

**UNIVERZITA PARDUBICE**

Fakulta elektrotechniky a informatiky

**KONSTRUKCE A ŘÍZENÍ MANIPULÁTORU**

Bc. Tomáš Benda

**Diplomová práce**

2015

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš Benda**  
Osobní číslo: **I13459**  
Studijní program: **N2646 Informační technologie**  
Studijní obor: **Řízení procesů**  
Název tématu: **Konstrukce a řízení manipulátoru**  
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

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

Cílem diplomové práce je návrh vlastní konstrukce a realizace robotického manipulátoru řízeného pomocí standardních modelářských servomotorů. Ke konstrukci mechanických dílů konstrukce bude použito vývojové prostředí "Solidworks". Navrhovaná konstrukce bude zohledňovat možnost zvýšené mechanické zátěže (volba servomotorů a jejich uspořádání). Jako základ řídicí jednotky bude využit vývojový modul s mikrokontrolérem fy Atmel, řady AT-mega. Vývojový modul bude doplněn o potřebné elektronické obvody a bude komunikovat s nadřazeným řídicím systémem - osobním počítačem, USB komunikačním rozhraním. Dále bude realizován základní software pro ovládání a diagnostiku manipulátoru (v libovolném programovacím jazyce). Součástí práce bude kompletní výrobní dokumentace manipulátoru, včetně zdrojových kódů použitého software. V teoretické části práce bude řešena zadaného tématu, popis technického řešení konstrukce manipulátoru, popis základních metod plánování trajektorie pohybu ramene manipulátoru a možnosti využití komerčního software pro ovládání a diagnostiku průmyslových robotů. Praktická část bude obsahovat postup návrhu vlastní konstrukce robotického manipulátoru, včetně vizualizace a tvorby technické dokumentace v prostředí "SolidWorks". Pro případný návrh schémat zapojení elektronických obvodů a plošných spojů elektronické řídicí jednotky bude použit návrhový CAD software "Eagle". K vývoji ovládacího software a firmware řídicí jednotky bude použito zvolené vývojové prostředí.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - 3.díl - edice uP a praxe, 2.vydání, BEN - technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4**

**ZÁHLAVA, V. Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4**

**Výuková příručka SolidWorks 2001. Pastrnkova 13, 615 00 Brno: ancor, 2001.**

**Dostupné z: <http://www.ancor.cz>**

**LOMBARD, Matt. SolidWorks 2010, Bible. 10475 Crosspoint Boulevard**

**Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 2010. ISBN 978-0-470-55481-4. Dostupné z: [www.wiley.com](http://www.wiley.com)**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Libor Havlíček, Ph.D.**

Katedra řízení procesů

Datum zadání diplomové práce:

**30. října 2014**

Termín odevzdání diplomové práce:

**15. května 2015**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.  
děkan



L.S.



Ing. Daniel Honc, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 14. listopadu 2014

## **Prohlášení**

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, 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.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 14. 5. 2015

Tomáš Benda

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Liborovi Havlíčkovi, Ph.D. za poskytnuté teoretické rady a připomínky při vývoji manipulátoru. Dále bych rád poděkoval kamarádům a hlavně mé rodině za podporu během studia.

V Pardubicích dne 14. 5. 2015

Tomáš Benda

## **ANOTACE**

*Hlavním cílem této diplomové práce je návrh vlastní konstrukce a řízení manipulátoru. Teoretická část je věnována rešerši tématu a vysvětlení základních pojmů.*

*V praktické části jsou popsány veškeré díly manipulátoru, popsán postup vytváření vizualizace a tvorby technické dokumentace v prostředí SolidWorks. Je vytvořen ovládací program pro osobní počítač v programovacím jazyce C# a vytvořen řídicí firmware pro mikroprocesor ATmega128.*

## **KLIČOVÁ SLOVA**

*Robotika, Servomechanismus, Mikroprocesor, SolidWorks*

## **TITTLE**

*THE CONSTRUCTION AND CONTROL OF THE MANIPULATOR*

## **ANNOTATION**

*The aim of the work is to design and control manipulator. Teoretical part of the work is focused on research and explanation the basic words of the topic.*

*The practical part describes the whole design, how to create visualization and technical documentation in SolidWorks environment. The control program for personal computer is developed in programing language C# and the control program for the microcontroller ATmega128 is created in programing language C.*

## **KEYWORDS**

*Robotics, Servomechanism, Microcontroller, SolidWorks*

# Obsah

Seznam zkratk	10
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	15
ÚVOD	16
1 TEORETICKÁ ČÁST	17
1.1 ÚVOD DO PRŮMYSLOVÝCH MANIPULÁTORŮ	17
1.2 SOFTWARE PRO PROGRAMOVÁNÍ A SIMULACI ROBOTŮ	18
1.3 REŠERŽE KOMERČNĚ DOSTUPNÝCH PROTOTYPOVÝCH ŘEŠENÍ	20
1.3.1 AL5A Robotic arm	20
1.3.2 OWI Robotic arm edge	21
1.3.3 Robotická ruka BETA	22
1.4 TEORIE ROBOTŮ	22
1.4.1 Základní pojmy robotů	22
1.4.2 Typy pohonů používaných u manipulátorů	23
1.4.2.1 Elektrické pohony	23
1.4.2.2 Hydraulické pohony	24
1.4.2.3 Pneumatické pohony	24
1.4.3 Kinematické dvojice	25
1.4.4 Kinematický řetězec	25
1.4.5 Počet stupňů volnosti	26
1.4.6 Typy manipulátoru podle kinematiky	26
1.4.6.1 Kartézské manipulátory	26
1.4.6.2 Cylindrické manipulátory	27
1.4.6.3 Sférické manipulátory	27
1.4.6.4 Paralelní manipulátory	28

1.4.7 Způsoby programování průmyslových manipulátorů.....	28
1.4.7.1 Přímé programování .....	28
1.4.7.2 Nepřímé programování .....	30
1.4.8 Principy plánování trajektorie.....	30
1.4.8.1 Přímá úloha kinematiky .....	30
1.4.8.2 Inverzní úloha kinematiky .....	34
<b>2 PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>37</b>
<b>2.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O PROSTŘEDÍ SOLIDWORKS .....</b>	<b>37</b>
<b>2.2 ORIENTACE V PROSTŘEDÍ SOLIDWORKS .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3 POPIS MECHANICKÉ ČÁSTI MANIPULÁTORU .....</b>	<b>40</b>
2.3.1 Sestava sevopohonu Hitec 5245MG .....	40
2.3.2 Sestava servopohonu Hitec 7945SH.....	41
2.3.3 Sestava podstavce .....	43
2.3.4 Sestava prvního ramene .....	46
2.3.5 Sestava druhého ramene .....	48
2.3.6 Sestava třetího ramene .....	49
<b>2.4 MECHANISMUS KONCOVÉHO EFEKTORU.....</b>	<b>52</b>
<b>2.5 TVORBA VIZUALIZACE V PROSTŘEDÍ SOLIDWORKS .....</b>	<b>53</b>
<b>2.6 TVORBA TECHNICKÉ DOKUMENTACE V PROSTŘEDÍ SOLIDWORKS.....</b>	<b>56</b>
<b>2.7 POPIS ELEKTRICKÉ ČÁSTI MANIPULÁTORU .....</b>	<b>59</b>
2.7.1 Napájecí zdroj .....	59
2.7.2 Mikroprocesorová jednotka .....	59
2.7.3 USB – UART komunikační rozhraní.....	61
2.7.4 Napájecí obvod mikroprocesoru a jednotlivých sevopohonů.....	62
2.7.5 LCD displej.....	63
2.7.6 Potenciometry .....	64
<b>2.8 POPIS PROGRAMOVÉ ČÁSTI MANIPULÁTORU.....</b>	<b>65</b>



2.8.1 Program pro osobní počítač .....	65
2.8.2 Program pro mikroprocesor .....	69
3 ZÁVĚR .....	72
LITERATURA .....	74
Seznam příloh .....	76

## Seznam zkratek

GUI	Graphic User Interface
JTAG	Joint Test Action Group
LCD	Liquid Crystal Display
PWM	Pulse Width Modulation
RX	Receiver
TX	Transmitter
USART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
USB	Universal Serial Bus
V/V	Vstupně výstupní
VCC	Napájecí napětí
VO	Kontrast displeje
VSS,GND	Uzemnění

## Seznam obrázků

Obr. 1.1 – Univerzální průmyslový manipulátor IRB 7600 – 500 .....	17
Obr. 1.2 – Hlavice pro bodové svařování .....	18
Obr. 1.3 – Hlavice přísavkového chapadla (ABB, 2015) .....	18
Obr. 1.4 – Hlavice s paralelními čelistmi .....	18
Obr. 1.5 – RobotStudio 5.09 od firmy ABB (ABB, 2015) .....	19
Obr. 1.6 – Ladění programu (ABB, 2015) .....	19
Obr. 1.7 – AL5A robotic arm (Lynxmotion, 2015) .....	20
Obr. 1.8 – Řídicí jednotka BotBoarduino (Lynxmotion, 2015) .....	21
Obr. 1.9 – OWI Robotic arm (Owirobots.com, 2015) .....	21
Obr. 1.10 – Robotická ruka BETA (Merkur, 2015) .....	22
Obr. 1.11 – Stejnoseměrný motor .....	23
Obr. 1.12 – Schématická značka jednočinného hydraulického válce .....	24
Obr. 1.13 – Schématická značka jednočinného pneumatického válce .....	24
Obr. 1.14 – Posuvná kinematická dvojice (Úvod do robotiky, 2014) .....	25
Obr. 1.15 – Otáčivá kinematická dvojice (Úvod do robotiky, 2014) .....	25
Obr. 1.16 – Otevřený kinematický řetězec .....	25
Obr. 1.17 – Uzavřený kinematický řetězec .....	25
Obr. 1.18 – Kartézská struktura manipulátoru (Úvod do robotiky, 2014) .....	26
Obr. 1.19 – Cylindrická struktura manipulátoru (Úvod do robotiky, 2014) .....	27
Obr. 1.20 – Sférická struktura manipulátoru (Úvod do robotiky, 2014) .....	27
Obr. 1.21 – Paralelní struktura manipulátoru (Úvod do robotiky, 2014) .....	28
Obr. 1.22 – Přímé programování – učení (Programujte.com, 2006) .....	29
Obr. 1.23 – Přímé programování - ruční zadávání (přenosný operátorský panel) .....	29
Obr. 1.24 – Schématické znázornění rovinného manipulátoru .....	30
Obr. 1.25 – Výpočet souřadnic bodu $B$ .....	31
Obr. 1.26 – Nový souřadnicový systém v bodě $B$ .....	31
Obr. 1.27 – Výpočet souřadnic bodu $C$ .....	32
Obr. 1.28 – Výpočet souřadnic bodu $D$ .....	33
Obr. 1.29 – Nový souřadnicový systém v bodě $C$ .....	33
Obr. 1.30 – Schématické znázornění rovinného manipulátoru .....	34
Obr. 1.31 – Výpočet přepony trojúhelníka .....	35

Obr. 1.32 – Výpočet úhlu $\alpha$ .....	35
Obr. 1.33 – Výpočet úhlu $\delta$ .....	36
Obr. 1.34 – Výpočet úhlu $\gamma$ .....	36
Obr. 2.1 – Základní okno SolidWorks .....	38
Obr. 2.2 – Volba díl, sestava, technická dokumentace .....	38
Obr. 2.3 – Nejvíce využívané části .....	39
Obr. 2.4 – Ukázka Property Manageru .....	39
Obr. 2.5 – Servopohon Hitec 5245MG.....	40
Obr. 2.6 – Sestava servopohonu Hitec 5245MG .....	41
Obr. 2.7 – Plastové táhlo servopohonu typu Hitec 5245MG.....	41
Obr. 2.8 – Servopohon Hitec 7954SH .....	41
Obr. 2.9 – Sestava servopohonu typu Hitec 7954SH .....	42
Obr. 2.10 – Plastové táhlo servopohonu Hitec 7459SH .....	42
Obr. 2.11 – Sestava podstavce .....	43
Obr. 2.12 – Závaží .....	43
Obr. 2.13 – Distanční sloupek 35 mm .....	44
Obr. 2.14 – Deska závaží .....	44
Obr. 2.15 – Držák serva .....	44
Obr. 2.16 – Otočná hlava .....	45
Obr. 2.17 – Nerozvinutý (ohnutý) tvar stojnice.....	45
Obr. 2.18 – Rozvinutý tvar stojnice .....	45
Obr. 2.19 – Sestava prvního ramene .....	46
Obr. 2.20 – Rameno 1 - část .....	46
Obr. 2.21 – Distanční sloupek 60 mm .....	47
Obr. 2.22 – Rameno 1 - část druhá .....	47
Obr. 2.23 – Ložisko pro kloubový spoj .....	47
Obr. 2.24 – Sestava druhého ramene .....	48
Obr. 2.25 – Rameno 2 - první část .....	48
Obr. 2.26 – Distanční sloupek 35 mm .....	49
Obr. 2.27 – Rameno 2 - část druhá .....	49
Obr. 2.28 – Rameno 3 - první část.....	50
Obr. 2.29 – Sestava třetího ramene .....	50
Obr. 2.30 – Rameno 3 – třetí část spojnice ramen spodní díl (rozvinutý tvar).....	50
Obr. 2.31 – Rameno 3 – třetí část spojnice ramen spodní díl (nerozvinutý tvar).....	50

Obr. 2.32 – Rameno 3 - druhá část .....	51
Obr. 2.33 – Rameno 3 – třetí část spojnice ramen vrchní díl (rozvinutý tvar) .....	51
Obr. 2.34 – Rameno 3 – třetí část spojnice ramen vrchní díl (nerozvinutý tvar) .....	51
Obr. 2.35 – Rameno efektoru (nerozvinutý tvar).....	52
Obr. 2.36 – Rameno efektoru (rozvinutý tvar) .....	52
Obr. 2.37 – Táhlo efektoru první část .....	52
Obr. 2.38 – Táhlo efektoru druhá část .....	52
Obr. 2.39 – Mechanismus koncového efektoru .....	53
Obr. 2.40 – Vložení sestavy.....	53
Obr. 2.41 – Vizualizace manipulátoru bez vazeb .....	54
Obr. 2.42 – Výběr ploch pro vytvoření soustředné vazby .....	54
Obr. 2.43 – Výběr ploch pro vytvoření sjednocené vazby .....	55
Obr. 2.44 – Vazby mezi sestavou podstavce a sestavu prvního .....	55
Obr. 2.45 – Celková vizualizace .....	55
Obr. 2.46 – Volba formátu výkresu .....	56
Obr. 2.47 – Vložení součásti do výkresové dokumentace .....	57
Obr. 2.48 – Volba pohledů.....	57
Obr. 2.49 – Změna barvy při vynášení kót .....	57
Obr. 2.50 – Vytvoření výkresu .....	58
Obr. 2.51 – Napájecí zdroj Mean Well (Spínaný zdroj, 1990-2015).....	59
Obr. 2.52 – Modul s mikroprocesorem ATmega128 (Development System, 2014).....	60
Obr. 2.53 – Blokové schéma zapojení mikroprocesorového modulu.....	61
Obr. 2.54 – Modul mikroprocesorové jednotky osazený v navrhnuté patici.....	61
Obr. 2.55 – Osazený komunikační modul na plošném spoji .....	62
Obr. 2.56 – Propojovací schéma USB komunikačního modulu s plošným spojem .....	62
Obr. 2.57 – Osazený plošný spoj napájecího obvodu.....	63
Obr. 2.58 – Schéma zapojení stabilizátoru LM1084IT-05 (National Semiconductor, 1999) ..	63
Obr. 2.59 – Schéma zapojení LCD displeje.....	63
Obr. 2.60 – Osazený plošný spoj s LCD displejem .....	64
Obr. 2.61 – Osazený plošný spoj s potenciometry .....	65
Obr. 2.62 – Schéma zapojení potenciometrů .....	65
Obr. 2.63 – Zobrazení všech dostupných sériových portu .....	66
Obr. 2.64 – Nalezení správného komunikačního rozhraní ve správci zařízení .....	66
Obr. 2.65 – Automatické vyplnění zbývajících comboboxu .....	67

Obr. 2.66 – Soubor s uloženou sekvencí .....	67
Obr. 2.67 – Otevření dialogového okna.....	68
Obr. 2.68 – ListBox s událostmi .....	68
Obr. 2.69 – Vývojový diagram .....	70
Obr. 2.70 – FAST PWM režim (Atmel, 2011) .....	70
Obr. 2.71 – Obsah registru TCCRxA a TCCRxB (Atmel, 2011).....	71
Obr. 2.72 – Nastavení čítače/časovače 1 .....	71

## Seznam tabulek

Tab. 1.1 – Parametry manipulátoru IRB 7600 – 500.....	17
Tab. 2.1 – Základní vlastnosti Hitec 5245MG.....	40
Tab. 2.2 – Základní vlastnosti Hitec 7954SH.....	42
Tab. 2.3 – Předpokládané parametry manipulátoru .....	56
Tab. 2.4 – Parametry napájecího zdroje Mean Well.....	59
Tab. 2.5 – Parametry mikroprocesorového modulu s ATmega128.....	60

## ÚVOD

Cílem této diplomové práce je návrh mechanické konstrukce manipulátoru, elektronických obvodu a programového vybavení pro manipulátor. Vlastní text diplomové práce je rozdělen na část teoretickou a část praktickou.

