autodesk.com/eagle/libraries?utf8=√&q%5Btitle_or_author_or_description_cont%5D=arduino.zip&button=).
- AUTODESK, 2016. *Libraries: cadsoft\_eagle\_arduino\_nano\_v3.0\_module.rar*. 23.01.2016. Dostupné také z: [http://eagle.autodesk.com/eagle/libraries?utf8=√&q%5Btitle\\_or\\_author\\_or\\_description\\_cont%5D=cadsoft\\_eagle\\_arduino\\_nano\\_v3.0\\_module.rar&button=](http://eagle.autodesk.com/eagle/libraries?utf8=√&q%5Btitle_or_author_or_description_cont%5D=cadsoft_eagle_arduino_nano_v3.0_module.rar&button=)

- Lineární potenciometr*, b. r.. Online. In: Drátek.cz.  
Dostupné z: [https://dratek.cz/arduino/7597-potenciometr-10k-ohm-linearni.html?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwz42xBhB9EiwA48pT7-L-5U19Ulc2dAvlxmlqhYmZk342oAP5jUmUEKnKqs8xeyQSGkCQJBoCCaQQAvD\\_BwE](https://dratek.cz/arduino/7597-potenciometr-10k-ohm-linearni.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwz42xBhB9EiwA48pT7-L-5U19Ulc2dAvlxmlqhYmZk342oAP5jUmUEKnKqs8xeyQSGkCQJBoCCaQQAvD_BwE). [cit. 2024-04-21].
- LIVINTI, Petru a GHANDOUR, Mazen, c2015. PWM Control of a DC Motor Used to Drive a Conveyor Belt. Online. *ScienceDirect*. Bacau: Elsevier, s. 1. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.371>. [cit. 2024-04-22].
- MATIČKA, Robert a Jaroslav TALÁCKO, 1991. *Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů. 2.*, přeprac. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury. ISBN 80-03-00567-1.
- MCMMASTER-CARR, b. r. *Fastening & Joining: Download CAD Models*. Knihovna. Dostupné také z: <https://www.mcmaster.com>.
- MENARD, Emilet, 2018. *Electronic Component Library for the University College Twente*. Online knihovna. Dostupné také z: <https://www.autodesk.com/community/gallery/project/130757/electronic-component-library-for-the-university-college-twente>. Knihovna s modelem servomotoru MG995.
- MICHALEC, Jiří, 1995. *Pružnost a pevnost I*. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN isbn80-01-01333-2.
- PARKER Hydraulic Motor*, c1994 - 2024. Online. In: Grainger. Dostupné z: <https://www.grainger.com/product/PARKER-Hydraulic-Motor-TF-30E837>. [cit. 2024-04-21].
- Pinout-NANO*, [2021]. Online. In: Arduino.cc. 30.06.2021. Dostupné z: [https://content.arduino.cc/assets/Pinout-NANO\\_latest.pdf](https://content.arduino.cc/assets/Pinout-NANO_latest.pdf). [cit. 2024-04-22].
- Potentiometer Connection ...*, [2023]. Online. In: ETechnoG. 12 December 2023. Dostupné z: <https://www.etechnog.com/2019/05/proper-potentiometer-connection-and.html>. [cit. 2024-04-21].
- RG2-FT – Inteligentní uchopovač: Pro robot s integrovaným snímačem síly/kroučícího momentu a přiblížení*, b. r.. Online. In: ONROBOT A/S. OnRobot. Dostupné z: [https://onrobot.com/cs/vyrobky/uchopovac-rg2-ft?\\_gl=1\\*\\_8njpv7\\*\\_ga\\*MTI2MDUxMzIyLjE2OTk2NjE3Nzg.\\*\\_up\\*MQ](https://onrobot.com/cs/vyrobky/uchopovac-rg2-ft?_gl=1*_8njpv7*_ga*MTI2MDUxMzIyLjE2OTk2NjE3Nzg.*_up*MQ). [cit. 2024-04-17].
- Servo MG996R ...*, b. r.. Online. In: Drátek.cz. Dostupné z: [https://dratek.cz/arduino/1694-servo-motor-s-kovovymi-prevody-mg996r-pro-rc-modely.html?\\_gl=1\\*\\_i4qxie\\*\\_up\\*MQ..&gclid=CjwKCAjwz42xBhB9EiwA48pT78oghgxTtvLNQ6iTr2PVcewfGuvILBtMNDQ\\_J-4HrQrfhGhZ7OczMRoC1LUQAvD\\_BwE](https://dratek.cz/arduino/1694-servo-motor-s-kovovymi-prevody-mg996r-pro-rc-modely.html?_gl=1*_i4qxie*_up*MQ..&gclid=CjwKCAjwz42xBhB9EiwA48pT78oghgxTtvLNQ6iTr2PVcewfGuvILBtMNDQ_J-4HrQrfhGhZ7OczMRoC1LUQAvD_BwE). [cit. 2024-04-21].
- Servo motor Bosch ...*, c2008-2024. Online. In: Industry Pilot. Dostupné z: <https://industry-pilot.com/en/servo-motor-bosch-sd-b3031030-14000-servomotor-sn000147/p166525>. [cit. 2024-04-21].

- Servomotor mikro - 180°*, b. r.. Online. In: Drátek.cz.  
Dostupné z: [https://dratek.cz/arduino/897-eses-servo-motor-9g.html?\\_gl=1\\*\\_k65mqk\\*\\_up\\*MQ\\_&gclid=CjwKCAjwz42xBhB9EiwA48pT78oghgxTtvLNQ6iTr2PVcewfGuvILBtMNDO\\_J-4HrQrfhGhZ7OczMRoC1LUQAvD\\_BwE](https://dratek.cz/arduino/897-eses-servo-motor-9g.html?_gl=1*_k65mqk*_up*MQ_&gclid=CjwKCAjwz42xBhB9EiwA48pT78oghgxTtvLNQ6iTr2PVcewfGuvILBtMNDO_J-4HrQrfhGhZ7OczMRoC1LUQAvD_BwE). [cit. 2024-04-21].
- SICILIANO, Bruno, c2009. *Robotics: modelling, planning and control*. London: Springer. Advanced textbooks in control and signal processing. ISBN 978-1-84628-641-4.
- SKAŘUPA, Jiří, [2008]. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Online. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita. ISBN 978-80-248-1522-0. [cit. 2024-04-21].
- STEJSKAL, Vladimír, Jiří BŘEZINA a Jiří KNĚZŮ, 1992. *Mechanika 1*. Praha: ČVUT. ISBN 80-01-00895-9.
- UHLÍŘ, Ivan, 2007. *Elektrické stroje a pohony*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT. ISBN 978-80-01-03730-0.
- VG10 – ... podtlakový uchopovač*, b. r.. Online. In: ONROBOT A/S. OnRobot.  
Dostupné z: [https://onrobot.com/cs/vyrobky/elektricky-podtlakovy-uchopovac-vg10?\\_gl=1\\*s6nlaw\\*\\_ga\\*MTQzNjA3MDc0OS4xNjk5NjYzMjE0\\*\\_up\\*MQ](https://onrobot.com/cs/vyrobky/elektricky-podtlakovy-uchopovac-vg10?_gl=1*s6nlaw*_ga*MTQzNjA3MDc0OS4xNjk5NjYzMjE0*_up*MQ). [cit. 2024-04-21].
- VODA, Zbyšek, 2015. *Průvodce světem Arduina*. Bučovice: Martin Stríž. ISBN 978-80-87106-90-7.
- What Is Bluetooth® Technology?*, b. r.. Online. Intel.  
Dostupné z: <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/docs/wireless/what-is-bluetooth.html>. [cit. 2024-04-21].

## **PŘÍLOHY**

Příloha A – CD

Příloha B – Uživatelská příručka

Příloha C – Technická dokumentace



**Příloha k diplomové práci**

Koncový efektor s externím řízením

Bc. Michal Šimon

**CD**

## **OBSAH**

- 1 Text diplomové práce ve formátu PDF.
- 2 Uživatelská příručka ve formátu PDF.
- 3 Technická dokumentace ve formátu PDF.
- 4 Řídicí program obou soustav.
- 5 3D modely konstrukce.
- 6 Schémata zapojení.
- 7 Výpočty v programu MATLAB.