Teoretická část je rozdělena na čtyři podkapitoly a to na úvod do průmyslových manipulátorů, komerční software pro programování a simulaci manipulátorů, rešerši dostupných řešení a na teorii robotů. První dvě podkapitoly se věnují průmyslovým robotům, kde je řečeno v jakých průmyslových odvětvích se roboti nejčastěji využívají a jaké programy jsou potřeba pro programování a simulaci. Další kapitola je zaměřena na rešerši komerčně vyráběných prototypů. Poslední podkapitola je věnována vysvětlení základních pojmů.

Praktická část je rozdělena na osm podkapitol a je věnována samotnému návrhu jednotlivých dílů manipulátoru v prostředí SolidWorks, návrhu elektronických obvodů v prostředí Eagle, programovému vybavení pro osobní počítač v programovacím jazyce C# a programu pro mikroprocesor v prostředí MicroC PRO for AVR. První dvě podkapitoly jsou věnovány seznámení s prostředím SolidWorks. Následující čtyři podkapitoly jsou zaměřeny na vlastní návrh manipulátoru, popis mechanismu koncového efektoru, tvorbu vizualizace a tvorbu technické dokumentace. V předposlední podkapitole jsou uvedeny všechny elektronické obvody, které jsem použil pro řízení manipulátoru a poslední kapitola je zaměřena na popis programu pro osobní počítač a popisu programu pro zvolený mikroprocesor.



# 1 TEORETICKÁ ČÁST

## 1.1 ÚVOD DO PRŮMYSLOVÝCH MANIPULÁTORŮ

Průmyslové manipulátory mají v dnešní době velice široké spektrum využití a velkou oblibu v různých průmyslových odvětvích. Využívají je například společnosti, které se zabývají automobilovým průmyslem, kde lakují jednotlivé a poměrně rozměrné díly autokaroserie. Tyto roboty využívá také strojírenský průmysl, kde jsou využívány nejen pro lakování, ale mohou být využívány pro bodové svařování, kde v podstatě nahradili člověka, díky své rychlosti a hlavě přesnosti. Dále mohou být využívány pro paletizaci různých předmětů (výrobků) nebo mohou být využity pro jednodušší montážní činnosti. Záleží na každém podniku, jakého robota si zvolí pro určitou činnost. Na následujícím obrázku je vidět průmyslový manipulátor od firmy ABB, který má univerzální použití, protože na jeho koncové rameno lze připojit nejrůznější hlavice a to hlavice pro lakování, svařování nebo uchopovací pneumatické mechanismy. Dále jsem do tabulky sepsal několik základních parametrů tohoto manipulátoru.



Obr. 1.1 – Univerzální průmyslový manipulátor IRB 7600 – 500

Tab. 1.1 – Parametry manipulátoru IRB 7600 – 500

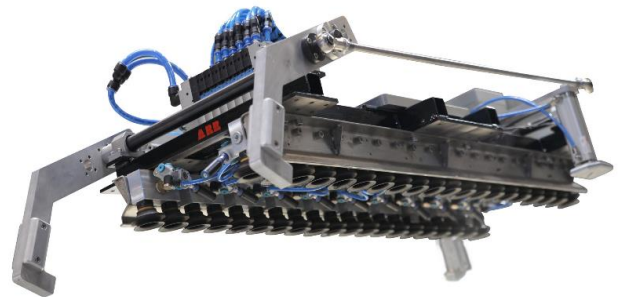
Napájecí napětí	200 – 600 V, 50/60 Hz
Rozměry základny	1206,5×791 mm
Hmotnost	2400 – 2450 kg
Stupeň krytí	IP67
Hlučnost	73 dB
Dosah efektoru	2,55 m
Maximální hmotnost břemena	do 500 kg
Počet stupňů volnosti	6

Hlavním důvodem proč investovat do těchto robotů je ten, že robot dokáže pracovat (vykonávat program) dvacet čtyři hodin denně sedm dní v týdnu a to i bez jediné přestávky. Další výhody jsou ty, že mohou pracovat pro člověka nebezpečném prostředí, eliminují chybovost, nikdy se neunaví, zvyšují produktivitu ve velkých podnicích a přebírají namáhavé práce od člověka.

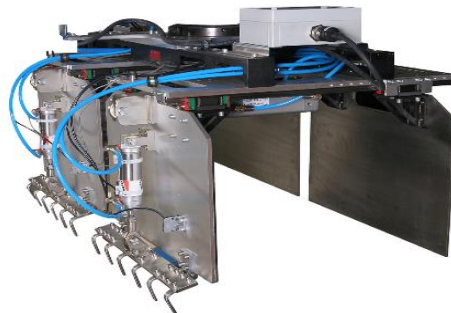
Hlavní nevýhoda těchto robotů je jejich počáteční pořizovací cena a cena dodatečného příslušenství jakou jsou různé hlavice, polohovací zařízení a mnoho dalšího.



Obr. 1.2 – Hlavice pro bodové svařování  
(ABB, 2015)



Obr. 1.3 – Hlavice přísavkového chapadla  
(ABB, 2015)



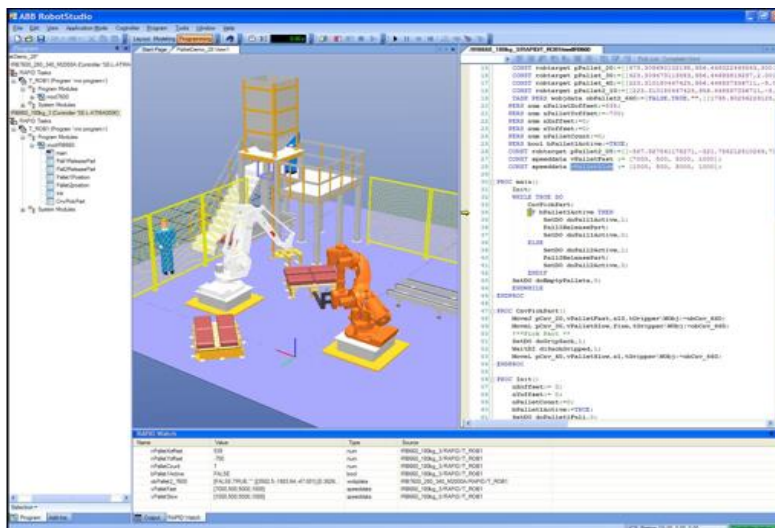
Obr. 1.4 – Hlavice s paralelními čelistmi  
(ABB, 2015)

## 1.2 SOFTWARE PRO PROGRAMOVÁNÍ A SIMULACI ROBOTŮ

V dnešní době je veliký trend všechno si nejdřív zkusit („odsimulovat“) na počítači a až teprve poté to pustit do ostrého provozu. Tento trend následují i výrobci, kteří vyvíjejí nejrůznější software pro tyto roboty. Na tento software jsou kladeny vysoké požadavky a to hlavně z hlediska snadného ovládání pro budoucího zákazníka, který se rozhodne pro koupi jejich robota. Zároveň by tento software měl umožňovat snadnou simulaci a umožňovat snadné

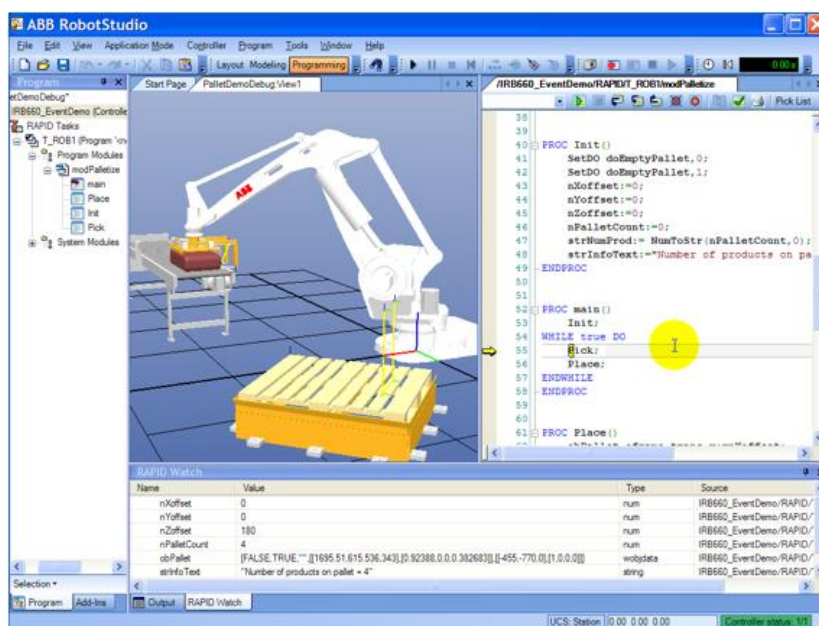
propojení tohoto software s reálným zařízením. Dále by měl obsahovat takzvaný program editor, který umožňuje psát program pro robota ve strukturovaném textu.

Jedním z takových komerčně vyvíjeným softwarem je RobotStudio 5.09 od firmy ABB (ABB, 2015). Tento software konkrétně umožňuje nejen simulaci celých výrobních prostor, ale umožňuje také simulaci jednoho jediného robota, kde si uživatel může zvolit



Obr. 1.5 – RobotStudio 5.09 od firmy ABB (ABB, 2015)

přímo konkrétní typ a také umožňuje volbu hlavice například hlavici pro lakování, svařování, uchopovací mechanismy a mnohých dalších. Dále je v tomto softwaru umožněno ladění programu, kde uživatel krokuje jednotlivé příkazy a zjišťuje, zda byl robot naprogramován na činnost, kterou od něj požaduje. Přímou z tohoto softwaru je umožněno nahrání programu do řídicího systému robota.



Obr. 1.6 – Ladění programu (ABB, 2015)

### 1.3 REŠERŽE KOMERČNĚ DOSTUPNÝCH PROTOTYPOVÝC ŘEŠENÍ

Tato kapitola bude věnována komerčně dostupným řešením, které jsou k dostání jak u nás, tak i jinde. Konstrukce manipulátorů je poměrně složitá disciplína, protože se musí navrhnout nejen samotná mechanická konstrukce z takového materiálu, aby nedocházelo k deformacím u jednotlivých dílů manipulátoru, ale musejí být vybrány vhodné akční členy, navržena řídicí jednotka s programem pro mikroprocesor a navržen ovládací program pro osobní počítač.

#### 1.3.1 AL5A Robotic arm

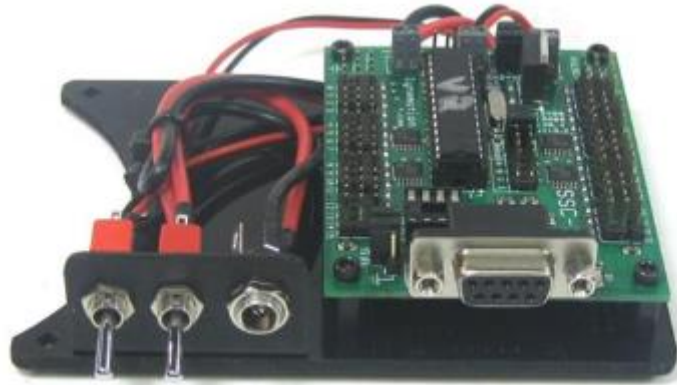
**AL5A** je komerčně vyráběný manipulátor od zahraniční firmy Lynxmotion (Lynxmotion, 2015). Toto konkrétní řešení nabízí šest stupňů volnosti **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Mezi stupně volnosti můžu zařadit jeho otočnou základnu, rameno, loket, náklon zápěstí, rotaci zápěstí a koncový efektor. Samotná konstrukce se skládá jak z hliníkových dílů, tak z plastových dílů. Kovové díly jsou především využity pro jednotlivá ramena a ty plastové jsou použity u otočné hlavy a koncového efektoru.



Obr. 1.7 – AL5A robotic arm (Lynxmotion, 2015)

K ovládání jednotlivých částí manipulátoru jsou použita analogová serva standardní velikosti od firmy Hitec několika typu. Pro ovládání otočné hlavy, zápěstí a koncového efektoru výrobce zvolil servopohon typu HS-422, pro rameno vybral servopohon typu HS-755HB a pro loket HS-645MG.

Dále výrobce k tomuto manipulátoru dodává řídicí jednotku BotBoarduino, v které je předem nahrán řídicí firmware a slouží k připojení jednotlivých servopohonu. Tato řídicí jednotka také obsahuje komunikační rozhraní, aby bylo možné manipulátor ovládat pomocí osobního počítače.



Obr. 1.8 – Řídicí jednotka BotBoarduino (Lynxmotion, 2015)

### 1.3.2 OWI Robotic arm edge

Další velice zajímavé řešení přináší manipulátor pod názvem **OWI Robotic arm edge** od zahraniční společnosti OWI (Owirobots.com, 2015), který nabízí opět šest stupňů volnosti. Od předchozího se liší v několika aspektech a to, že celý manipulátor je z plastového materiálu. Dále se tento manipulátor liší v ovládnání jednotlivých ramen, v kterých jsou využity malé modelářské motorky s plastovou převodovkou na rozdíl od klasických servopohonu z předchozího řešení.



Obr. 1.9 – OWI Robotic arm (Owirobots.com, 2015)

### 1.3.3 Robotická ruka BETA

Mezi další zajímavá konstrukční řešení patří určitě manipulátor od českého výrobce Merkur, který je u nás v České republice asi nejznámější (Merkur, 2015). Tato konstrukce přináší opět šest stupňů volnosti. Rozdíl od předešlých dvou řešení je v tom, že celá konstrukce je z oceli. Další konstrukčním vylepšením mají v podobě otočné hlavy, kde nemají jako ostatní výrobci umístěnou otočnou hlavu přímo na plastovém táhlu servopohonu, ale mají to udělané přes převod, který je v poměru jedna ku jedné. Tento převod zajišťuje menší mechanické namáhání osy serva proti jejímu vychýlení, což má určitě velký důsledek na celkovou životnost servopohonu.



Obr. 1.10 – Robotická ruka BETA (Merkur, 2015)

## 1.4 TEORIE ROBOTŮ

### 1.4.1 Základní pojmy robotů

**Dosah** je maximální vzdálenost (Úvod do robotiky, 2014), které je schopen manipulátor dosáhnout koncovým efektem.

**Nosnost** je maximální hmotnost břemena, se kterým může manipulátor operovat.

**Pracovní oblast** udává plochu, v níž může manipulátor pracovat.

**Stupeň krytí** říká, jak je robot odolný vůči okolnímu prostředí. To znamená, že ať už se jedná o prašné, mokré či jiné prostředí bude mít manipulátor jinou ochranu proti těmto nežádoucím jevům.

**Opakovatelná přesnost** značí, s jakou přesností je schopen manipulátor opakovaně dosáhnout jednoho bodu v prostoru.

**Přesnost trajektorie** udává, schopnost manipulátoru „kopírovat“ naprogramovanou trajektorii při zvyšování jeho rychlosti.

## 1.4.2 Typy pohonů používaných u manipulátorů

Hlavní funkcí jakéhokoli typu pohonu je přeměna vstupující řídicí veličiny na mechanický pohyb. Tyto pohony jsou nedílnou a často rozhodující součástí každého průmyslového manipulátoru, na které jsou kladeny poměrně vysoké nároky. Mezi základní požadavky na tyto pohony (motory) mohou zařadit například plynulý chod, vysokou přesnost, vysoký výkon, minimální rozměry a vhodný tvar pohonu. Podle druhu vstupující řídicí veličiny mohou rozdělit na pohony elektrické, hydraulické a pohony pneumatické.

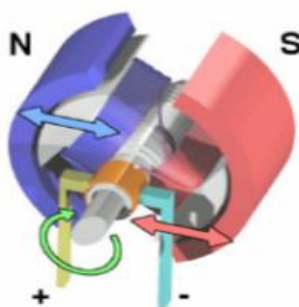
### 1.4.2.1 Elektrické pohony

Tento typ pohonu mění vstupní elektrickou energii na mechanický pohyb (Skařupa, 2007). V průmyslových robotech se používají prakticky všechny druhy elektrických motorů. Mezi základní typy motorů patří například **stejnoseměrné motory, střídavé motory, krokové motory, servomotory** a mnohé další. V této části popíšeme princip stejnosměrného motoru.

Hlavní výhodou pro požití tohoto typu pohonu jsou malé pořizovací náklady, jednoduchá údržba a jednoduchý přívod energie. Nevýhodou je, že hrozí nebezpečí úrazu elektrickým proudem.

#### Princip stejnosměrného motoru

Je to nejjednodušší typ motoru, který se skládá ze statoru a rotoru. Stator je tvořen permanentními magnety a rotor se skládá z dvou elektromagnetů. Na rotoru se nachází komutátor, který mění směr elektrického proudu a polaritu magnetického pole procházejícího kotvou dvakrát během každé otáčky. Tím se zajistí, že síla působící na póly rotoru má stejný směr. V okamžiku přepnutí polarity udržuje běh motoru ve správném směru jeho setrvačností. Komutátor zajistí, že se v cívice změní směr proudu po každé půlotáčce (toto platí u dvoupolohového motoru) a tím dojde k dalšímu otočení.



Obr. 1.11 – Stejnoseměrný motor

### 1.4.2.2 Hydraulické pohony

Tento typ pohonu převádí tlakovou energii hydraulické kapaliny na mechanický pohyb (Skařupa, 2007). Jsou především realizovány jako písty ve válcích, do kterých je přivedena hydraulická kapalina. Při této přeměně energie dochází ke ztrátám a tato ztrátová energie se mění na teplo.

Mezi nejjednodušší hydraulický pohon patří takzvaný hydraulický válec. Pohon pracuje obdobně jako jednočinný pneumatický válec s tím rozdílem, že místo přívodu stlačeného vzduchu je přivedena do válce hydraulická kapalina a neobsahuje pružinu, která jej prací do výchozího stavu.



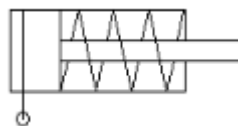
Obr. 1.12 – Schématická značka jednočinného hydraulického válce

Výhoda spočívá v tom, že se vyznačují velkou účinností, tuhostí, plynulým chodem a to i při malých rychlostech.

Jejich nevýhodou je, že tento druh média je hořlavý, je potřeba samostatného rozvodového systému pro přívod kapaliny do příslušných míst a při dosažení vyšších teplot kapaliny se snižuje celková účinnost pohonu.

### 1.4.2.3 Pneumatické pohony

Tento typ pohonu mění vstupní energii stlačeného vzduchu na mechanický pohyb (Skařupa, 2007). Mezi nejjednodušší pneumatický pohon patří jednočinný pneumatický válec. Přívod stlačeného vzduchu do válce je pouze na jedné straně. Tím pádem síla vyvinutá tlakem vzduchu působí pouze v jednom směru. Po přerušení přívodu stlačeného vzduchu do válce je pístnice vrácena do své výchozí polohy pomocí pružiny.



Obr. 1.13 – Schématická značka jednočinného pneumatického válce

Výhodou pro použití těchto pohonů je bezesporu bezpečnost, protože může být použit v prostorách se zvýšeným požárním nebezpečím. Další výhodou vidím ve velice jednoduchém řízení, menší hmotnosti, možnosti řídit tyto pohony na větší vzdálenosti díky stlačenému vzduchu.

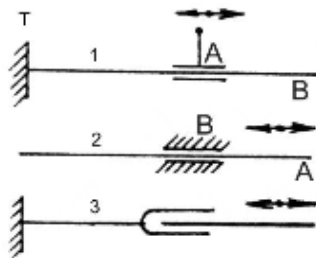


Nevýhody jsou například v nepřesném zastavování v mezipolohách, hlučnost provozu kvůli potřebným kompresorům a jednotlivým netěsnostem na pneumatických prvcích.

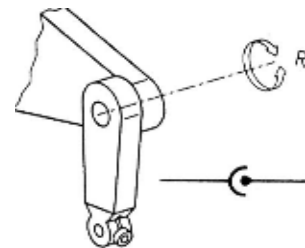
### 1.4.3 Kinematické dvojice

Každý manipulátor je velice složité zařízení, které se skládá z několika částí (ramen). Abych mohl tyto části manipulátoru mezi sebou jednoduše spojit, využívají se zde takzvané kinematické dvojice (Skařupa, 2007). Pod pojmem kinematická dvojice se myslí ty části manipulátoru, které jsou spojeny určitou vazbou (dvojicí). Vazbou se nejčastěji myslí například klouby manipulátoru.

Mezi nejběžnější kinematické dvojice mohou zařadit dvojice **posuvné** (translační) a dvojice **otáčivé** (rotační). Pohyb posuvný je realizován například šroubovým vedením. Pohyb otáčivý je z největší části tvořený čepy, které jsou uloženy v kloubových spojích.



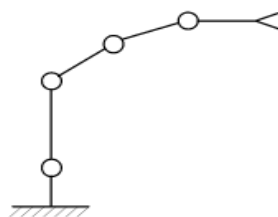
Obr. 1.14 – Posuvná kinematická dvojice  
(Úvod do robotiky, 2014)



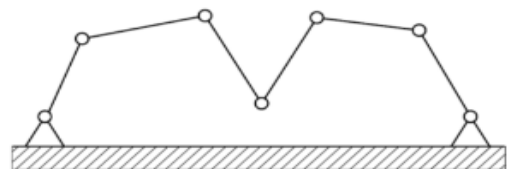
Obr. 1.15 – Otáčivá kinematická dvojice  
(Úvod do robotiky, 2014)

### 1.4.4 Kinematický řetězec

Kinematický řetězec se skládá s jednotlivých kinematických dvojic, které jsou definovány určitou vazbou. Základní dvě nejpoužívanější kinematické dvojice jsem uvedl v přechodí podkapitole. Je možné rozeznávat dva druhy kinematických řetězců a to na řetězce otevřené a řetězce uzavřené (Skařupa, 2007). Otevřené kinematické řetězce jsou manipulátory například se sférickou strukturou a uzavřené kinematické řetězce představují manipulátory například s paralelní strukturou.



Obr. 1.16 – Otevřený kinematický řetězec



Obr. 1.17 – Uzavřený kinematický řetězec

### 1.4.5 Počet stupňů volnosti

Počet stupňů volnosti určuje minimální počet parametrů (Smutný, 2015), který jednoznačně určí polohu tělesa v rovině nebo v prostoru. Bod v rovině má dva stupně volnosti, bod v prostoru má tři stupně volnosti. Pro jednoznačný popis tuhého tělesa v prostoru potřebují minimálně šest stupňů volnosti. V literatuře se mohou setkat s Grüberovým vzorcem, které vypočítá celkový počet stupňů volnosti systému podle vztahu.

$$F = \lambda(n - j - 1) + \sum_{i=1}^j f_i \quad (1.1)$$

kde  $f_i$  – počet stupňů volnosti  
 $n$  – počet ramen mechanismu  
 $j$  – počet kloubů mechanismu  
 $\lambda$  – počet stupňů volnosti okolního prostoru.

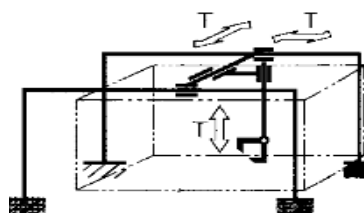
### 1.4.6 Typy manipulátoru podle kinematiky

#### 1.4.6.1 Kartézské manipulátory

Manipulátory s touto kinematickou strukturou se vyznačují tím (Úvod do robotiky, 2014), že pro svůj provoz potřebují velký pracovní prostor, který připomíná tvar kvádrů. Konkrétně tento typ manipulátoru využívá tři translační (posuvné) pohyby, což znamená, že používá tzv. klasický souřadnicový systém XYZ a jednotlivé osy (ramena) jsou na sebe navzájem kolmé.

Velkou výhodou těchto manipulátorů je rozhodně velký rozsah pohybu, velká přesnost polohování, jednoduché řízení a schopnost manipulovat s těžšími předměty, díky své konstrukci. Zároveň jeho velkou nevýhodou je, že předmět lze uchopit pouze z jedné strany a jak jsem již dříve zmínil, potřebují pro svůj chod hodně prostoru.

Tento druh manipulátoru se především využívá ve velkých skladech, kde se přemisťují těžká břemena. Dále mohou být využívány jako CNC obráběcí stroje, nebo jako portálové jeřáby.

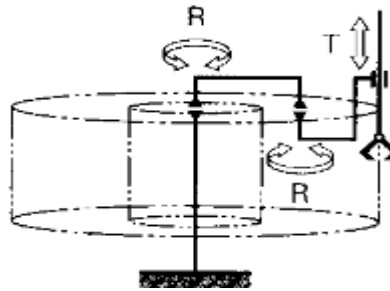


Obr. 1.18 – Kartézská struktura manipulátoru (Úvod do robotiky, 2014)

### 1.4.6.2 Cylindrické manipulátory

Mezi další kinematickou strukturu můžeme zařadit strukturu cylindrickou. Tato struktura se vyznačuje tím (Úvod do robotiky, 2014), že využívá dva rotační pohyby a jeden pohyb translační (posuvný). Touto kombinací pohybů bude výsledný pracovní prostor připomínat tzv. válec.

Tento typ struktury se především využívá u manipulátorů, kde je kladen důraz na rychlost a to například u strojně osazovaných plošných spojů nebo na přemísťování lehčích předmětů.



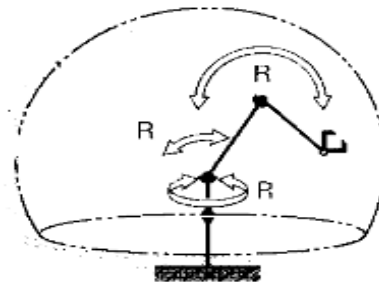
Obr. 1.19 – Cylindrická struktura manipulátoru (Úvod do robotiky, 2014)

### 1.4.6.3 Sférické manipulátory

Dalším typem manipulátorů jsou manipulátory se sférickou strukturou. Tuto strukturu je možné jednoznačně identifikovat tím (Úvod do robotiky, 2014), že využívá tři rotační pohyby a jsou dnešní době asi nejpoužívanější. Spojením těchto pohybů vznikne pracovní prostor, který připomíná tzv. kouli.

Když tento typ manipulátoru rozšířím o další tři osy, vznikne manipulátor se šesti stupni volnosti. To znamená, že budu mít tři osy pro polohování jednotlivých ramen a tři osy pro natočení koncového efektoru.

Výhodou tohoto řešení je v tom, že má široké spektrum využití jako jsou například svařovací roboty, polohovací roboty, lakovací roboty atd. Další velkou výhodou vidím v tom, že není potřeba tolik místa jako v případě kartézské struktury. Nevýhodou je, že neumožňuje jednoduché řízení a také nenabízí takovou přesnost polohování.



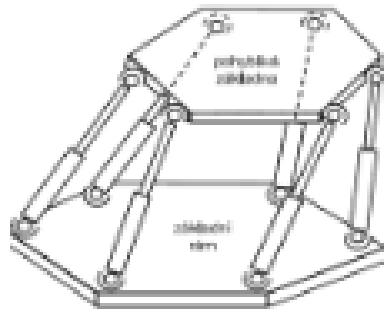
Obr. 1.20 – Sférická struktura manipulátoru (Úvod do robotiky, 2014)

#### 1.4.6.4 Paralelní manipulátory

Paralelní struktura manipulátoru tvoří zvláštní skupinu robotů (Úvod do robotiky, 2014), protože kinematické dvojice tvoří uzavřený řetězec. Pohyblivý koncový efektor je spojen s nepohyblivou základnou tenkými rameny s kloubovými spoji.

Ve srovnání se sférickou strukturou jsou daleko rychlejší, přesnější, ale jeho výraznou nevýhodou je malý pracovní prostor.

Manipulátory s touto strukturou jsou především využívány v potravinářství, lékařství nebo jako ovladače operačních manipulátorů.



Obr. 1.21 – Paralelní struktura manipulátoru (Úvod do robotiky, 2014)

#### 1.4.7 Způsoby programování průmyslových manipulátorů

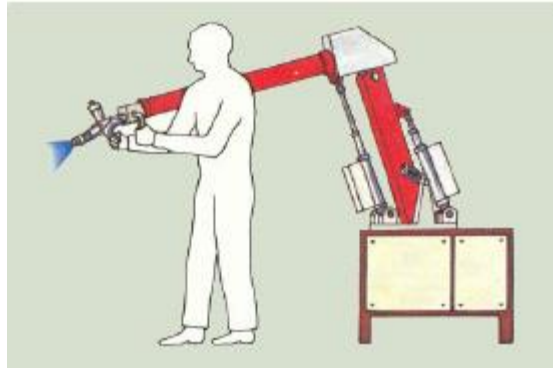
V této podkapitole uvedu několik základních způsobů programování průmyslových robotů, které mohu rozdělit na metody přímého programování a metody nepřímého programování. Na našem trhu je mnoho vynikajících výrobců průmyslových robotů u nás to jsou především zahraniční firmy ABB a KUKA, kteří vyvíjí průmyslové roboty pro různorodá průmyslová odvětví. Výrobci těchto robotů kladou velké úsilí a mnoho finančních prostředků, aby byla nejen snadná jejich údržba, ale také snadné a intuitivní ovládání popřípadě programování.

##### 1.4.7.1 Přímé programování

Přímé programování průmyslových robotů je asi jedna z nejjednodušších cest jak naprogramovat robota, aby vykonával požadovanou činnost, či určitou sekvenci pohybů.

První metoda, kterou v krátkosti popíši je metoda tzv. **učení** (Programujte.com, 2006). V podstatě jde o to, že operátor vede robota po požadované dráze s určitou rychlostí. Vedení po určité dráze je zajištěno tak, že operátor drží přímo pracovní nástroj v koncovém efektoru a

vykonává s ním požadované operace. Tímto jednoduchým způsobem bývají programování roboti určeni pro práškové lakování nebo pro bodové svařování. Řídící jednotka si požadované pohyby zapamatuje ve formě tabulky, kde jsou uloženy jednotlivé souřadnice (koordináty).



Obr. 1.22 – Přímé programování – učení (Programujte.com, 2006)

Druhá metoda, která se v praxi velice často využívá, je metoda tzv. **ručního zadávání**. U této metody se robot navádí pomocí tlačítek, nebo běžnější je použití přenosného operátorského panelu. Pomocí těchto tlačítek popřípadě operátorského panelu si operátor nastaví robota do požadované polohy. Poté na operátorském panelu stiskne tlačítko „zapamatuj si tuto pozici“. Do paměti robota se takto zaznamenají jednotlivé údaje o jednotlivých polohách, kterých je o dost méně jak u předchozí metody. K těmto údajům se musí vhodně zvolit údaj o čase. Údaj o čase nám udává, jakou rychlost bude mít robot mezi sousedními dvěma body. Další údaj, který se přidává, je údaj o propojení jednotlivých souřadnic.



Obr. 1.23 – Přímé programování - ruční zadávání (přenosný operátorský panel)

Třetí nejpoužívanější metoda je metoda **textového programování**. U této metody je pohyb robota zadáván pomocí sekvencí příkazů. Příklad programovacího jazyka, který využívá například firma ABB je jazyk ARLA.

#### 1.4.7.2 Nepřímé programování

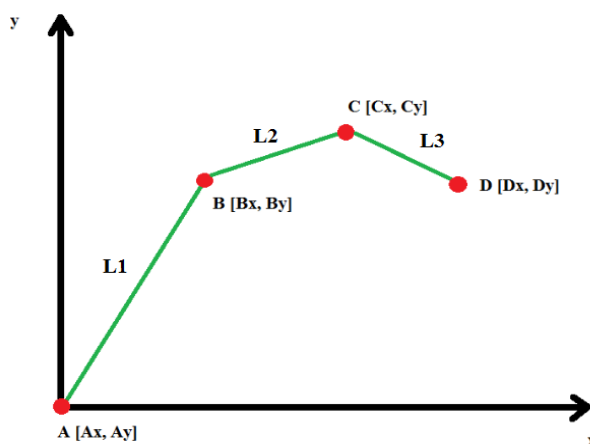
U tohoto typu programování je zadávána trajektorie (Programujte.com, 2006) ve formě prostorových křivek (nejčastěji pomocí křivek z nějakého výkresu).