**Příloha k diplomové práci**

Koncový efektor s externím řízením

Bc. Michal Šimon

**UŽIVATELSKÁ PŘÍRUČKA**

Uživatelská příručka pro koncový efektor a řídicí rukavici

## **OBSAH**

	Úvod .....	3
1	Požadavky na efektor a řídicí rukavici .....	4
1.1	Požadavky na HW .....	4
1.2	Požadavky na SW .....	4
2	Uvedení do provozu.....	5
3	Ochrana zdraví a zařízení .....	5
	Závěr.....	6

## ÚVOD

Uživatelská příručka popisuje jednotlivé body, které je potřeba splnit a dodržovat při správné manipulaci s řídicí rukavicí a koncovým efektozem. Právě proto je určena pro techniky, kteří se budou podílet na instalaci a provozu obou struktur při testování a manipulaci s objekty.

# 1 POŽADAVKY NA EFEKTOR A ŘÍDICÍ RUKAVICI

Konstrukční požadavky na efektor se týkají zejména v oblasti přesnosti ohybu, kde je cíleno na minimální odchylky, následně na úchopovou sílu, kterou efektor disponuje. U řídicí rukavice je to pak komfort při manipulaci a ovládání, kvalitní přenos signálu a přepočítání míry ohybu prstu na hodnotu potenciometru. Celkově je od obou konstrukcí vyžadována vyšší tuhost a kvalita využitého materiálu včetně jednotlivých elektronických prvků.

## 1.1 POŽADAVKY NA HW

Konstrukce koncového efektoru disponuje řídicí deskou Arduino UNO, která je uložena v podstavci celkové konstrukci. Zde se nachází také Bluetooth modul HC-05 připojení k řídicí desce. Následně je zde uložen také servomotor driver, který je propojovacím modulem mezi řídicí deskou a 3x servomotorem ve vrchní části efektoru. Součástí HW jsou také prvky potřebné k napájení celé soustavy mezi, které patří konektor pro připojení 9 V pro mikrokontroler a tlačítko po zpuštění napájení 5 V do servomotor driveru.

Řídicí rukavice je opatřena řídicí deskou Arduino Nano, následně je vybavena 3x potenciometry pro vyhodnocování ohybu prstů operátora a bezdrátovým komunikačním modulem HC-05. Tato celá soustava je napájena z externí 9 V baterie napojené na mikrokontroler Arduino Nano.

## 1.2 POŽADAVKY NA SW

Softwarové požadavky, vybavení obou konstrukcí, je realizováno v podobě dvou programů. Každá konstrukce disponuje svým vlastním programem, označeným jako master a slave, vytvořeném v prostředí Arduino IDE.

## 2 UVEDENÍ DO PROVOZU

Koncový efektor s řídicí rukavicí musí být před uvedením do provozu důkladně zkontrolován. Kontrola by měla probíhat nejprve v prohlídce konstrukce za účelem minimalizace zničení při ohybu. Také by mělo být zkontrolováno operátorem správnost zapojení všech periférií aby bylo zabráněno jejich poškození.

Po těchto kontrolách připojíme koncový efektor do sítě pomocí konektoru umístěným na podstavci a následně přepneme přepínač do zapnuté polohy (indikace LED diody signalizuje připojené napájení). Řídicí rukavicí si operátor nasadí na levou ruku a pevně, pomocí popruhů, připevní ke své ruce a zapne napájení na baterii. Po zapnutí napájení obou konstrukcí dojde ke spárování Bluetooth modulů (operátor vidí změnu intervalu blikání LED diody na modulu umístěném na vrchní části rukavice). Po spárování jsou obě konstrukce připravené k jejich následnému používání. Pokud by nedocházelo delší dobu ke spárování je nutné připojit na obou modulech EN pin a vstoupit do konfiguračního módu a provést znovu celou konfiguraci obou modulů a jejich vzájemného spárování.

V případě, že bylo s efektozem manipulováno, přemíst'ován nebo byla prováděna konstrukční úprava je doporučeno zkontrolovat lanka jednotlivých prstů, případně provést kalibraci celého efektoru.

## 3 OCHRANA ZDRAVÍ A ZAŘÍZENÍ

Obě konstrukce pracují s relativně nízkým napětím a to do 9 V. I v tomto případě je ale důležité dodržovat bezpečnostní postupy. Veškeré periferie jsou zapájené a ochráněné izolací, i přesto je dobré zkontrolovat a ujistit se, že nikde není porušená izolace a vše je chráněné před dotykem. Toto by mělo být doprovázeno pravidelnou kontrolou obou konstrukcí po dobu provozu zařízení. Při manipulaci s konstrukcemi nebo elektronickými součástkami vždy musí být soustava odpojena od všech napájení.

Efektor i řídicí rukavice má mnoho otevřených mechanických částí, které mohou představovat riziko zachycení nebo jiného zranění. Je nutné dbát zvýšené pozornosti, ujistit se, že všichni operátoři jsou proškolení v oblasti bezpečnosti a manipulace se zařízením a v celkovém provozu je dostatečné množství varovných štítků s potenciálními riziky.

Ochrana obou zařízení je tak zajištěna, jak ze strany obsluhy, programově vhodně nastavenými parametry (přenosová rychlost, PWM), zvolenou elektronikou a její přirozenou ochranou (napájení přes trafo, pojistka), správnou instalací elektroniky a jejím chlazením.

## **ZÁVĚR**

Tato příloha slouží jako stručná uživatelská příručka, která byla vytvořena za účelem rychlého seznámení operátora s konstrukcí koncového efektoru a řídicí rukavice. Byla popsána problematika požadavků na HW a SW obou konstrukcí, základní instrukce pro správné uvedení do provozu a přehled bezpečnostních opatření jak z pohledu operátora tak samotné konstrukce.



**Příloha k diplomové práci**

Koncový efektor s externím řízením

Bc. Michal Šimon

**TECHNICKÁ DOKUMENTACE**

Technická dokumentace efektoru a řídicí rukavice

## **OBSAH**

	Seznam ilustrací.....	3
	Úvod .....	5
1	Technická dokumentace efektoru .....	6
2	Technická dokumentace řídicí rukavice .....	15
	Závěr .....	27

## SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Otevřený efektor .....	14
Obr. 1.2 – Uzavřený efektor.....	14
Obr. 2.1 – Rukavice s otevřenou rukou .....	26
Obr. 2.1 – Rukavice s uzavřenou rukou.....	26

## **SEZNAM TABULEK**

Tab. 1.1 – Seznam komponentů efektoru.....	6
Tab. 2.1 – Seznam komponentů pro řídicí rukavici .....	15

## ÚVOD

Technická dokumentace poskytuje celkový pohled na jednotlivé konstrukční části a jejich uspořádání, které jsou klíčové pro funkci koncového efektoru a řídicí rukavice. V technické dokumentaci se nachází okótované modely jednotlivých částí komponentů efektoru a řídicí rukavice, celkové zobrazení obou konstrukcí a přehled montážních a elektronických součástí.

# 1 TECHNICKÁ DOKUMENTACE EFEKTORU

V této kapitole je kompletní výkresová dokumentace všech konstrukčních částí koncového efektoru. Je důležité brát v potaz lehkou míru tolerance jednotlivých hodnot, které jsou uvedeny jako rozměry daných komponentů. Při samotném tisku se mohou hodnoty lišit kvůli tiskové toleranci 3D tiskárny.

V následující tabulce je uveden spojovací a montážní materiál a všechny elektronické prvky, které jsou potřeba na sestavení koncového efektoru.