#### 1.4.8 Principy plánování trajektorie

Je mnoho způsobů jak určit koncovou polohu efektoru. V této podkapitole budou v krátkosti popsány dva základní přístupy řešení tohoto problému. První metoda, kterou popíší je přímá úloha kinematiky. Druhá metoda je takzvaná inverzní úloha kinematiky.

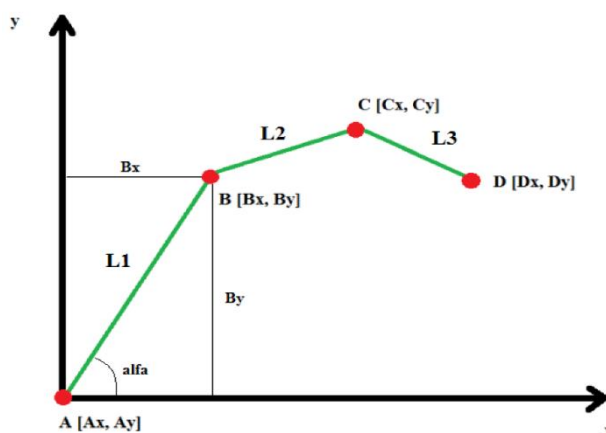
##### 1.4.8.1 Přímá úloha kinematiky

Tento přístup umožňuje použití klasických goniometrických funkcí (Grep1, 2007) k výpočtu koncové polohy efektoru za předpokladu, jsou-li zadány počáteční údaje. Počátečními údaji je myšleno, že jsou známi velikosti jednotlivých ramen a úhel natočení mezi těmito rameny. Všechna kloubová spojení, které jsou vyobrazeny ve schématu červenou tečkou jsou spojena pomocí rotační vazby.



Obr. 1.24 – Schématické znázornění rovinného manipulátoru

Ted' provedu odvození jednotlivých souřadnic z daného schématu. Jako první co je potřeba spočítat je souřadnice bodu  $B$ . To provedu tak, že vynesu svislou a vodorovnou čáru od bodu  $B$  směrem k ose  $x$  a  $y$ .



Obr. 1.25 – Výpočet souřadnic bodu  $B$

Nyní mohu použít standartní goniometrické funkce pro zjištění  $x$ ové a  $y$ ové souřadnice bodu  $B$ .

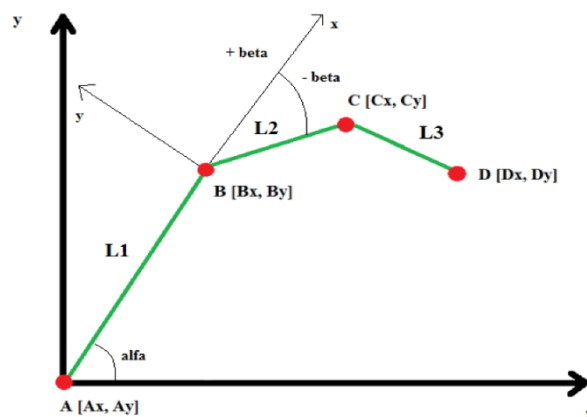
$$\sin(\alpha) = \frac{B_y}{L_1} \quad (1.2)$$

$$B_y = L_1 \sin(\alpha)$$

$$\cos(\alpha) = \frac{B_x}{L_1} \quad (1.3)$$

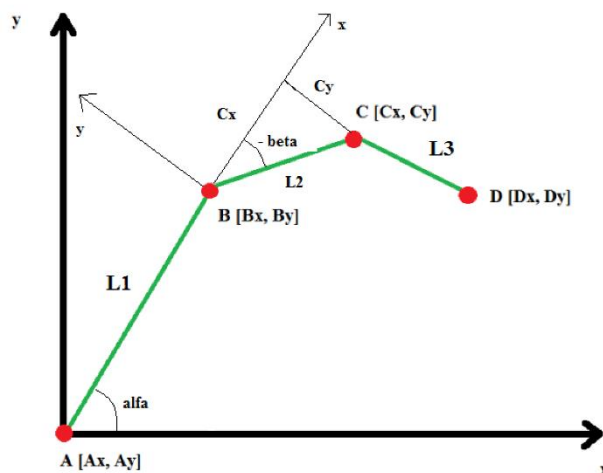
$$B_x = L_1 \cos(\alpha)$$

Abych mohl vypočítat souřadnice bodu  $C$ , musím v bodě  $B$  definovat nový souřadnicový systém.



Obr. 1.26 – Nový souřadnicový systém v bodě  $B$

Druhou souřadnici vypočítám tak, že udělám kolmici od nové osy nového souřadnicového systému směrem k bodu C.



Obr. 1.27 – Výpočet souřadnic bodu C

Nyní mohu opět použít standartní goniometrické funkce pro zjištění nové a yové souřadnice bodu C.

$$\delta = \alpha - \beta$$

$$\sin(\delta) = \frac{C_Y}{L_1} \tag{1.4}$$

$$C_{Y1} = L_2 \sin(\delta)$$

$$\delta = \alpha - \beta$$

$$\cos(\delta) = \frac{C_X}{L_1} \tag{1.5}$$

$$C_{X1} = L_2 \cos(\delta)$$

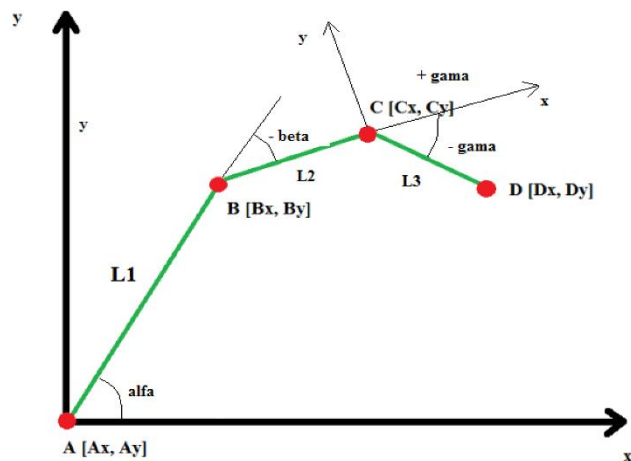
Protože jsem určil nový souřadnicový systém pro výpočet bodu C, který má počátek v bodě B, je nutné provést přepočít těchto souřadnic vzhledem k počátku.

$$C_X = B_X + C_{X1}$$

$$C_Y = B_Y + C_{Y1} \tag{1.6}$$

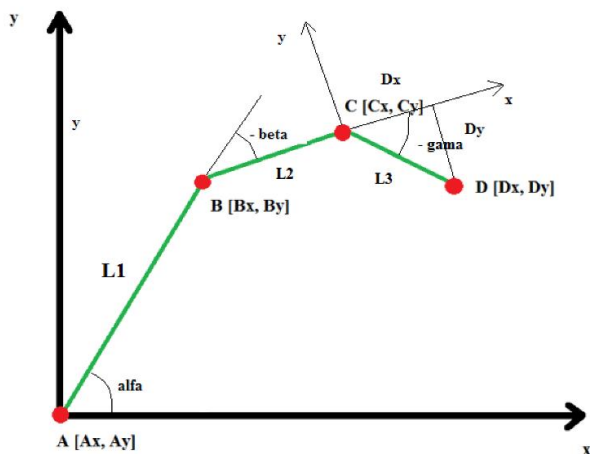
Abych mohl vypočítat souřadnice bodu D, musím v bodě C definovat nový souřadnicový systém.





Obr. 1.29 – Nový souřadnicový systém v bodě C

Druhou souřadnici vypočítám tak, že udělám kolmici od xové osy nového souřadnicového systému směrem k bodu D.



Obr. 1.28 – Výpočet souřadnic bodu D

Nyní mohu opět použít standartní goniometrické funkce pro zjištění xové a yové souřadnice bodu D.

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \alpha - \beta - \gamma \\ \sin(\varepsilon) &= \frac{D_{Y1}}{L_1} \end{aligned} \tag{1.7}$$

$$D_{Y1} = L_2 \sin(\varepsilon)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \alpha - \beta - \gamma \\ \cos(\varepsilon) &= \frac{D_{X1}}{L_1} \end{aligned} \tag{1.8}$$

$$D_{X1} = L_2 \cos(\varepsilon)$$

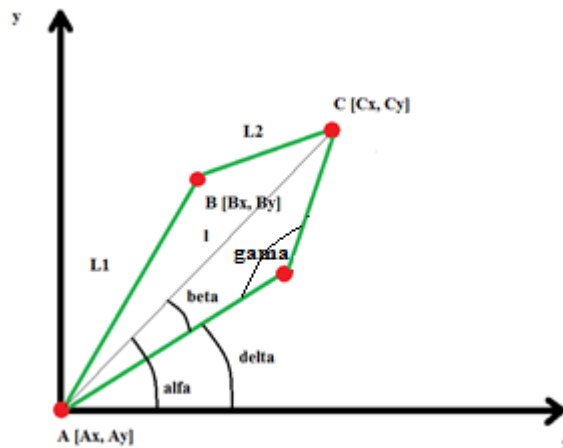
Protože jsem určil nový souřadnicový systém pro výpočet bodu  $D$ , který má počátek v bodě  $C$ , je nutné provést přepočítání těchto souřadnic vzhledem k počátku.

$$\begin{aligned} D_x &= C_x + D_{x1} \\ D_y &= C_y + D_{y1} \end{aligned} \quad (1.9)$$

#### 1.4.8.2 Inverzní úloha kinematiky

Inverzní úloha kinematiky se liší od předchozího způsobu tím (Grepl, 2007), že zde jsou zadány velikosti jednotlivých ramen a je známa pouze koncová poloha efektoru. Čili se musí dopočítat jednotlivé úhly natočení mezi rameny.

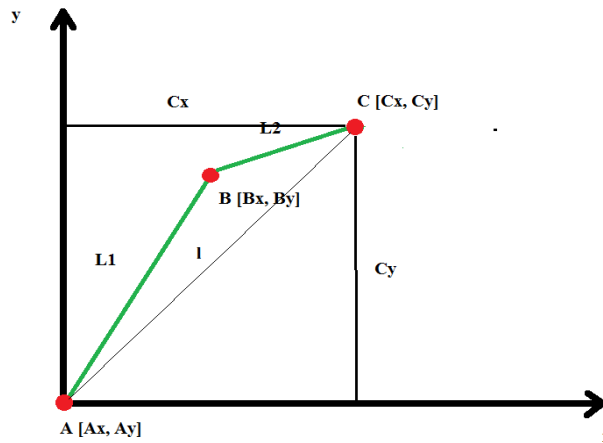
Největším problémem tohoto přístupu je v tom, že manipulátor se skládá obvykle s několika stupňů volnosti, čili pro tři a více stupňů volnosti je výpočet koncové polohy efektoru poměrně složitá záležitost a počet možných řešení natočení jednotlivých ramen může být i více. Proto jsem se rozhodl demonstrovat princip výpočtu na rovinném manipulátoru se dvěma stupni volnosti, kde mohu dospět k dvěma možným řešením.



Obr. 1.30 – Schématické znázornění rovinného manipulátoru

Nejprve musím spočítat stranu  $l$ , to provedu tak, že vynesu dvě kolmice na xovou a yovou osu. Následně pro výpočet strany  $l$  (přepony trojúhelníka) mohu využít znalosti Pythagorovi věty.

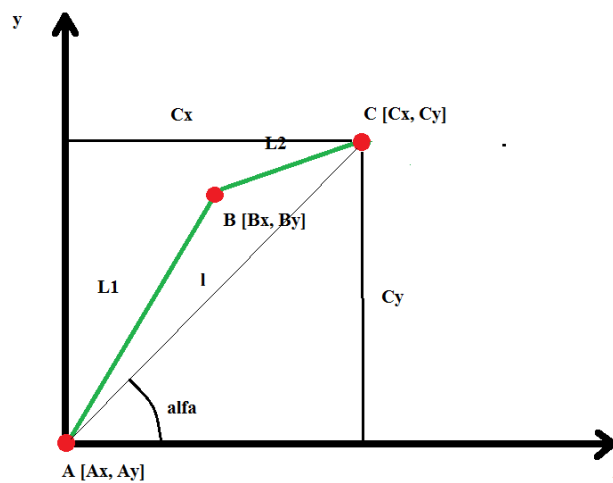
$$l = \sqrt{C_x^2 + C_y^2} \quad (1.10)$$



Obr. 1.31 – Výpočet přepony trojúhelníka

Dále musím vypočítat úhel  $\alpha$  mezi  $x$ ovou osou a přeponou trojúhelníka. K tomuto výpočtu použiji goniometrickou funkci.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{C_Y}{C_X} \quad (1.11)$$



Obr. 1.32 – Výpočet úhlu  $\alpha$

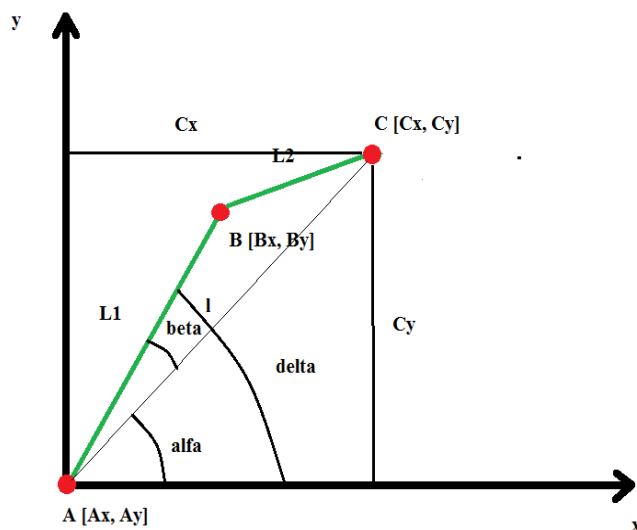
Pro výpočet úhlu  $\beta$  použiji kosinovu větu ve tvaru.

$$L_2^2 = L_1^2 + l^2 - 2L_1l \cos(\beta)$$

$$\beta = \cos^{-1} \left( \frac{L_1^2 + l^2 - L_2^2}{2L_1l} \right) \quad (1.12)$$

Pro výpočet celkového úhlu  $\delta$  naklonění prvního ramene musím úhel  $\beta$  připočíst k úhlu  $\alpha$ .

$$\delta = \alpha + \beta \quad (1.13)$$

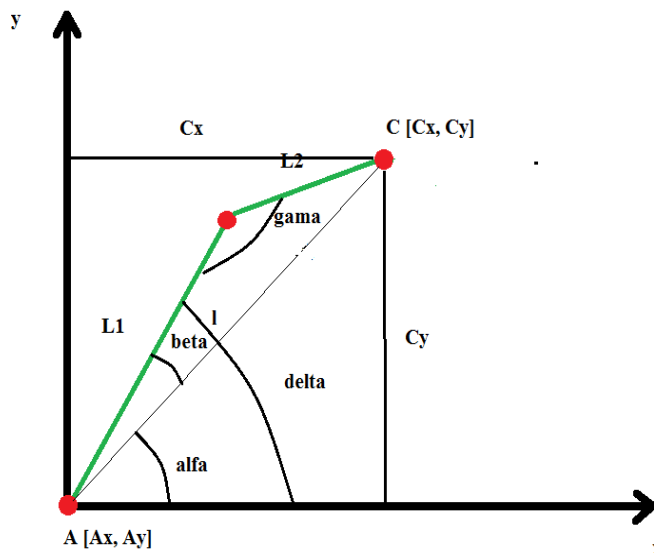


Obr. 1.33 – Výpočet úhlu  $\delta$

Pro výpočet  $\gamma$  použijí opět Kosinovu větu v následujícím tvaru.

$$l^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2L_1L_2 \cos(\gamma)$$

$$\gamma = \cos^{-1}\left(\frac{L_1^2 - l^2 + L_2^2}{2L_1L_2}\right) \quad (1.14)$$



Obr. 1.34 – Výpočet úhlu  $\gamma$

## 2 PRAKTICKÁ ČÁST

### 2.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O PROSTŘEDÍ SOLIDWORKS

Konstrukční program SolidWorks je vyvíjen společností Dassault Systemes SolidWorks Corp. (Baličky 3D CAD řešení, 2014), která nabízí kompletní 3D softwarové nástroje, pro navrhování výrobků z různých průmyslových odvětví. K dispozici jsou tři základní balíčky SolidWorks Standard, SolidWorks Profesional, SolidWorks Premium a samozřejmě nechybí i výhodné balíčky pro školy.

Balíček **SolidWorks Standard** umožňuje vytvářet díly, sestavy, plechové díly, svařence, složité ocelové konstrukce a tvorbu technické dokumentace.

Balíček **SolidWorks Profesional** má všechny funkce balíčku standard a navíc přináší knihovny, které obsahují standardizované díly i spojovací materiály a také nabízí nástroje pro odhad výrobních nákladů.