Tab. 1.1 – Seznam komponentů efektoru

KATEGORIE	POPIS	MNOŽSTVÍ
Spojovací materiál	Závitové vložky M3	11 ks
	Kovový čep	6 ks
	Šroub s válcovou hlavou. – M3, 8 mm	15 ks
	Šroub s válcovou hlavou – M3, 5 mm	3 ks
	Šroub s válcovou hlavou – M3, 10 mm	5 ks
	Matice M3	12 ks
Elektronika	Řídicí deska Arduino	1 ks
	Servomotor driver	1 ks
	Bezdrátový komunikační modul	1 ks
	Servomotor	3 ks
	Napájecí konektor – JACK	1 ks
	5V baterie	1 ks
	Přepínač	1 ks
	Síťový adaptér 9 V	1 ks
	Skleněná pojistka 2 A	3 ks
Konstrukční materiál	Materiál ABS/ASA/PETG	350 g
	Lanko pro servomotor	3 ks
	Kabeláž + izolace pro napájené spoje	-

1

2

3

4

A

A

B

B

C

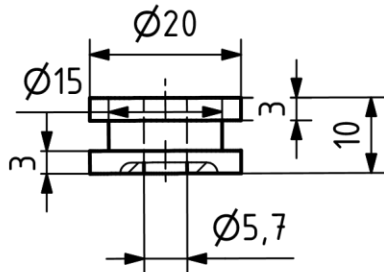
C

D

D

E

E



D

E

	Autor	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST	MĚŘÍTKO	
NAVRHL	MICHAL ŠIMON	21.04.2024	SCHVÁLIL		PROMÍTÁNÍ:  (ISO E)	1:1	
F	FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY		NÁZEV HŘÍDELOVÝ NÁSTAVEC				TYP:
	UNIVERZITA PARDUBICE		ČÍSLO VÝKRESU C-7 M-01				

1

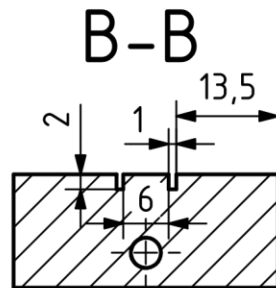
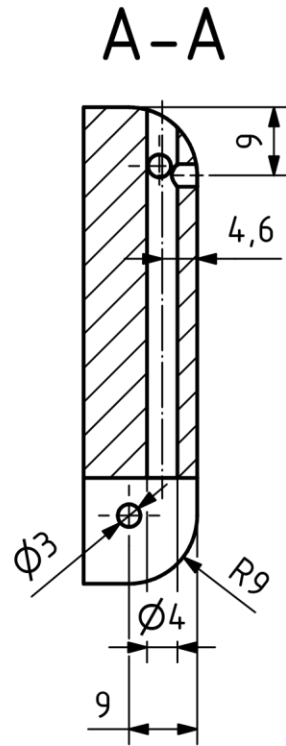
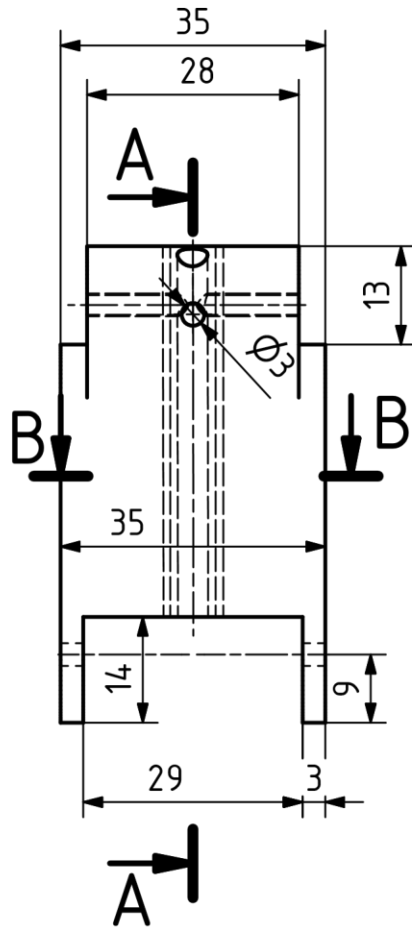
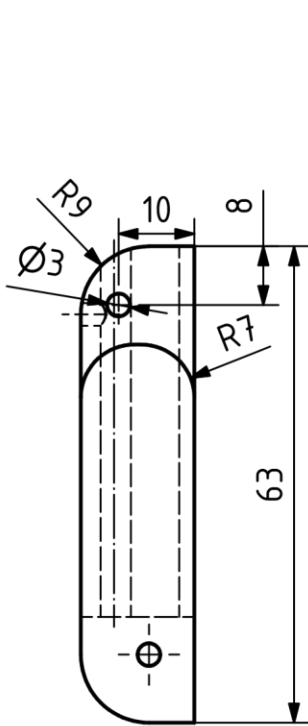
2

3

4

F

F



Autor		Datum		Podpis		HMOTNOST		MĚŘÍTKO	
NAVRHL MICHAL ŠIMON		21.04.2024		SCHVÁLIL		PROMÍTÁNÍ:  (ISO E)		1:1	
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY				UNIVERZITA PARDUBICE		NÁZEV SPODNÍ ČÁST PRSTU			
				ČÍSLO VÝKRESU		TYP:			
				C-8		M-02			



1

2

3

4

A

A

B

B

C

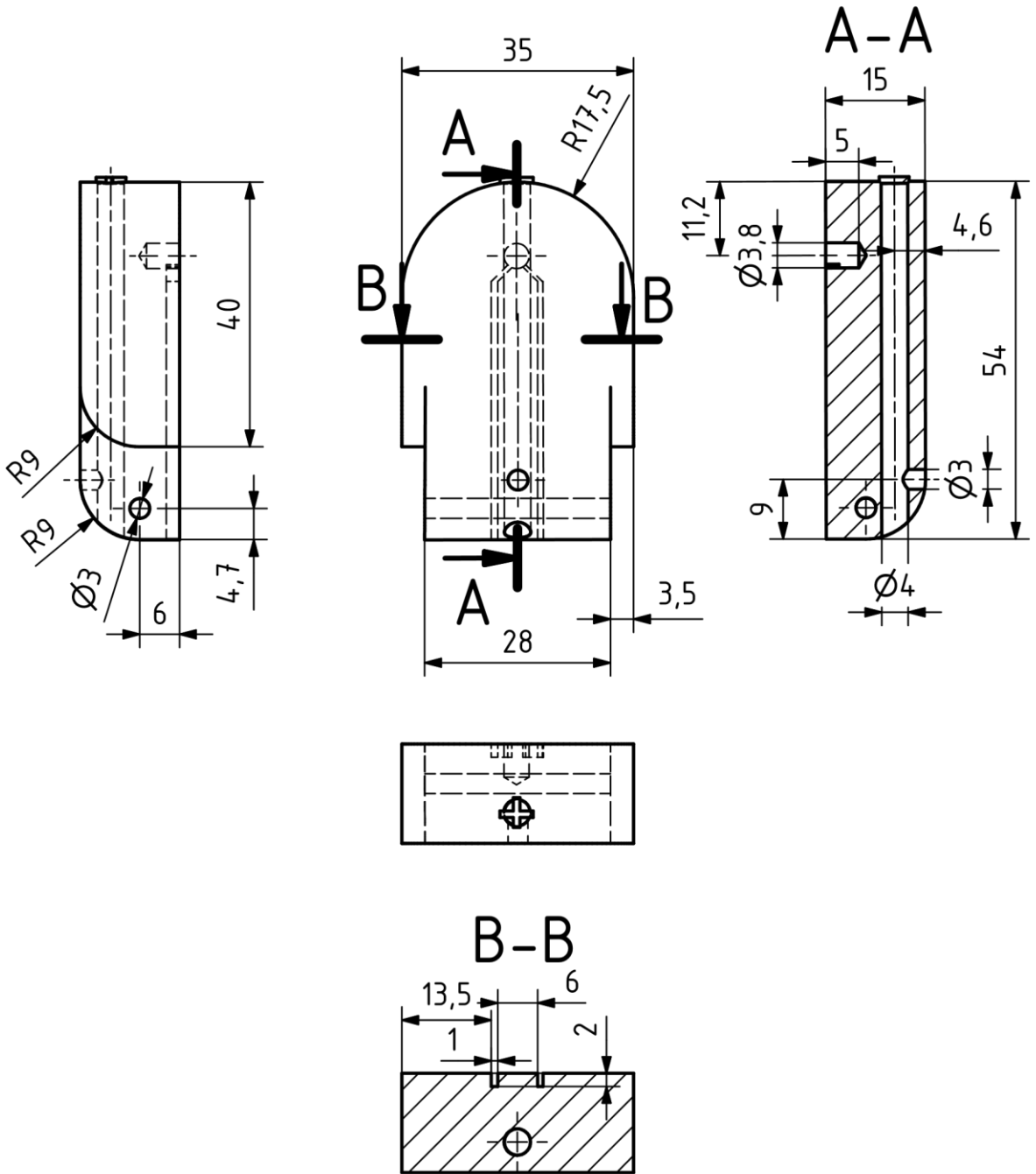
C

D

D

E

E



Autor		Datum		Podpis		Datum		HMOTNOST		MĚŘÍTKO	
NAVRHL MICHAL ŠIMON		21.04.2024		SCHVÁLIL				PROMÍTÁNÍ:  (ISO E)		1:1	
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY				UNIVERZITA PARDUBICE				NÁZEV: HORNÍ ČÁST PRSTU			
				ČÍSLO VÝKRESU: C-9				TYP: M-03			