Balíček **SolidWorks Premium** má všechny funkce balíčku profesional a navíc obsahuje pokročilé funkce pro rozvody elektrických kabelů, potrubí a mnohé další funkce.

Při tvorbě složitějších sestav či modelů je určitě vhodné mít dostatečně výkonný počítač. Mezi základní systémové požadavky patří:

- Minimálně operační systém Windows 7 (s posledním Service packem 1)
- 4 GB RAM a víc pro tvorbu složitějších sestav
- Volné místo na pevném disku o hodnotě 100 GB
- Grafickou kartu s operační pamětí 512 MB RAM
- Rozlišení obrazovky 1 280 x 1024 a vyšší

### 2.2 ORIENTACE V PROSTŘEDÍ SOLIDWORKS

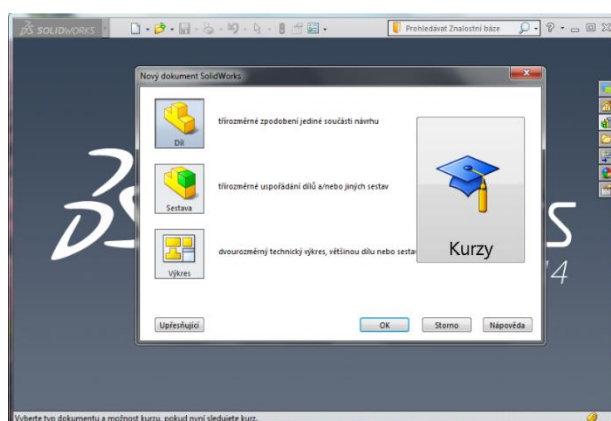
Při rozhodování jaký 3D konstrukční systém použiju pro návrh manipulátoru a jeho následnou výrobu, jsem bral na zřetel i to, že každá firma pracuje v jiném 3D konstrukčním systému. Moje volba padla na program SolidWorks Student Edition 2014 – 2015, protože firma u které jsem nechal vyrobit jednotlivé díly manipulátoru, tento systém hojně využívá i pro svoji běžnou strojírenskou výrobu. Konkrétně se tato firma zabývá konstrukcí výherních automatů, které vyvážá do celého světa.

Nicméně teď se zaměřím na základní popis tohoto systému. Při dvojitým stisknutí levého tlačítka myši na zástupce programu SolidWorks na ploše počítače se zobrazí úvodní obrazovka na obr. 2.1.



Obr. 2.1 – Základní okno SolidWorks

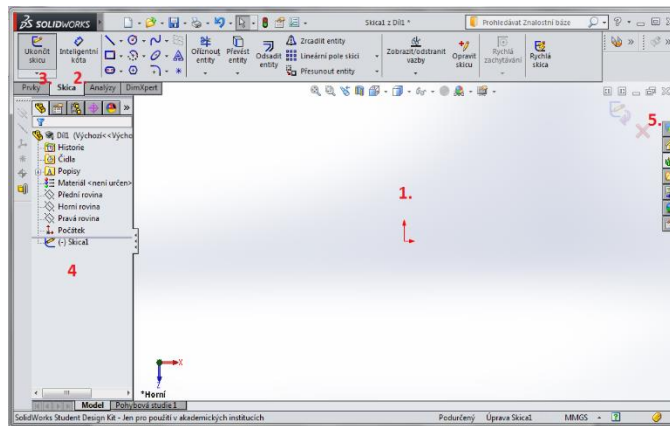
Dále jsem vyzván, zda chci vytvářet díl, sestavu či vytvořit technickou dokumentaci. Na vytváření sestav a tvorby technické dokumentace se zaměřím v dalších částech této diplomové práce.



Obr. 2.2 – Volba díl, sestava, technická dokumentace

Při volbě **Díl** se mi spustí plnohodnotný systém, kde je široká nabídka možností, jak příslušný model nakreslit, či vymodelovat. Při vytváření mého manipulátoru jsem využíval nejvíce tyto části programu, které jsou vidět na obr. 2.3.

Část pod číselným označením „1“ (**Kreslení**), který slouží k takzvanému vytvoření náčrtku, tato část je pro mě jedna z nejzásadnějších, protože každý vývoj začíná právě u náčrtku.

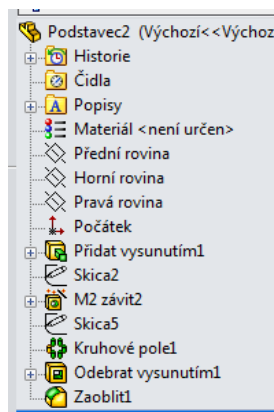


Obr. 2.3 – Nejvíce využívané části

Druhá část **Skica** slouží k nakreslení více zmiňovaného náčrtku, v této paletě nástrojů můžu najít funkce jako je přímka, obdélník, kružnice, polygon, elipsa, funkce zrcadlení, odsazení a mnoho dalšího.

Třetí část pod názvem **Prvky** najdu vše potřebné pro práci s tělesem v třírozměrném prostoru. Tady je několik nejpoužívanějších funkcí a to funkce pro přidání vysunutím, přidání rotací, odebrání vysunutím, zaoblení, zkosení a mnohé další.

Čtvrtá část **Property Manager**, který mi slouží jako ukazatel stavu projektu, to znamená, jaké funkce (např. zaoblení, přidání vysunutím atd.) jsem použil v průběhu vytváření dílu. Příklad property manageru je vidět na obr 2.4.



Obr. 2.4 – Ukázka Property Manageru

Poslední část je **Knihovna návrhů**, kde je možné najít předdefinované objekty, jakou jsou například šrouby, matice, podložky, ložiska, pera, ozubená kola a mnohé další. Tento toolbox je velice výhodné použít, když potřebuju udělat šroubový spoj a nechce se mi daný šroub kreslit.

## 2.3 POPIS MECHANICKÉ ČÁSTI MANIPULÁTORU

Celou konstrukci manipulátoru jsem rozdělil na šest hlavních částí a to sestavy jednotlivých servopohonu, sestavu podstavce, sestavu prvního ramene, druhého ramene a sestavu třetího ramene.

V prvé řadě, abych mohl vůbec začít s konstrukcí manipulátoru, bylo zapotřebí vybrat vhodné akční členy (servopohony) a získání jejich příslušných výkresových dokumentací pro převedení z dvourozměrného prostoru do třírozměrného prostoru v programu SolidWorks. Pro získání výkresové dokumentace jsem musel kontaktovat přímo výrobce, který sídlí v USA.

### 2.3.1 Sestava servopohonu Hitec 5245MG

Tento servopohon slouží u mého manipulátoru k ovládání koncového efektoru. Při výběru tohoto servopohonu hráli první roli především rozměry, aby se servopohon vešel do mé koncepce. Další aspekt při výběru byla samozřejmě cena, hmotnost, možnosti napájení, velikost plastového táhla, provedení převodovky, síla tahu a uložení osy serva. Typ převodovky byl pro mě velice zásadní, protože některé typy servopohonů mají uložení převodovky z plastového materiálu a to bylo pro mne nežádoucí z toho důvodu, protože tento typ převodovky by nemusel vydržet uchopení těžšího předmětu.



Obr. 2.5 – Servopohon Hitec 5245MG

Do tabulky jsem sepsal několik základních vlastností, které poskytuje výrobce na svých internetových stránkách.

Tab. 2.1 – Základní vlastnosti Hitec 5245MG

Základní vlastnosti		
	Při 4.8 V	Při 6 V
Tah	4,4 kg·cm <sup>-1</sup>	5,2 kg·cm <sup>-1</sup>
Rychlost (60st/s)	0,15	0,12
Kuličková ložiska	1×BB	
Rozměry	32,4×16,8×31 mm	
Hmotnost	32 g	
Napájení	4,8 – 6 V	

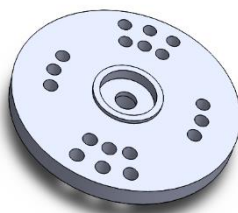


Dále bylo nutné v prostředí SolidWorks nakreslit trojrozměrný model výše zmiňovaného servopohonu pro následný návrh a rozmístění dílu efektoru. Celkový pohled na trojrozměrný model servopohonu je vidět na obr. 2.6.



Obr. 2.6 – Sestava servopohonu Hitec 5245MG

V dalších kapitolách této diplomové práce budu používat termín plastové táhlo servopohonu, na následujícím obrázku je toho táhlo vyobrazeno.



Obr. 2.7 – Plastové táhlo servopohonu typu Hitec 5245MG

### 2.3.2 Sestava servopohonu Hitec 7945SH

Tento servopohon typu Hitec 7945SH slouží u mého manipulátoru pro ovládání nejen podstavce, ale i prvního ramene, druhého ramene a třetího ramene. Podmínkou při výběru servopohonu byla opět cena, hmotnost, možnost napájení, celkové rozměry, provedení převodovky, uložení osy serva, typ táhla a síla tahu.



Obr. 2.8 – Servopohon Hitec 7954SH

Do tabulky jsem sepsal několik základních vlastností, které poskytuje výrobce na svých internetových stránkách.

Tab. 2.2 – Základní vlastnosti Hitec 7954SH

Základní vlastnosti		
	Při 6 V	Při 7,4 V
Tah	24 kg·cm <sup>-1</sup>	29
Rychlost (60st/s)	0,15	0,12
Kuličková ložiska	2×BB	
Rozměry	40×20×38 mm	
Hmotnost	68 g	
Napájení	6 – 7,4 V	

Dále bylo nutné v prostředí SolidWorks nakreslit trojrozměrný model výše zmiňovaného servopohonu pro následný návrh a rozmístění ostatních dílů manipulátoru. Celkový pohled na trojrozměrný model servopohonu je vidět na obr. 2.9.



Obr. 2.9 – Sestava servopohonu typu Hitec 7954SH

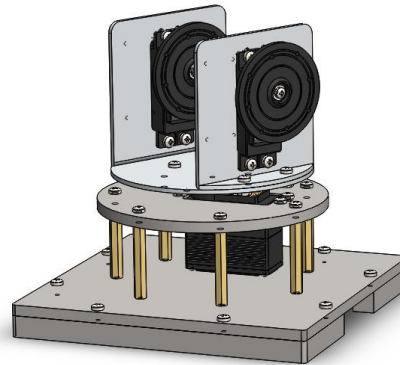
V dalších kapitolách této diplomové práce budu používat termín plastové táhlo servopohonu, na následujícím obrázku je toho táhlo vyobrazeno.



Obr. 2.10 – Plastové táhlo servopohonu Hitec 7459SH

### 2.3.3 Sestava podstavce

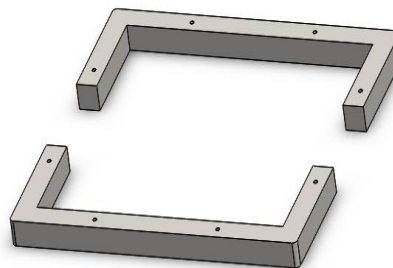
Návrh podstavce byl jednou z nejtěžejnějších částí návrhu manipulátoru, protože musel splňovat hned několik podmínek. Sestava podstavce musela být dostatečně těžká, aby nedocházelo k převažování celého manipulátoru a tím nedošlo k jeho poškození. Dále bylo nutné navrhnout vhodné rozmístění tří servopohonů typu Hitec 7954SH, aby bylo možné připevnit další části manipulátoru. Dále bylo zapotřebí navrhnout vhodné rozmístění všech otvorů a to i z hlediska snadného přístupu.



Obr. 2.11 – Sestava podstavce

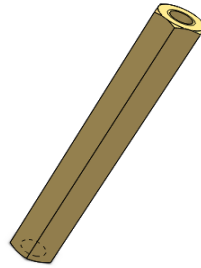
**Sestava podstavce** se skládá z několika částí a to ze závaží, desky závaží, distančních sloupků, držáku serva, otočné hlavy a stojnice.

**Závaží** je vyrobeno ze železa o tloušťce a šířce deset milimetrů a je něm vytvořeno osm závitů typu M3 pro spojení s deskou závaží.



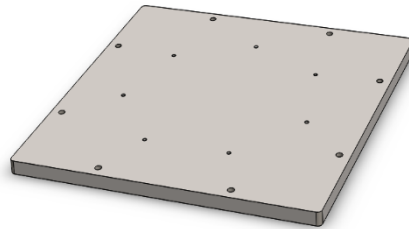
Obr. 2.12 – Závaží

Kovový distanční sloupek má délku třicet pět milimetrů a je opatřen závitěm typu M3, který je z obou stran. Tento distanční sloupek slouží ke spojení desky závaží



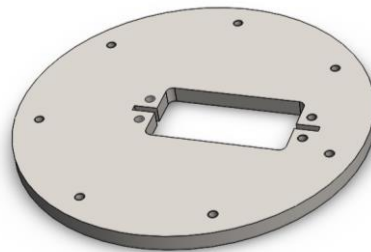
Obr. 2.13 – Distanční sloupek 35 mm

**Deska závaží** je rovněž vyrobena ze železa čtvercového typu o tloušťce pět milimetrů, na kterém je patnáct otvorů o průměru tři milimetry. Otvory, které jsou na okraji desky, slouží ke spojení se závažím. Zbývající otvory, které jsou koncipovány doprostřed desky, jsou navrženy tak, aby do prostoru mezi těmito otvory bylo možné umístit servopohon.



Obr. 2.14 – Deska závaží

**Držák serva** je kruhového půdorysu o průměru sto pět milimetrů a je opatřen jedenácti otvory o průměru tři milimetry. Sedm otvorů, které jsou umístěny u kraje, slouží ke spojení držáku a distančních sloupků. Velký otvor se čtveřicí děr, který je umístěn směrem ke středu držáku slouží k umístění a upevnění serva. Tento velký otvor byl navržen tak, aby střed otáčení serva byl se středem držáku.



Obr. 2.15 – Držák serva

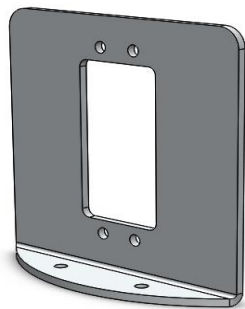
**Otočná hlava**, je vyrobena z hliníku o tloušťce dva milimetry. Na této otočné hlavě je umístěno hned několik děr. Čtveřice takzvaných „ližin“, které jsou umístěny na okrajích otočné hlavy, slouží k přesnému upevnění (doladění) stojnic serv, mezi kterými musí být dodržena

vzdálenost šedesáti milimetrů. Další čtveřice děr, která je umístěna ke středu otočné hlavy slouží k mechanickému spojení kruhové plastové páky servopohonu a otočné hlavy. Největší díra, která je uprostřed slouží k přístupu závitu kovové osy serva.

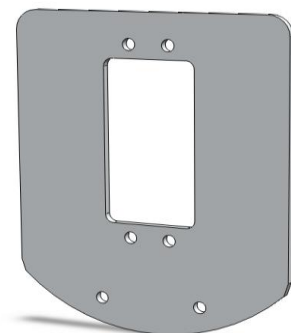


Obr. 2.16 – Otočná hlava

**Stojnice**, u návrhu tohoto dílu jsem se střetl s problémem, protože se jedná o tvorbu ohýbaných částí z plechů. Když jsem tuto část zadával do výroby, tak mě na tuto chybu hned upozornili a já tento díl musel předělat to takzvaného rozvinutého stavu. Na každý ohyb jsem musel připočítat přírůstek, aby výsledný díl měl požadovanou velikost. Rozvinutý a nerozvinutý pohled je vidět na následujících obrázcích.



Obr. 2.17 – Nerozvinutý (ohnutý) tvar stojnice



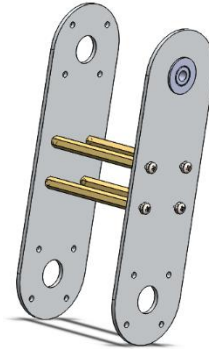
Obr. 2.18 – Rozvinutý tvar stojnice

Ohyb u tohoto dílu jsem navrhl proto, že samotný díl obr. 2.16 je vyroben z hliníku o tloušťce dva milimetry a při zatížení (např. při pohybu) manipulátoru by došlo k jeho nenávratnému poškození (deformaci). Ohybem dílu obr. 2.18 jsem zajistil zvýšení mechanické zatížitelnosti dílu obr. 2.16.

Všechny díry, které slouží k mechanickému spojení s dalším díly či komponenty manipulátoru, mají průměr tří milimetry. Díry, které jsou ve spodu dílu u rozvinutého tvaru stojnice jsou navrženy tak, aby se dal snadno přišroubovat k dílu obr. 2.16.

### 2.3.4 Sestava prvního ramene

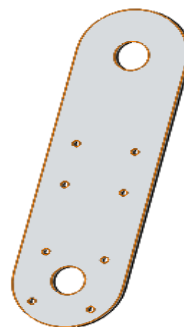
Sestava prvního ramene se skládá ze čtyř částí a to rameno 1 – část první, rameno 1 – část druhá, distančních sloupeků a ložiska. U této sestavy jsem strávil mnoho času nad tím, jak vyřešit kloubový spoj mezi jednotlivými rameny. Nakonec jsem dospěl k velice jednoduchému a levnému řešení a to za použití miniaturního ložiska a šroubového spoje.



Obr. 2.19 – Sestava prvního ramene

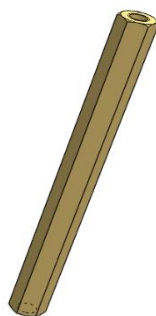
**Rameno 1 – část první**, je vyrobeno z hliníku o tloušťce dva milimetry. V dolní části tohoto dílu je vidět pět otvorů. Z nich ten největší slouží pouze k lepšímu přístupu a

k přišroubování plastového táhla ke kovové ose serva. Další otvory o průměru tři milimetry, které jsou v blízkosti tohoto otvoru, slouží k mechanickému upevnění kruhového plastového táhla k tomuto dílu. Otvory, které jsou umístěny uprostřed o průměru tři milimetry, slouží k připevnění jednotlivých distančních sloupeků jak je patrné z obr. 2.23. Otvor, který je umístěn nahoře dílu slouží pro vložení ložiska o vnějším průměru čtrnácti milimetrů.



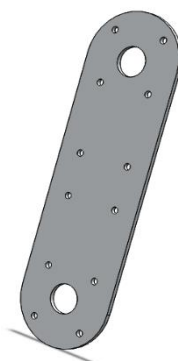
Obr. 2.20 – Rameno 1 - část

**Kovový distanční sloupek**, který slouží k spojení rameno 1 – první část a rameno 1 – druhá část. Tento distanční sloupek o celkové délce šedesáti milimetrů je opatřen dvojicí závitů typu M3 z obou stran.



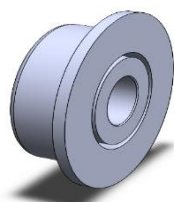
Obr. 2.21 – Distanční sloupek 60 mm

**Rameno 1 – část druhá**, je v podstatě obdobný díl jako předchozí s tím rozdílem, že v horní části dílu není otvor pro vložení miniaturního ložiska, ale jsou tam otvory pro upevnění dalšího kruhového plastového táhla serva.



Obr. 2.22 – Rameno 1 - část druhá

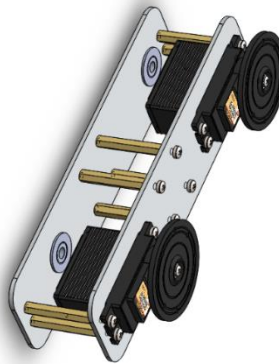
**Ložisko**, které je použito u všech kloubových spojů manipulátoru. Ložiska jsem volil z toho důvodu, abych minimalizoval tření mezi jednotlivými díly a pohyb ramene byl co nejplynulejší. Konkrétně se jedná o uzavřené ložisko s přírubou typu F 605 2Z. Šířka ložiska je pět milimetrů, vnější průměr je čtrnáct milimetrů a vnitřní průměr ložiska pět milimetrů. Vnitřní průměr ložiska jsem volil tak, aby se jim dal prostrčit šroub typu M5. Model ložiska je možné vidět na obr 2.23.



Obr. 2.23 – Ložisko pro kloubový spoj

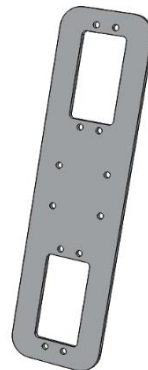
### 2.3.5 Sestava druhého ramene

Sestava druhého ramene se skládá rovněž ze čtyř částí a to rameno 2 – část první, rameno 2 – část druhá, distanční sloupek a dvou miniaturních ložisek. U návrhu této sestavy jsem musel brát na zřetel fakt, že se tato sestava bude muset vejít mezi ramena sestavy prvního ramene obr. 2.19. Dále bylo zapotřebí navrhnout rozmístění dvojice servopohonů typu Hitec 7954SH. Sestava druhého ramene je vidět na obr. 2.24.



Obr. 2.24 – Sestava druhého ramene

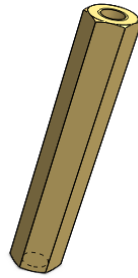
**Rameno 2 - první část**, na kterém je vidět dvojice velkých otvorů se čtveřicí děr o průměru tři milimetry na každé straně, slouží k upevnění servopohonů a distančních sloupků. Další čtveřice děr o velikosti tři milimetry, které jsou orientovány doprostřed dílu jsou také pro upevnění distančních sloupků.



Obr 2.25 – Rameno 2 - první část

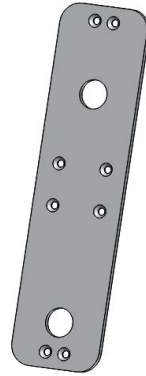
Plastový **distanční sloupek** o délce třiceti pěti milimetrů, na kterém jsou rovněž opatřeny závity typu M3 z obou stran. Sloupek z plastu jsem volil proto, abych snížil celkovou hmotnost a aby nedocházelo k velkému namáhání servopohonu, které toto rameno pohání. Tento distanční sloupek slouží ke spojení dílů, které jsou na obr. 2.27 a obr 2.25.





Obr. 2.26 – Distanční sloupek 35 mm

**Rameno 2 - část druhá**, je zde osm otvorů o průměru tři milimetry, které slouží k upevnění distančních sloupků. Dále je na obr. 2.27 vidět dvojice čtrnácti milimetrových otvorů, které slouží pro vložení miniaturních ložisek, které jsem popsal v kapitole výše.

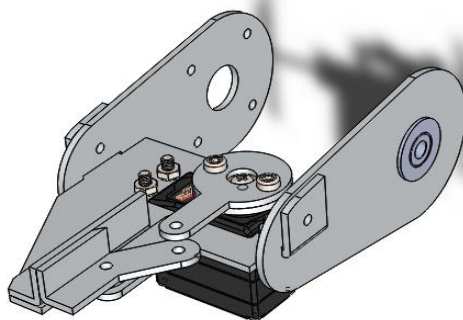


Obr. 2.27 – Rameno 2 - část druhá

### 2.3.6 Sestava třetího ramene

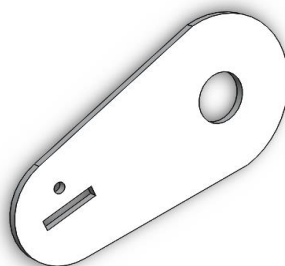
Tato sestava se skládá celkem ze sedmi dílů a to z ramene 3 – první část, rameno 3 – druhá část, rameno 3 – třetí část spojnice ramen vrchní díl, rameno 3 – třetí část spojnice ramen spodní díl, ramena 3 – třetí část táhlo efektoru, ramena 3 – pátá část táhlo efektoru, ramena 3 – šestá část rameno efektoru.

U této sestavy jsem řešil nejen ohýbané části z plechu, umístění servopohonu typu Hitec 5245MG, ale i mechanismus koncového efektoru. U této sestavy jsem strávil mnoho času nad tím, že se zde vyskytnul problém nejen s nedostatkem místa pro poslední servopohon, ale i s mechanismem efektoru. Proto jsem musel navrhnout tuto sestavu s takovými rozměry, abych tyto problémy odstranil. Celková sestava třetího ramene je vidět na obrázku obr. 2.29.



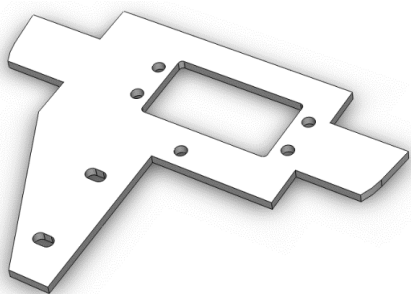
Obr. 2.29 – Sestava třetího ramene

**Rameno 3 - první část**, na kterém můžu nalézt trojici otvorů z níž ten první který se nachází na pravé straně dílu, slouží k vložení miniaturního ložiska. Druhý otvor, který se nachází na levé straně dílu a je obdélníkového tvaru slouží k prostrčení a umístění dílu který je na obr. 2.31.

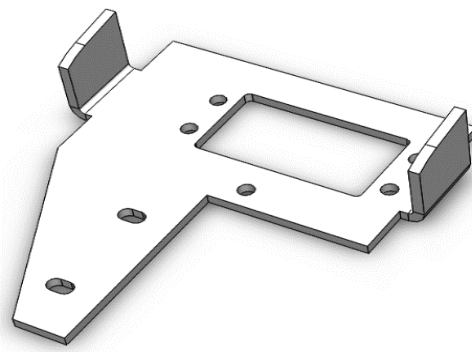


Obr. 2.28 – Rameno 3 - první část

**Rameno 3 – třetí část spojnice ramen**, tento díl je jeden z nejkomplicovanějších, protože na tento díl jsem musel umístit servopohon typu Hitec 5245MG a navrhnout díly efektoru. Když jsem tento díl zadával do výroby, musel opět být v rozvinutém tvaru obr. 2.30 a po jeho následném ohnutí vypadá díl obr. 2.31.



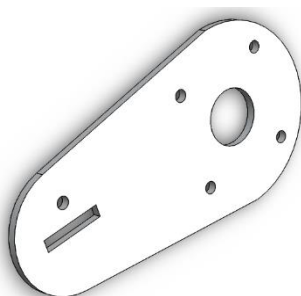
Obr. 2.30 – Rameno 3 – třetí část spojnice ramen spodní díl (rozvinutý tvar)



Obr. 2.31 – Rameno 3 – třetí část spojnice ramen spodní díl (nerozvinutý tvar)

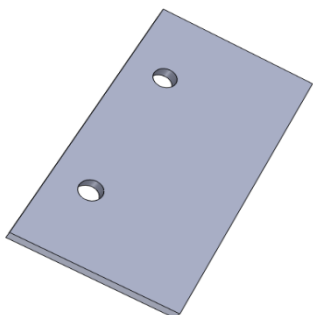
Tento díl je vyroben z hliníku o tloušťce dva milimetry a je na něm celkem osm otvorů a slouží k mechanickému spojení ramen z obr. 2.28 a obr. 2.32. V horní části dílu je velký otvor se čtveřicí děr, které slouží pro umístění výše zmiňovaného servopohonu. Zbývající díry jsou uzpůsobeny pro umístění jednotlivých dílů efektoru.

**Rameno 3 – druhá část**, tento díl je obdobný, jako je díl z obr. 2.28 s tím rozdílem, že v horní části dílu není otvor pro vložení ložiska, ale jsou tam otvory pro připevnění plastového táhla servopohonu. Otvory v dolní části slouží pro připevnění dílů z obr. 2.31.

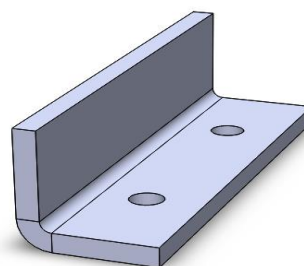


Obr. 2.32 – Rameno 3 - druhá část

**Rameno 3 – třetí část spojnice ramen vrchní díl**, zde se opět jedná o ohýbaný díl z hliníku o tloušťce dva milimetry. Tento díl slouží jako pevná část efektoru. Díry na tomto dílu o průměru tři milimetry slouží ke spojení s dílem na obr. 2.31. Jeho rozvinutý a nerozvinutý pohled je vidět na obr. 2.33 a obr. 2.34.



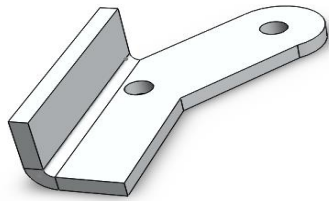
Obr. 2.33 – Rameno 3 –  
třetí část spojnice ramen  
vrchní díl (rozvinutý tvar)



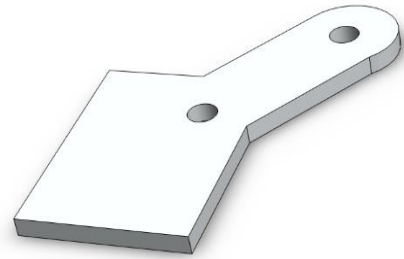
Obr. 2.34 – Rameno 3 – třetí  
část spojnice ramen vrchní  
díle (nerozvinutý tvar)

**Rameno efektoru, táhlo efektoru – první část a táhlo efektoru – druhá část**, tyto tři díly slouží jako mechanismus koncového efektoru. Všechny výše zmiňované díly jsou vyrobeny z dvoumilimetrového hliníku a všechny otvory, které jsou na něm vyvrtány, jsou o

průměru tři milimetry. U ramene efektoru jsou vidět dva otvory, které jsou navrženy tak, aby se tento mechanismus mohl pohybovat rovnoběžně od dílu z obr. 2.34.



Obr. 2.35 – Rameno efektoru  
(nerozvinutý tvar)



Obr. 2.36 – Rameno efektoru  
(rozvinutý tvar)

**Táhlo efektoru** slouží pouze jako mechanická podpěra ramene efektoru.



Obr. 2.37 – Táhlo efektoru první část

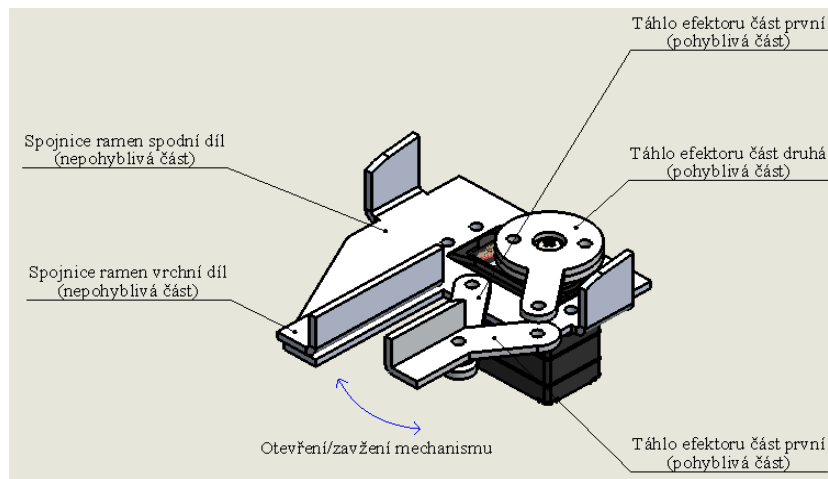
**Táhlo efektoru – druhá část**, tento díl slouží k samotnému vykonání rovnoběžného pohybu (uchopení) od dílů z obr. 2.34.



Obr. 2.38 – Táhlo efektoru druhá část

## 2.4 MECHANISMUS KONCOVÉHO EFEKTORU

Mechanismus koncového efektoru má dvě části a to část pevnou a část pohyblivou. Část pohyblivá vykovává samotné uchopení předmětu a to za pomoci servopohonu typu Hitec 5242MG na jehož plastovém táhlu je umístěno táhlo efektoru druhá část. Toto táhlo pohybuje s ramenem efektoru první díl, ramenem efektoru druhý díl a táhlem efektoru první díl. Nepohyblivá část tohoto mechanismu je tvořena pouze dvěma díly a to spojnicí ramen spodní díl a spojnicí ramen vrchní díl.



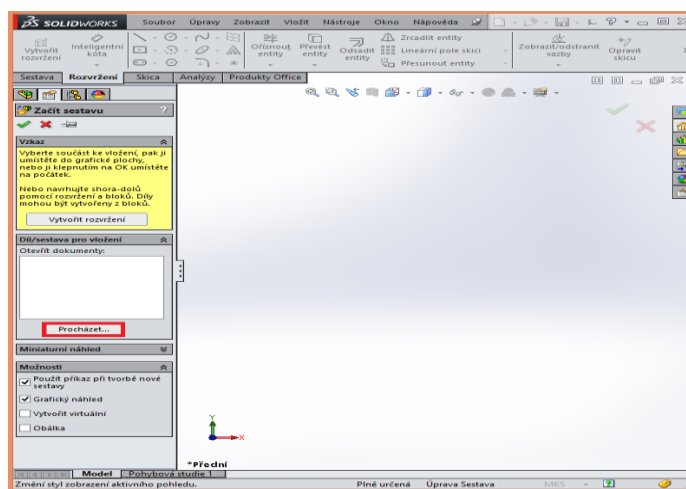
Obr. 2.39 – Mechanismus koncového efektoru

## 2.5 TVORBA VIZUALIZACE V PROSTŘEDÍ SOLIDWORKS

V předchozích kapitolách jsem popsal jednotlivé sestavy a jejich díly. V této kapitole bych se zaměřil na tvorbu celkové vizualizace manipulátoru v prostředí SolidWorks.