1

2

3

4

F

F

1

2

3

4

A

A

B

B

C

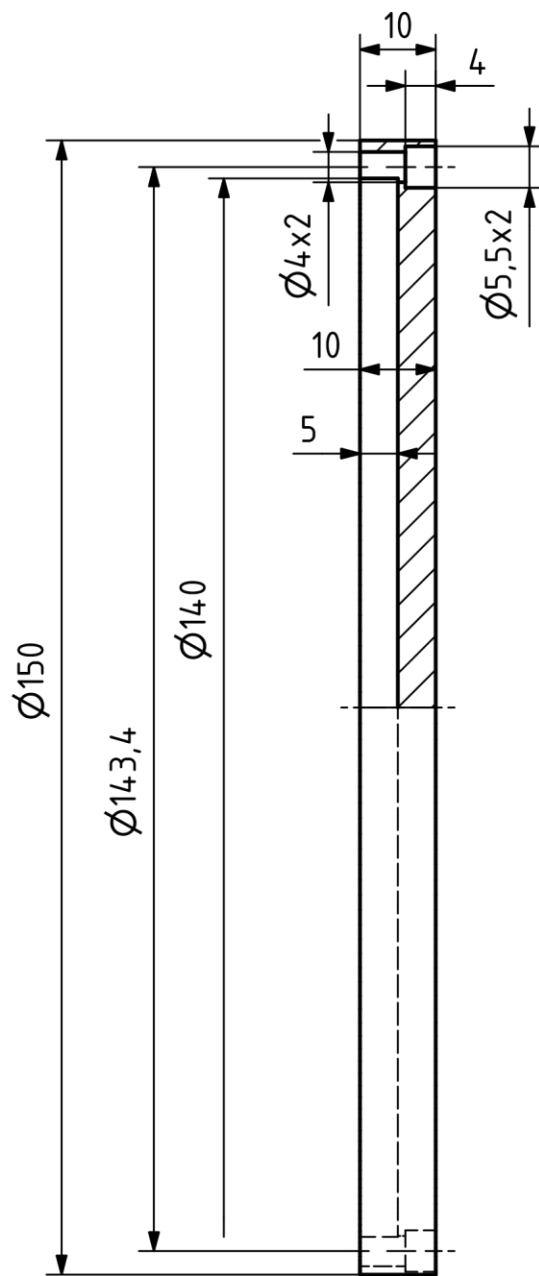
C

D

D

E

E



Autor		Datum		Podpis		Datum		HMOTNOST		MĚŘÍTKO	
NAVRHL MICHAL ŠIMON		21.04.2024		SCHVÁLIL				PROMÍTÁNÍ: $\text{ISO E}$		1:1	
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY				UNIVERZITA PARDUBICE				NÁZEV VÍKO RÁMU			
				ČÍSLO VÝKRESU C-10				TYP: M-04			