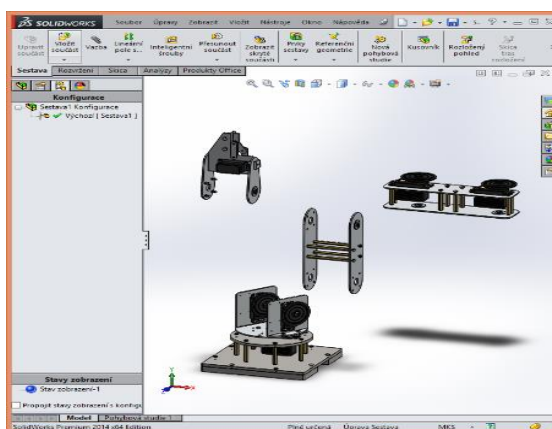
Protože se jedná o poměrně zdoluhavý proces vytváření vazeb mezi jednotlivým díly manipulátoru, rozhodl jsem se, že tento princip ukáži pouze na dvou hlavních sestavách a to sestavě podstavce a sestavě prvního ramene.

Nejprve spustím prostředí SolidWorks kde jsem vyzván, zda chci vytvářet díl, sestavu či technickou dokumentace, pro můj případ zvolím **tvorbu sestavy**. Po naběhnutí systému se na levé straně monitoru nachází tlačítko procházet, naznačeno červeným obdélníkem. Při stisknutí tohoto tlačítka mohu vyhledat příslušnou sestavu v počítači a následně ji vložit do projektu. Tímto způsobem vložím všechny potřebné sestavy do projektu.



Obr. 2.40 – Vložení sestavy

Po vložení všech sestav bez jakýchkoliv uprav (vazeb) je vidět stav projektu na Obr. 2.41. Abych dostal příslušný tvar manipulátoru, musím mezi jednotlivé sestavy vložit takzvané „vazby“. Vazba může být typu sjednocená, soustředná, rovnoběžná, kolmá nebo tečná.



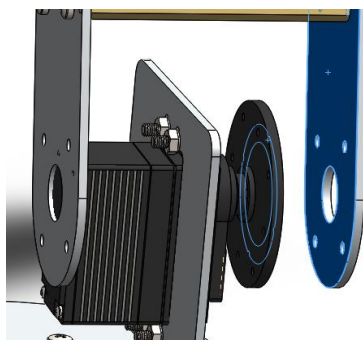
Obr. 2.41 – Vizualizace manipulátoru bez vazeb

Ted' vložím jednotlivé vazby mezi sestavu podstavce a sestavu prvního ramene. To provedu tak, že označím ty části dílu (plochy), mezi kterými chci vytvořit vazbu (výběr příslušných ploch je vidět na obr. 2.42). Poté zvolím na horní paletě nástrojů možnost **vazba** a zvolím typ vazby jako **soustředná**.



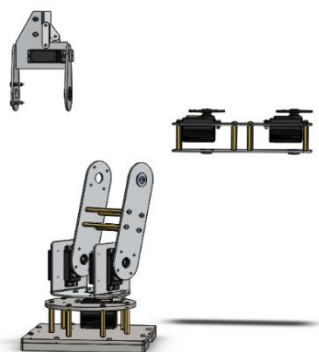
Obr. 2.42 – Výběr ploch pro vytvoření soustředné vazby

Dále musím vytvořit druhou vazbu a to vazbu **sjednocenou** obr. 2.43, abych dostal rameno do požadované polohy.



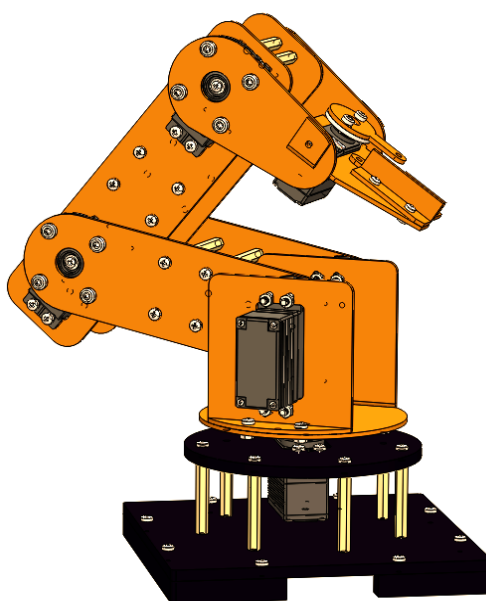
Obr. 2.43 – Výběr ploch pro vytvoření sjednocené vazby

Po vložení dvou výše zmíněných vazeb budu mít manipulátor ve stavu, který je vyobrazený na následujícím obrázku. Abych přidal vazby mezi ostatní sestavy, postupuji obdobným způsobem, jako při vkládání vazeb mezi sestavu podstavce a sestavu prvního ramene.



Obr. 2.44 – Vazby mezi sestavou podstavce a sestavu prvního

Po přidání všech zbývajících vazeb a po přidání šroubových spojů vypadá celková vizualizace manipulátoru následujícím způsobem.



Obr. 2.45 – Celková vizualizace

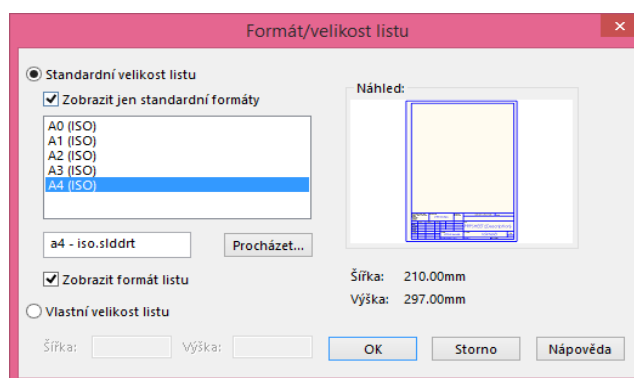
Tab. 2.3 – Předpokládané parametry manipulátoru

Napájecí napětí servopohonů	5 V
Odběr	3 A
Váha	1,75 kg
Dosah efektoru	28 cm
Počet stupňů volnosti	5
Rozměry	230×230×140 mm
Materiál	Kombinace železa a hliníku
Maximální hmotnost břemena	200 – 300 g

## 2.6 TVORBA TECHNICKÉ DOKUMENTACE V PROSTŘEDÍ SOLIDWORKS

Poslední nedílnou součástí předvýrobního procesu je vytvoření technické dokumentace všech dílů manipulátoru. Protože se jedná opět o velice zdlouhavý proces, princip tvorby technické dokumentace v prostředí SolidWorks ukáží pouze na jednom dílu manipulátoru a to na dílu z obr. 2.37.

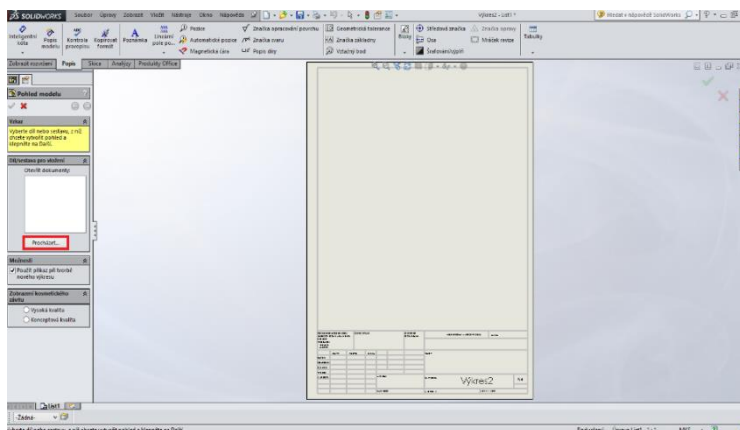
Opět spustím prostředí SolidWorks, kde se mi zobrazí úvodní obrazovka s možnostmi tvorba dílu, sestavy či výkresu. Pro vytvoření technické dokumentace zvolím možnost **výkres**. Po zvolení možnosti výkres jsem vyzván k výběru velikosti formátu výkresu, pro tento konkrétní díl jsem zvolil formát A4.



Obr. 2.46 – Volba formátu výkresu

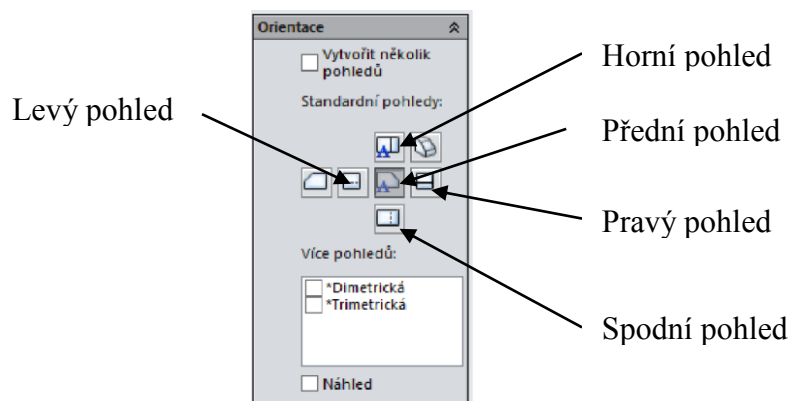
Pro vložení součásti do projektu musím kliknout na tlačítko procházet, které se nachází na levé straně obrazovky naznačeno červeným obdélníkem na obr. 2.47 a danou součást vyhledat na pevném disku mého počítače.





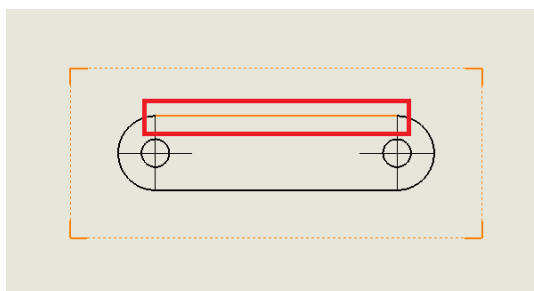
Obr. 2.47 – Vložení součásti do výkresové dokumentace

Dále jsem vyzvám, jaký typ pohledu chci vložit do projektu. Mezi základní typy pohledů v prostředí SolidWorks patří tyto základní a to přední, spodní, horní, levý a pravý pohled obr. 2.48. Pro tento případ zvolím horní pohled a doplním součást o příslušné kóty.



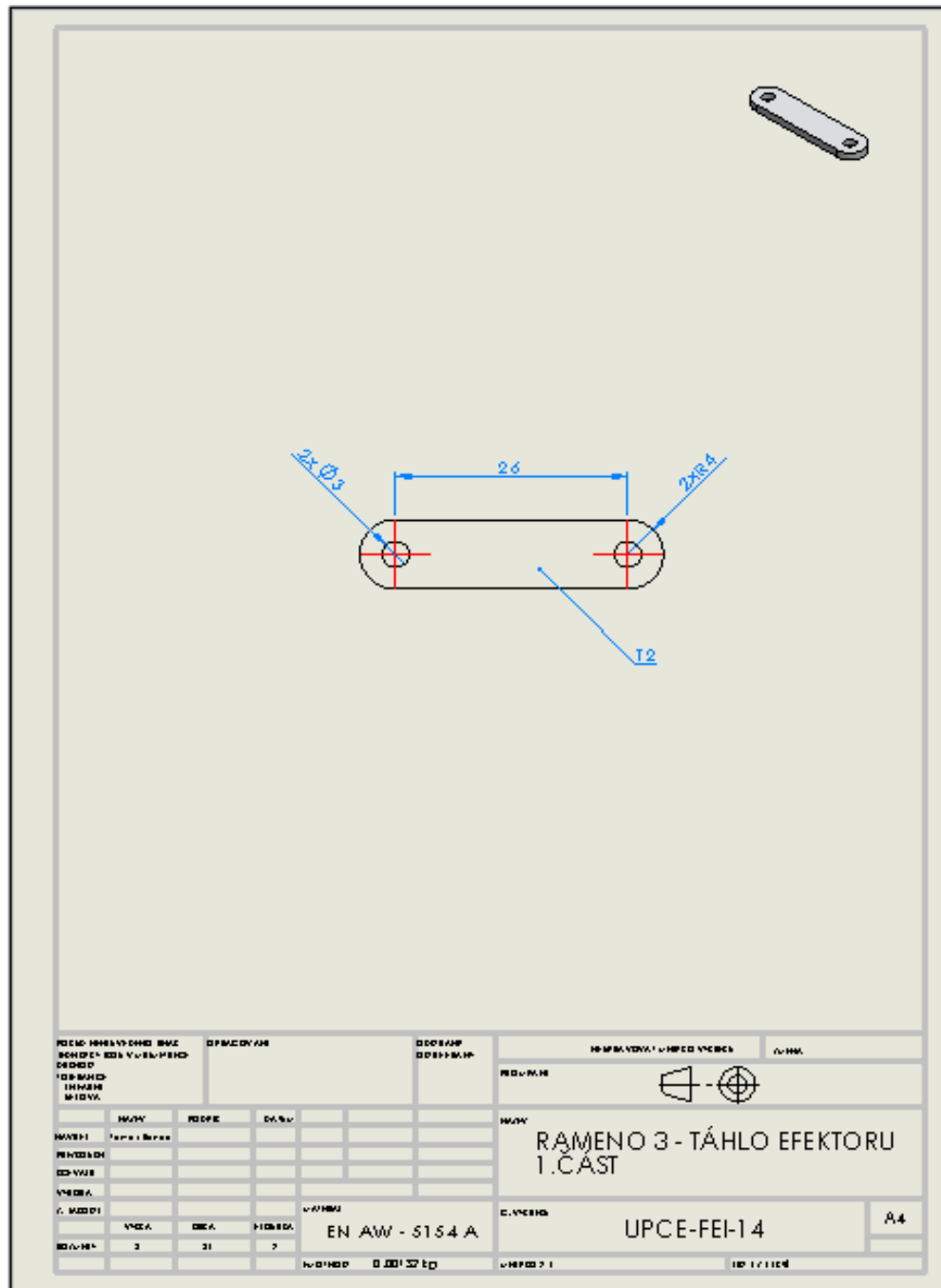
Obr. 2.48 – Volba pohledů

Pro vynášení jednotlivých kót, použiti v horní paletě nástrojů příkaz inteligentní kóta. Kótu vynesu tak, že se přiblížím kurzorem myši nad požadované místo, kde chci vynést kótu a právě toto místo změní svojí barvu z obvyklé černé na oranžovou. Jestliže se tato změna barvy vykoná, stačí pouze kliknout na levé tlačítko myši a kótu vynést.



Obr. 2.49 – Změna barvy při vynášení kót

Samotné vynášení kót má svoje pravidla a to, že výsledný výkres nesmí být takzvaně „překótovaný“ zvyšovalo by to jeho nečitelnost. Žádná kóta nesmí být vynesena dvakrát a musí být zakótovaná tak, aby se dala součást podle výkresu vyrobit. Jistě pravidel je mnohem více a právě proto jsem uvedl pouze tyto, protože těmito základními pravidly, které jsem zde uvedl, by se měl řídit úplně každý. Po vynesení všech potřebných kót a vyplnění popisového pole vypadá výkres následujícím způsobem.



Obr. 2.50 – Vytvoření výkresu

## 2.7 POPIS ELEKTRICKÉ ČÁSTI MANIPULÁTORU

### 2.7.1 Napájecí zdroj

Spínaný napájecí zdroj od zahraniční firmy Mean Well je použit pro napájení jednotlivých stabilizátorů. Tyto stabilizátory zajišťují správnou hodnotu napětí pro veškerou elektroniku manipulátoru. Tento napájecí zdroj se vyznačuje tím, že je schopný při výstupním stejnosměrném napětí 12 V dodávat hodnotu proudu až 5 A, který je potřeba při větším zatížení jednotlivých servopohonů a je ideální volbou pro tento účel.