1

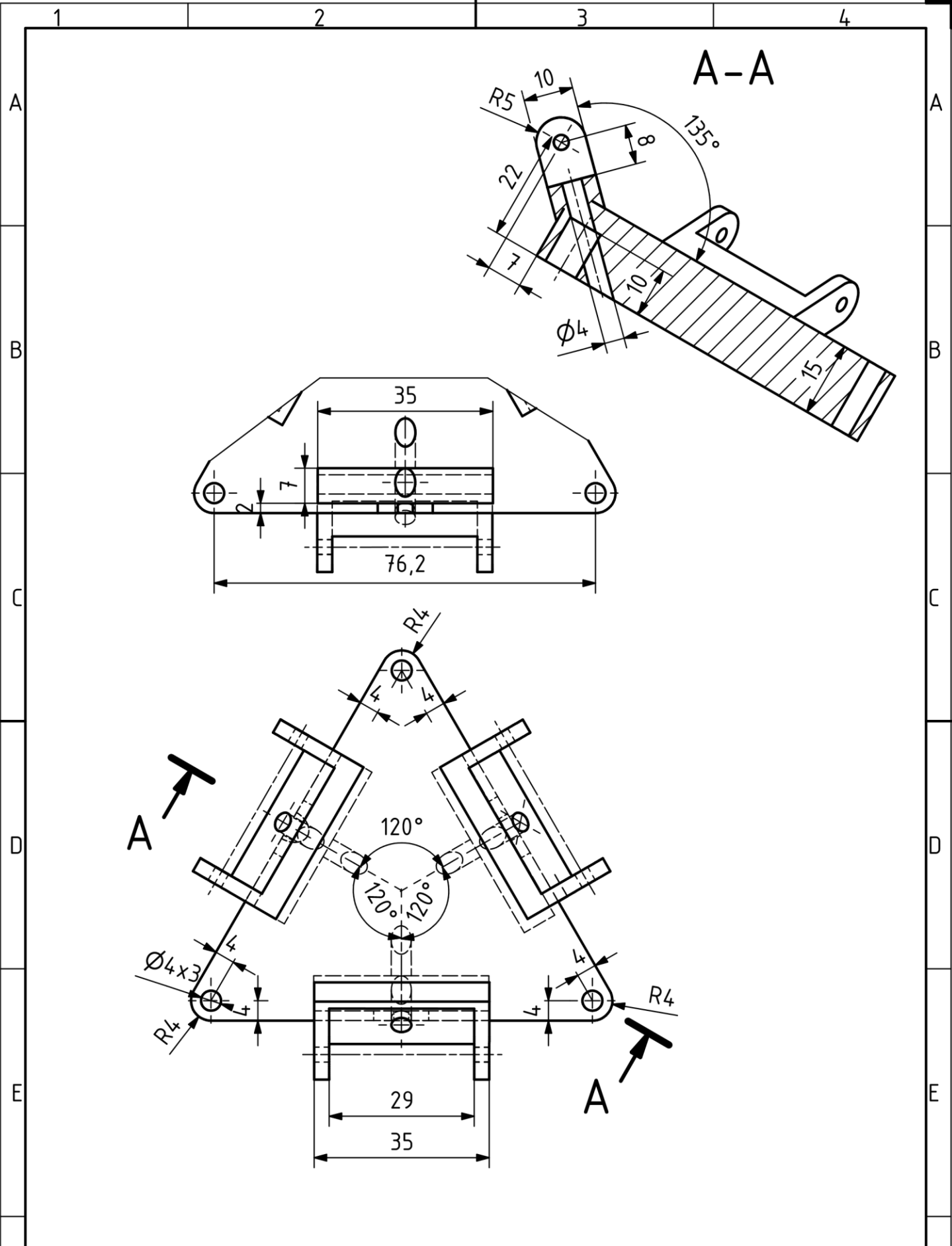
2

3

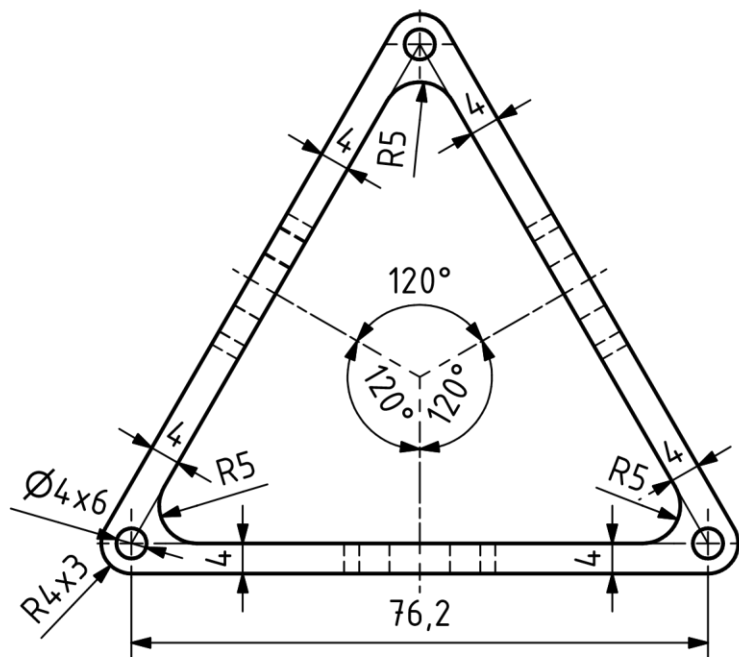
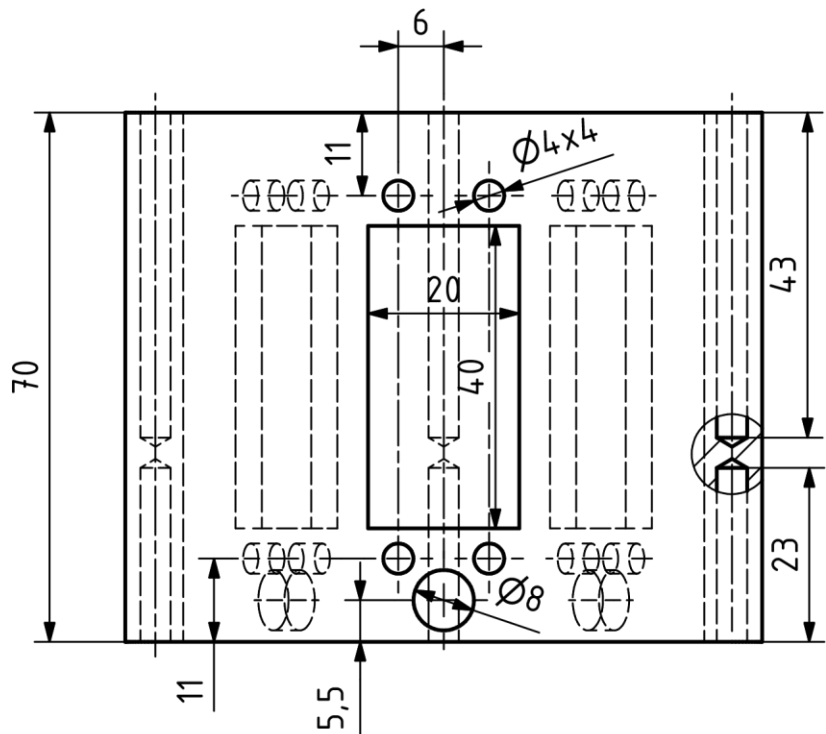
4

F

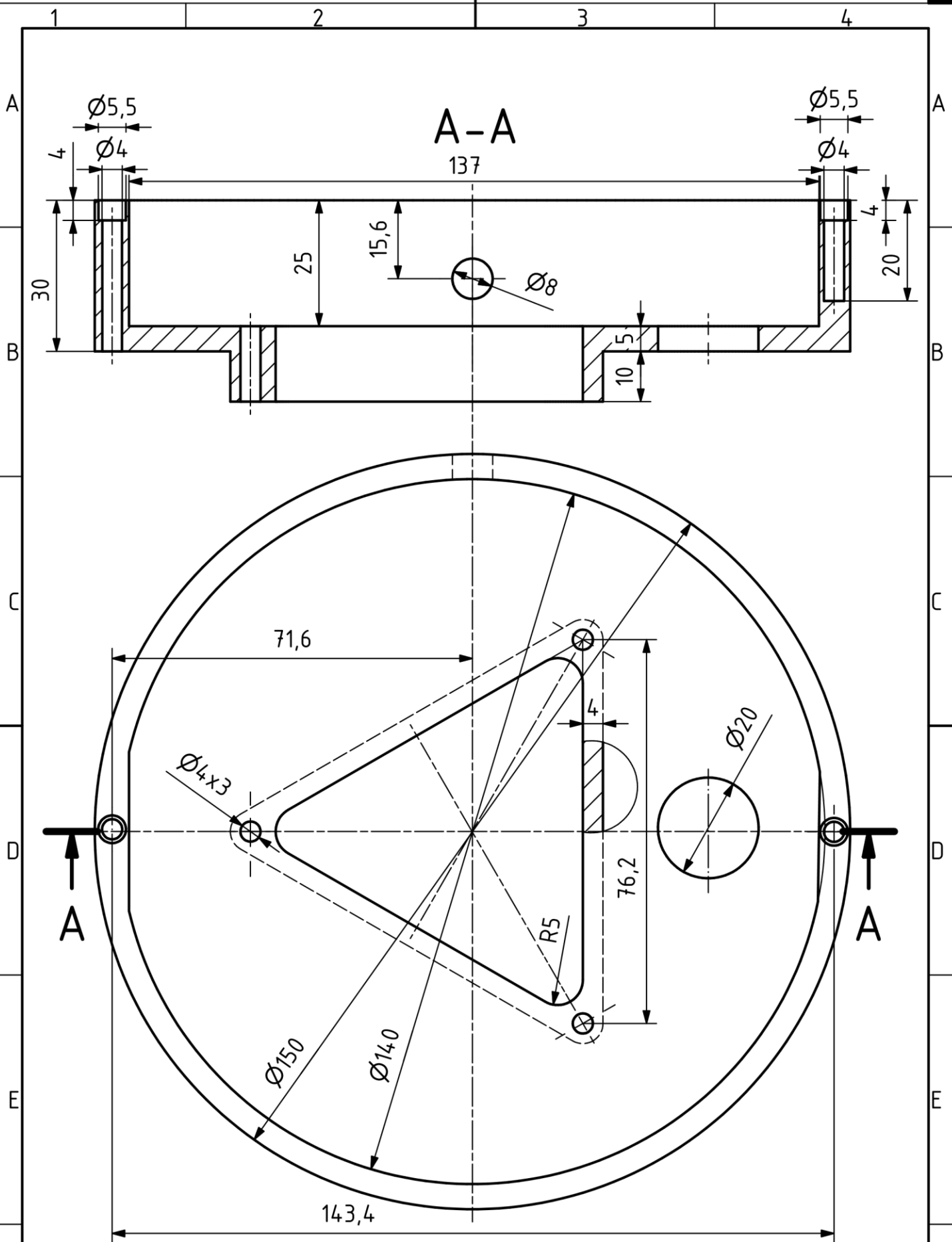
F



Autor		Datum		Podpis		Datum		HMOTNOST		MĚŘÍTKO	
NAVRHL MICHAL ŠIMON		21.04.2024		SCHVÁLIL				PROMÍTÁNÍ:  (ISO E)		1:1	
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY				UNIVERZITA PARDUBICE				NÁZEV RÁM KONSTRUKCE			
				ČÍSLO VÝKRESU C-11				M-05			
										TYP:	



Autor		Datum		Podpis		Datum		HMOTNOST		MĚŘÍTKO	
NAVRHL MICHAL ŠIMON		21.04.2024		SCHVÁLIL				PROMÍTÁNÍ:  (ISO E)		1:1	
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY				UNIVERZITA PARDUBICE				NÁZEV			
								DOMEK MOTORU			
				ČÍSLO VÝKRESU				TYP:			
				C-12				M-06			



Autor		Datum		Podpis		Datum		HMOTNOST		MĚŘÍTKO	
NAVRHL MICHAL ŠIMON		21.04.2024		SCHVÁLIL				PROMÍTÁNÍ: $\nabla$ $\oplus$ (ISO E)		1:1	
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY				UNIVERZITA PARDUBICE				NÁZEV: VÍKO RÁMU			
				ČÍSLO VÝKRESU: C-13				TYP: M-07			



Obr. 1.1 – Otevřený efektor



Obr. 1.2 – Uzavřený efektor

## 2 TECHNICKÁ DOKUMENTACE ŘÍDICÍ RUKAVICE

Část technické dokumentace, která se věnuje řídicí rukavici je řešena obdobně jako u koncového efektoru. I zde je zapotřebí vzít v potaz jistou míru tolerance v hodnotách, které jsou uvedeny v dokumentaci. Výsledné míry se budou lišit nastavením 3D tiskárny a zvoleným materiálem. Také je důležité zmínit, že je žádoucí úprava velikosti kloubu (R - 08) podle velikosti ruky operátora.

V následující tabulce je vypsán po spojovací materiál, elektronické prvky a konstrukční materiál pro sestavení řídicí rukavice.

Tab. 2.1 – Seznam komponentů pro řídicí rukavici

KATEGORIE	POPIS	MNOŽSTVÍ
Spojovací materiál	Šroub M5, 8 mm	3 ks
	Matice M5	3 ks
	Kovový čep, 4 x 5 mm	3 ks
	Šroub s válcovou hlavou, M3, 10 mm	2 ks
	Šroub s válcovou hlavou, M3, 5 mm	4 ks
	Matice M3	6 ks
Elektronika	Řídicí deska Arduino	1 ks
	Potenciometr	3 ks
	Bezdrátový komunikační modul	1 ks
	Patice pro řídicí desku	1 ks
	LCD displej	1 ks
	9V baterie	1 ks
Konstrukční materiál	Materiál PLA	300 g
	Stahovací pásky	10 ks
	Nylonový popruh	2x 200 mm
	Kabeláž + izolace pro napájené spoje	-

1 2 3 4

A

B

C

D

E

F

A

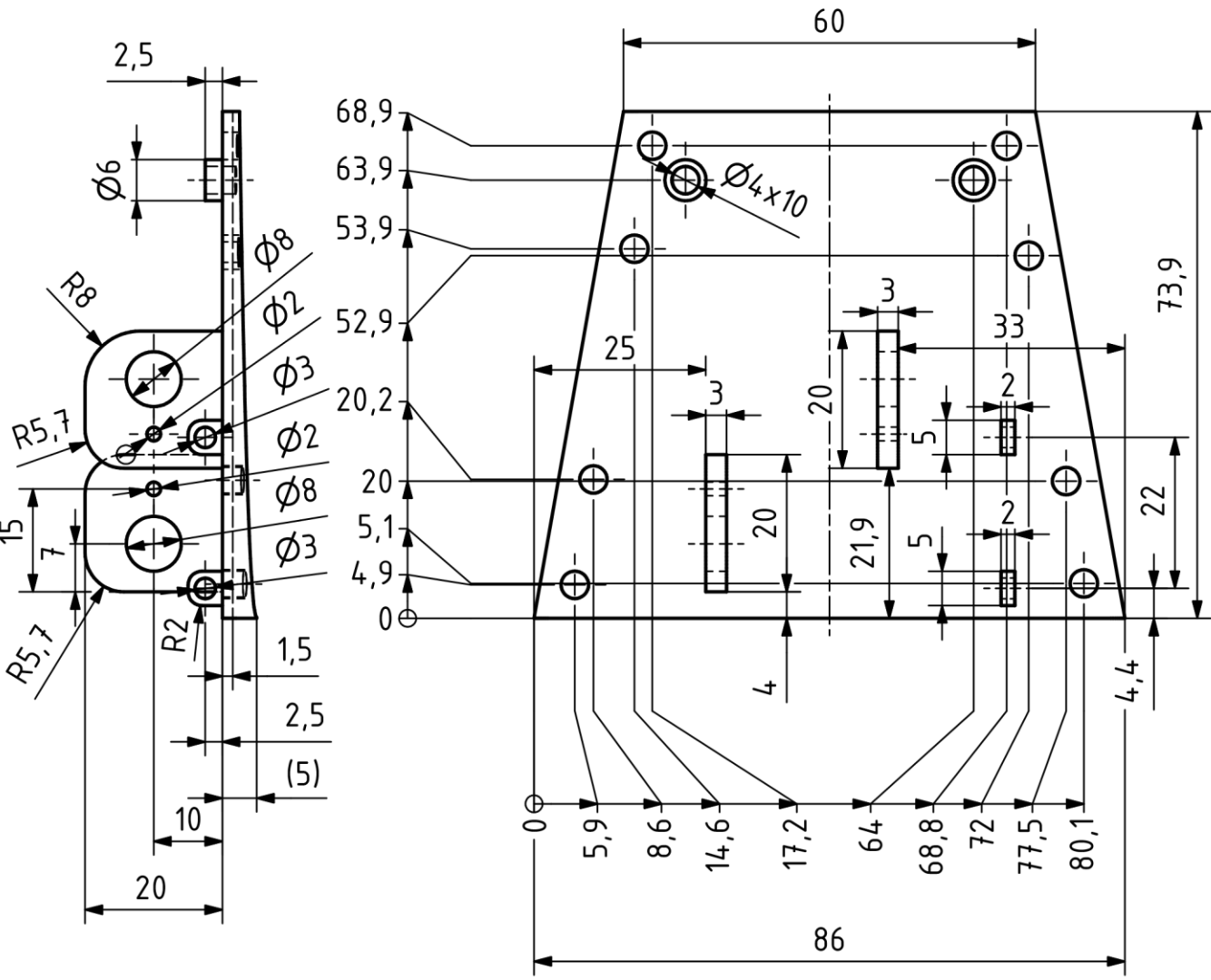
B

C

D

E

F



Autor		Datum		Podpis		HMOTNOST		MĚŘÍTKO	
NAVRHL MICHAL ŠIMON		12.04.2024		SCHVÁLIL		PROMÍTÁNÍ:  (ISO E)		1:1	
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY				UNIVERZITA PARDUBICE				NÁZEV	
								TYP:	
				ČÍSLO VÝKRESU				KONSTRUKCE DLANĚ	
				C-16				R-01	

1 2 3 4



1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

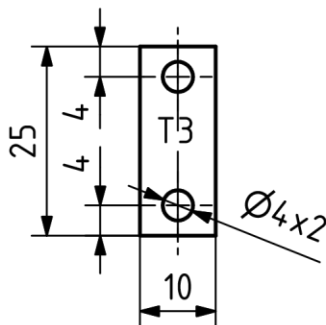
D

E

E

F

F



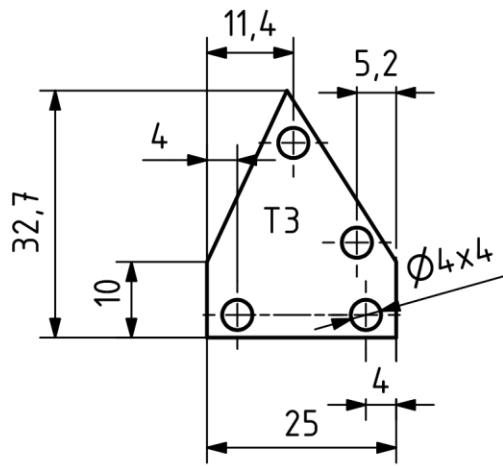
	Autor	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST	MĚŘÍTKO
NAVRHL	MICHAL ŠIMON	12.04.2024	SCHVÁLIL		PROMÍTÁNÍ: $\begin{matrix} \triangleleft \\ \oplus \end{matrix}$ (ISO E)	1:1
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY			UNIVERZITA PARDUBICE			
NAZEV			KONZOLA PRO POPRUH			
TYP:						
ČÍSLO VÝKRESU			C-17 R-02			

1

2

3

4



	Autor	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST	MĚŘÍTKO
NAVRHL	MICHAL ŠIMON	12.04.2024	SCHVÁLIL		PROMÍTÁNÍ: $\triangleleft \oplus$ (ISO E)	1:1
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY			UNIVERZITA PARDUBICE			
NÁZEV			TYP:			
KONZOLA PRO POTENCIOMETR						
ČÍSLO VÝKRESU						
C-18			R-03			

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

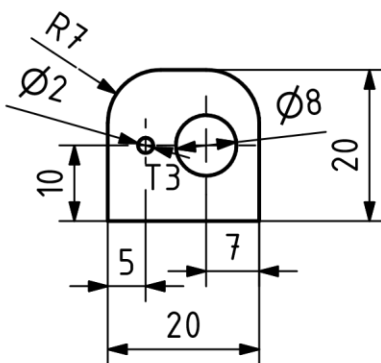
D

E

E

F

F



	Autor	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST	MĚŘÍTKO
NAVRHL	MICHAL ŠIMON	12.04.2024	SCHVÁLIL		PROMÍTÁNÍ:  (ISO E)	1:1
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY			UNIVERZITA PARDUBICE			
NÁZEV			KONZOLA PRO POTENCIOMETR			
TYP:						
ČÍSLO VÝKRESU			C-19 R-04			

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

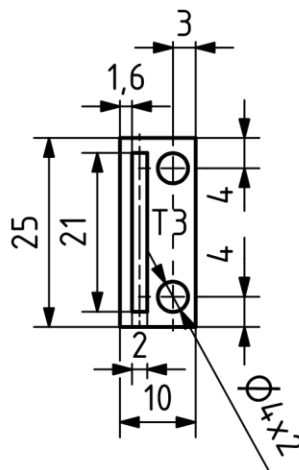
C

D

D

E

E



Autor		Datum		Podpis		Datum		HMOTNOST		MĚŘÍTKO	
NAVRHL	MICHAL ŠIMON	12.04.2024	SCHVÁLIL					PROMÍTÁNÍ: $\triangleleft \oplus$ (ISO E)			1:1
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY				UNIVERZITA PARDUBICE		NÁZEV KONZOLA PRO POPRUH				TYP:	
				ČÍSLO VÝKRESU		C-20		R-05			

1

2

3

4

F

F

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

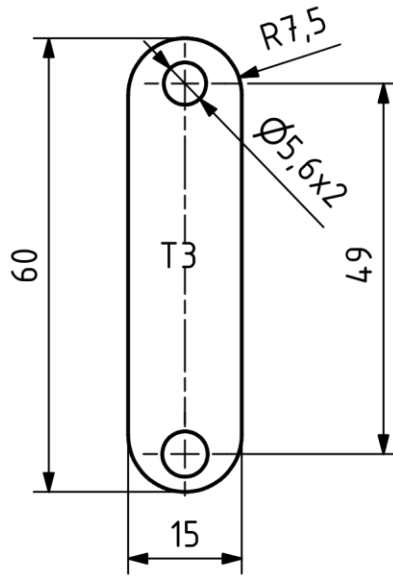
D


E

E

F

F



	Autor	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST	MĚŘÍTKO
NAVRHL	MICHAL ŠIMON	12.04.2024	SCHVÁLIL		PROMÍTÁNÍ:  (ISO E)	1:1
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY			UNIVERZITA PARDUBICE			
NAZEV			KLOUB			
ČÍSLO VÝKRESU			C-21 R-06			
TYP:						

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

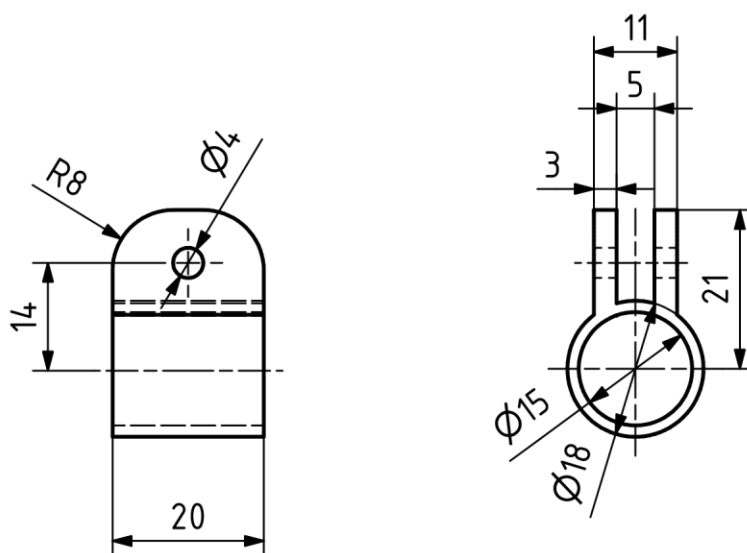
C

D

D

E

E



	Autor	Datum	Podpis	Datum	HMOTNOST	MĚŘÍTKO
NAVRHL	MICHAL ŠIMON	12.04.2024	SCHVÁLIL		PROMÍTÁNÍ: $\begin{matrix} \text{ISO} \\ \text{E} \end{matrix}$	1:1
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY			NÁZEV NÁPRSTEK MALÝ			
UNIVERZITA PARDUBICE			TYP:			
ČÍSLO VÝKRESU			C-22 R-07			

1

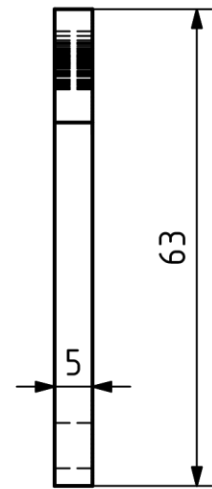
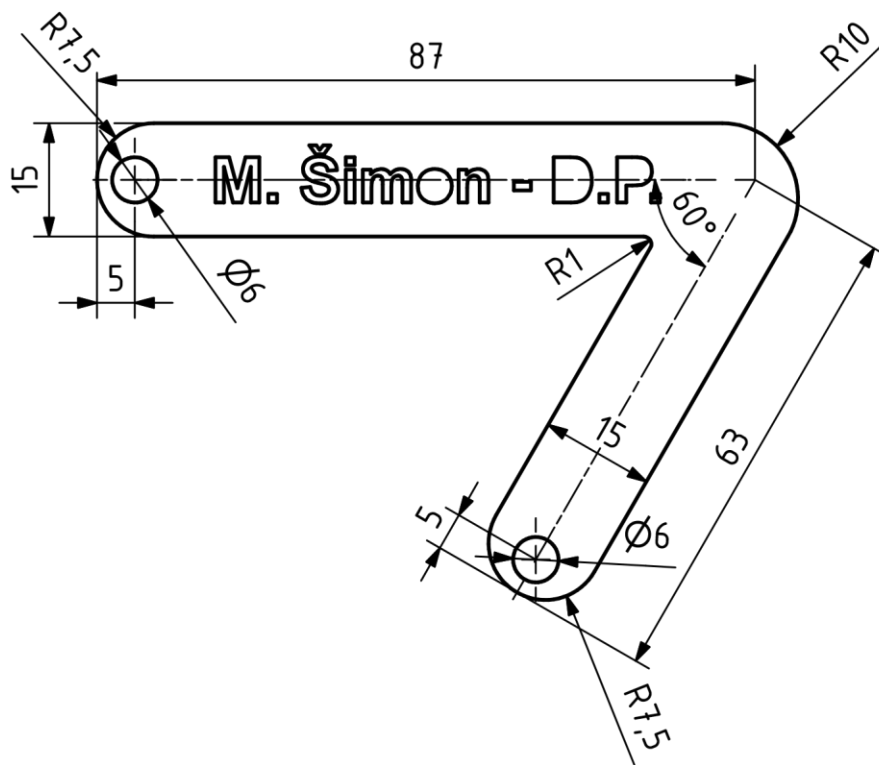
2


3

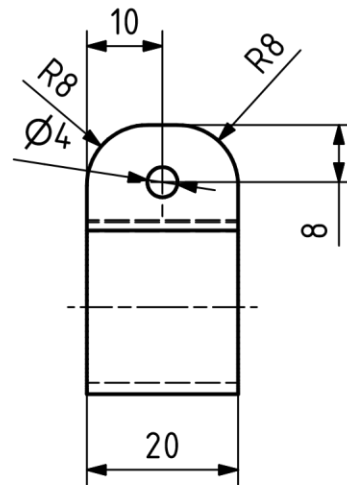
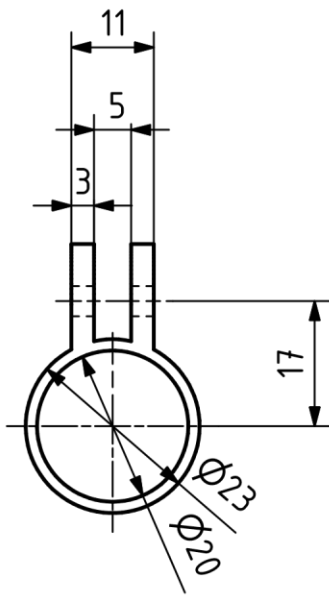
4

F

F

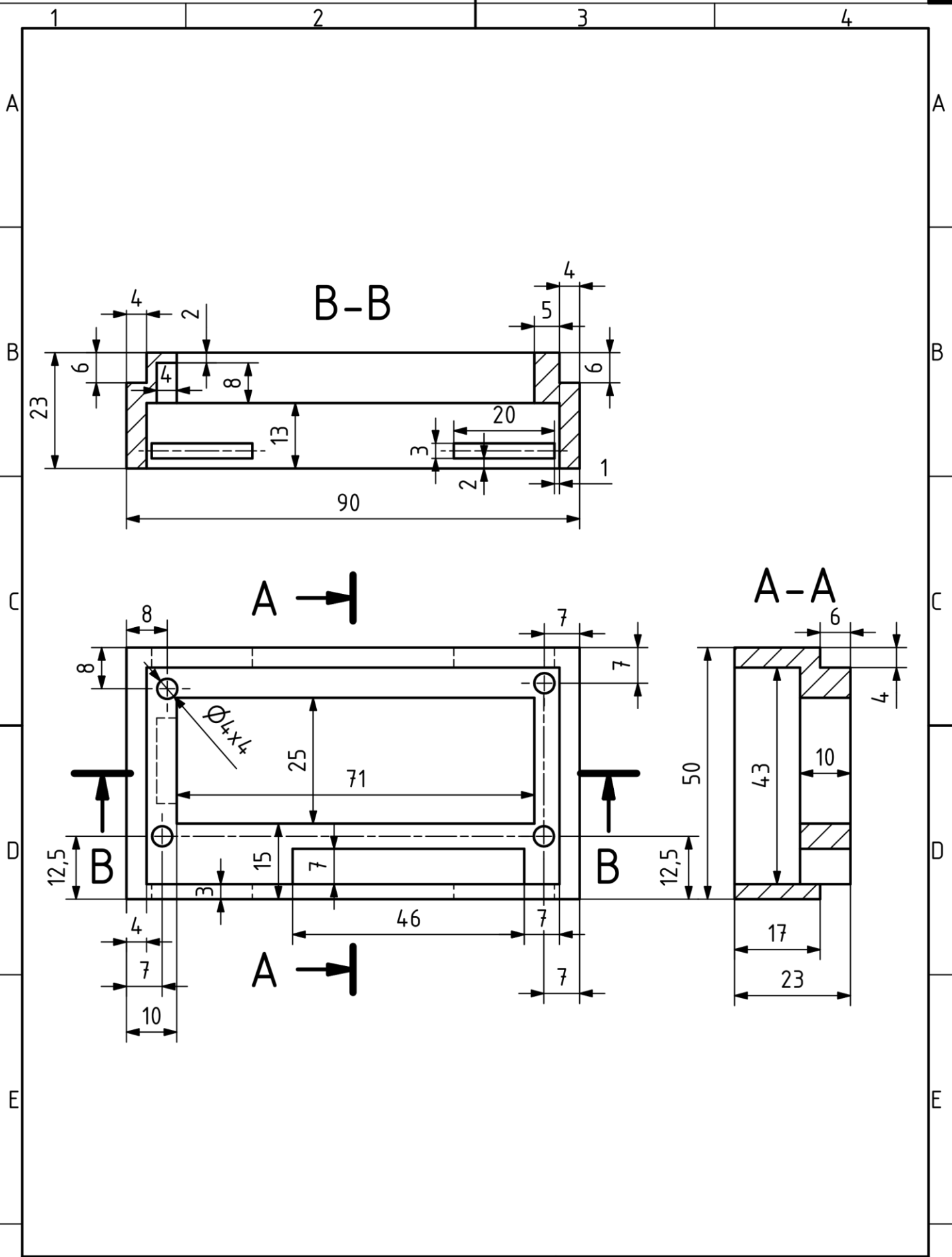


Autor		Datum		Podpis		Datum		HMOTNOST		MĚŘÍTKO	
NAVRHL MICHAL ŠIMON		12.04.2024		SCHVÁLIL				PROMÍTÁNÍ:  (ISO E)		1:1	
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY				UNIVERZITA PARDUBICE				NÁZEV KLOB			
				ČÍSLO VÝKRESU C-23				TYP: R-08			

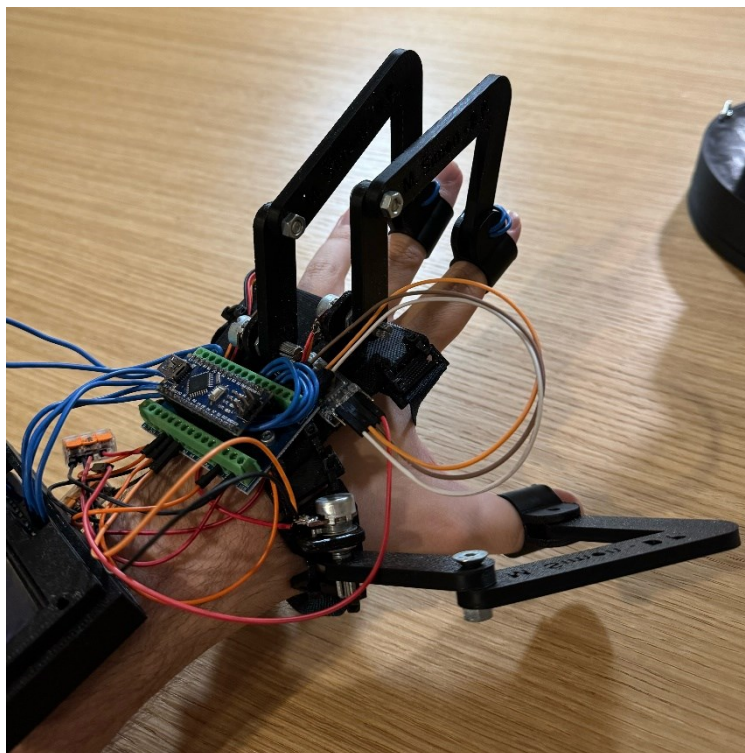


Autor		Datum		Podpis		Datum		HMOTNOST		MĚŘÍTKO	
NAVRHL MICHAL ŠIMON		12.04.2024		SCHVÁLIL				PROMÍTÁNÍ: $\begin{matrix} \triangleleft \\ \oplus \end{matrix}$ (ISO E)		1:1	
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY				UNIVERZITA PARDUBICE				NÁZEV NÁPRSTEK VELKÝ			
				ČÍSLO VÝKRESU				TYP:			
				C-24				R-09			

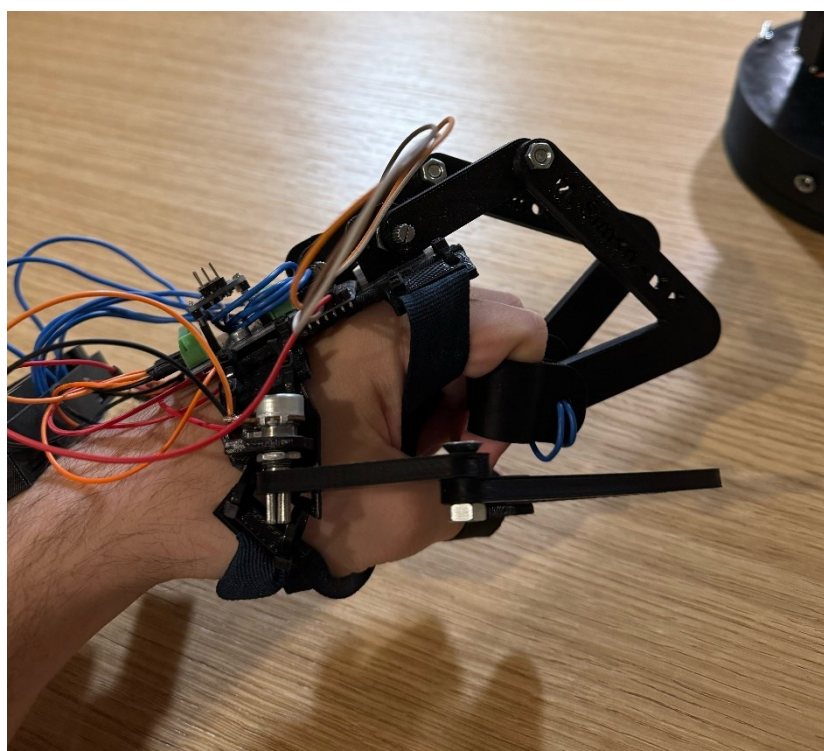




Autor		Datum		Podpis		Datum		HMOTNOST		MĚŘITKO	
NAVRHL MICHAL ŠIMON		12.04.2024		SCHVÁLIL				PROMÍTÁNÍ:  (ISO E)		1:1	
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY				UNIVERZITA PARDUBICE				NÁZEV LCD KONZOLA			
				ČÍSLO VÝKRESU C-25				TYP: R-10			



Obr. 2.1 – Rukavice s otevřenou rukou



Obr. 2.1 – Rukavice s uzavřenou rukou

## **ZÁVĚR**

Technická dokumentace zobrazuje kompletní přehled konstrukčních a montážních částí robotického efektoru a řídicí rukavice. Okótované 3D modely, seznam materiálů a montážní pokyny jsou poskytnuty za účelem poskytnutí lepšího porozumění obou konstrukcí.