Obr. 2.51 – Napájecí zdroj Mean Well (Spínaný zdroj, 1990-2015)

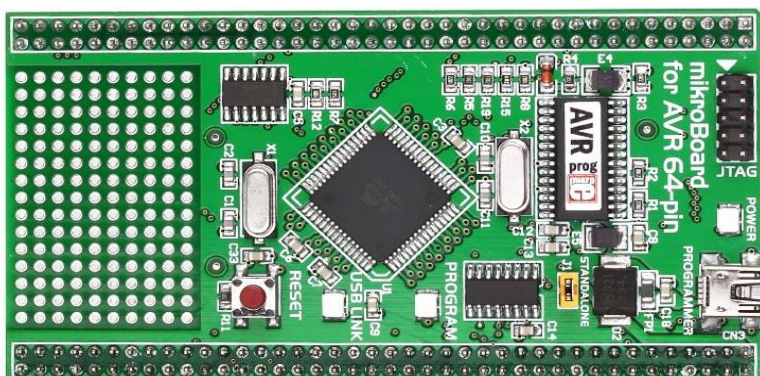
Tab. 2.4 – Parametry napájecího zdroje Mean Well

Typ	LPV – 60 – 12
Vstupní napětí	230 AC
Výstupní napětí	12 V
Výstupní výkon	60 W
Výstupní proud	5 A
Stupeň krytí	IP67
Typ chlazení	pasivní
Hmotnost	0,4 kg
Rozměry	162,5×42,5×32 mm

### 2.7.2 Mikroprocesorová jednotka

Pro řízení manipulátoru byl zvolen modul od zahraniční firmy Mikroelektronika s osazeným mikroprocesorem ATmega128 z toho důvodu, že má dva šestnácti bitové čítače/časovače a každý s těchto časovačů má tři samostatné piny na kterých je možné generovat PWM a které zároveň slouží k ovládání šesti servopohonů manipulátoru. Tento modul byl také vybrán proto, že má dostatek V/V pinů, které mohou sloužit pro další rozšíření manipulátoru. Modul také nabízí dva způsoby programování a to buď za pomoci integrovaného programátoru

typu AVRprog nebo za použití externího programátoru pomocí rozhraní JTAG. Programování a i samotná komunikace s tímto integrovaným programátorem (modulem) je velice intuitivní a snadná a to i za pomoci vývojového prostředí **MicroC PRO AVR**, který je dostupný na internetových stránkách výrobce.



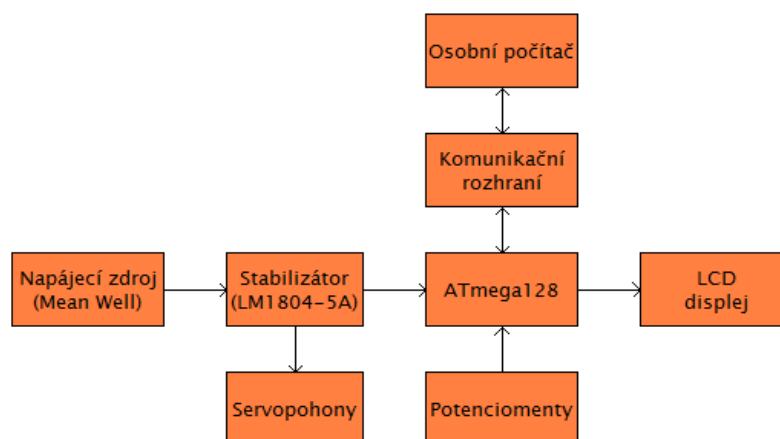
Obr. 2.52 – Modul s mikroprocesorem ATmega128 (Development System, 2014)

Tab. 2.5 – Parametry mikroprocesorového modulu s ATmega128

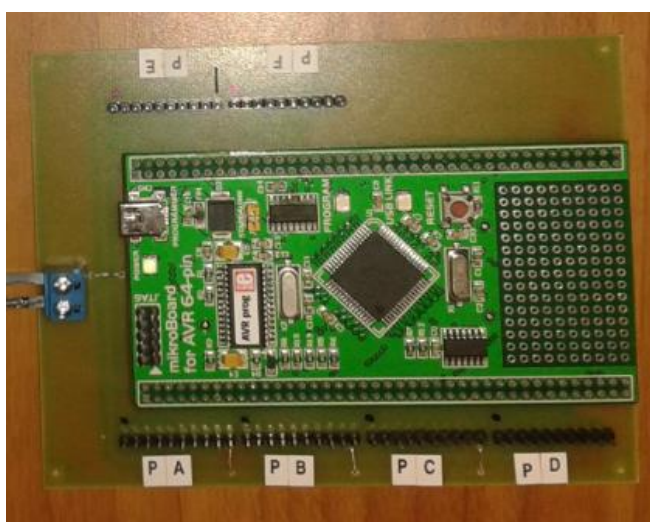
Napájecí napětí	4,5 – 5,5 V
Externí oscilátor	8 MHz
Flash paměť	128 Kbytes
SRAM paměť	4 Kbytes
EEPROM paměť	4 Kbytes
Čítač/Časovač	2×8 – bit, 2×16 – bit
PWM	2×8 – bit, 6×16 – bit
A/D převodník	8×kanál, 10 – bit ADC
Počet V/V pinů	40
Integrovaný programátor	AVRprog
Připojení externího programátoru	JTAG rozhraní

Jelikož by bylo velice obtížné připojit k tomuto modulu další periferie, musel jsem navrhnout patici (desku plošného spoje), do které se modul jednoduše umístí a zároveň slouží k připojení dalších periférii manipulátoru. Na patici jsem vyvedl všechny V/V porty mikroprocesoru a ke každému V/V portu je přidán pin s napájením.

Hardwarové části, které jsou připojeny k mikroprocesoru, jsou vyobrazeny následujícím blokovým schématem.



Obr. 2.53 – Blokové schéma zapojení mikroprocesorového modulu



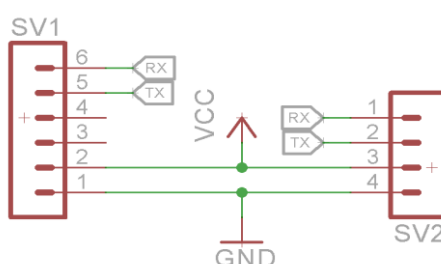
Obr. 2.54 – Modul mikroprocesorové jednotky osazený v navrhnuté patici

### 2.7.3 USB – UART komunikační rozhraní

Protože samotný mikroprocesor neumožňuje komunikovat přes USB port, bylo zapotřebí vybrat vhodné a zároveň jednoduché komunikační rozhraní, které zajišťuje nejen snadné propojení s osobním počítačem, ale i se samotným mikroprocesorem. Tyto základní požadavky splňovalo USB – UART komunikační rozhraní od zahraniční firmy Mikroelektronika. Toto komunikační rozhraní je osazeno integrovaným převodníkem FT232RL, které zajišťuje samotnou komunikaci přes standartní USB port. Obvod FT232RL je napájen přes USB port osobního počítače a na výstupu převodníku jsou vývody RX a TX, které slouží k propojení a správné komunikaci se zvoleným mikroprocesorem.



Obr. 2.55 – Osazený komunikační modul na plošném spoji

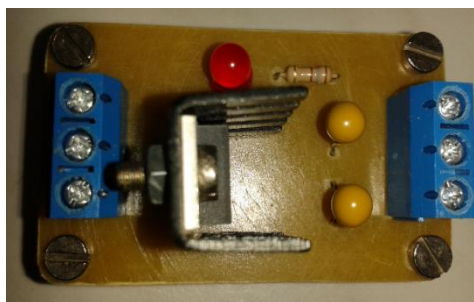


Obr. 2.56 – Propojovací schéma USB komunikačního modulu s plošným spojem

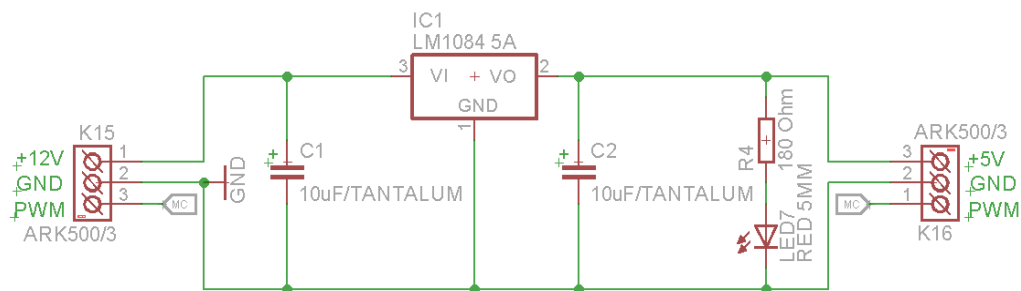
#### 2.7.4 Napájecí obvod mikroprocesoru a jednotlivých servopohonů

Napájení mikroprocesoru a i samotných modelářských servopohonů byl zvolen pozitivní lineární stabilizátor napětí pod označením LM1084IT-05, který může být zatížen hodnotou proudu až do 5 A. Pro napájení mikroprocesoru je zapotřebí vstupní napájecí napětí v rozmezí 4,5 – 5,5 V a pro napájení jednotlivých servopohonů je potřeba napětí v rozmezí 4,8 – 7,4 V.

Aby na výstupních svorkách stabilizátoru byla požadovaná hodnota napětí 5 V, které je použito pro napájení mikroprocesoru a servopohonů je zapotřebí připojit na vstupní svorky hodnotu napětí větší jak 6,5 V to zajišťuje spínaný napájecí zdroj, který má svém výstupu hodnotu napětí 12 V. Dále je napájecí obvod doplněn o indikační červenou LED diodu (maximální hodnota napětí na LED diodě je 2,5 V) a jedním předřadným odporem o hodnotě 180  $\Omega$ , který slouží k omezení proudu procházející LED diodou a také zajistí, aby se na diodě neobjevila větší hodnota napětí než výše zmiňovaná hodnota 2,5 V. Tento napájecí obvod má mikroprocesor a i každý servopohon svůj vlastní.



Obr. 2.57 – Osazený plošný spoj napájecího obvodu

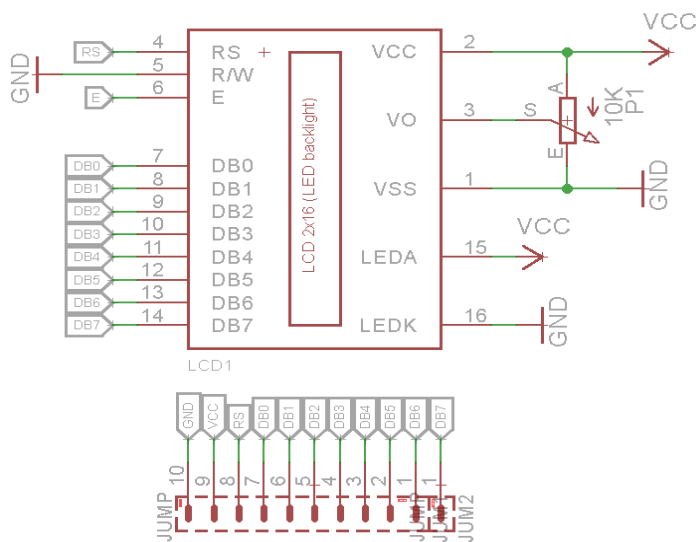


Obr. 2.58 – Schéma zapojení stabilizátoru LM1084IT-05 (National Semiconductor, 1999)

### 2.7.5 LCD displej

LCD displej slouží u mého manipulátoru jako základní informativní zobrazovač v případě, že dojde ke změně nastavení jakéhokoli servopohonu a také bude použit pro budoucí rozšíření manipulátoru.

Samotný displej disponuje řadičem od firmy Hitachi typu HD44780, který má v sobě zabudované dva typy pamětí, paměť typu ROM a RAM. Displej je schopen zobrazovat



Obr. 2.59 – Schéma zapojení LCD displeje

standartní znaky ASCII, které jsou uloženy v paměti ROM řadiče. Do paměti RAM se zapisují konkrétní znaky ASCII, jaké mají být zobrazeny na displeji.

K řízení komunikace jsou zapotřebí (Shenzhen Eone Electronics, 2005) tři řídicí piny a to pin RS, R/W a E a pro definování samotného zobrazovaného znaku piny DB0 – DB7, v případě osmibitové komunikace. V případě, že bude použita čtyřbitová komunikace, budou využity pouze datové piny DB4 – DB7. Pin RS určuje, zda se jedná o data (RS = 1) nebo o instrukci (RS = 0). Pin R/W (R/W = 0 zápis, R/W = 1 čtení) mám ve schématu zapojení trvale připojený k zemi, protože na displej budu pouze zapisovat a nebudu z něj číst. Pin E (Enable) slouží k samotnému povolení zápisu na displej. Dále je zapojení doplněno o potenciometr, který je zapojený mezi piny VCC (napájení displeje), VO (kontrast displeje) a VSS (GND) a slouží k nastavení celkového kontrastu displeje.



Obr. 2.60 – Osazený plošný spoj s LCD displejem

### 2.7.6 Potenciometry

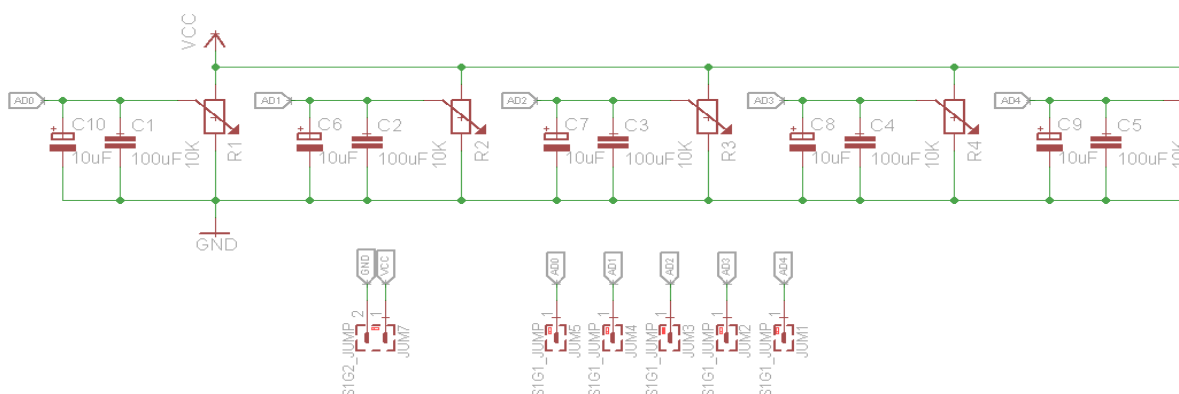
Tento jednoduchý modul slouží jako budoucí rozšíření pro ovládání manipulátoru pomocí potenciometrů. V budoucnu bude tento modul s potenciometry připojen na port mikroprocesoru, jež obsahuje A/D převodník. V této práci modul nebude připojen k mikroprocesoru a nebude ani softwarově implementován.

Na schématu zapojení je vidět keramický a elektrolytický kondenzátor u každého potenciometru. Keramický kondenzátor slouží k odfiltrování nežádoucího rušení od přívodního napájecího vedení. Elektrolytický kondenzátor byl do tohoto zapojení přidán z důvodu, že při změně odporu na potenciometru docházelo až ke skokovým změnám napětí na výstupu potenciometru. Tyto skokové změny byly z největší pravděpodobností způsobeny nedokonalostí odporových drah a jezdce potenciometru, který se pohybuje po jeho odporové dráze. Tento elektrolytický kondenzátor zajistí, aby k těmto skokovým změnám nedocházelo a tím docházelo ke správnému vyhodnocení A/D převodníku mikroprocesoru.





Obr. 2.61 – Osazený plošný spoj s potenciometry



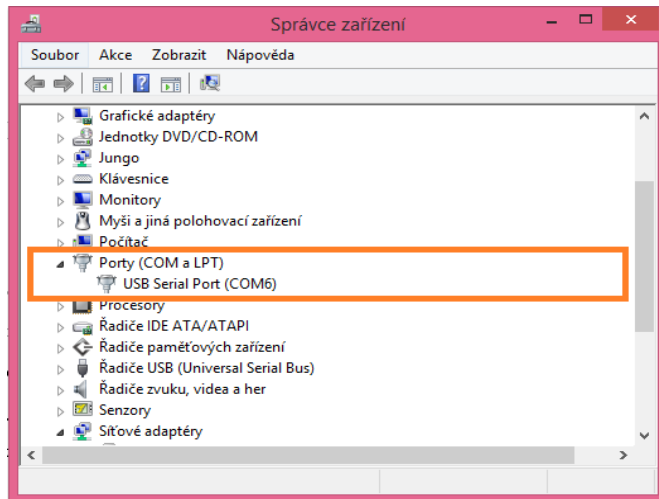
Obr. 2.62 – Schéma zapojení potenciometrů

## 2.8 POPIS PROGRAMOVÉ ČÁSTI MANIPULÁTORU

### 2.8.1 Program pro osobní počítač

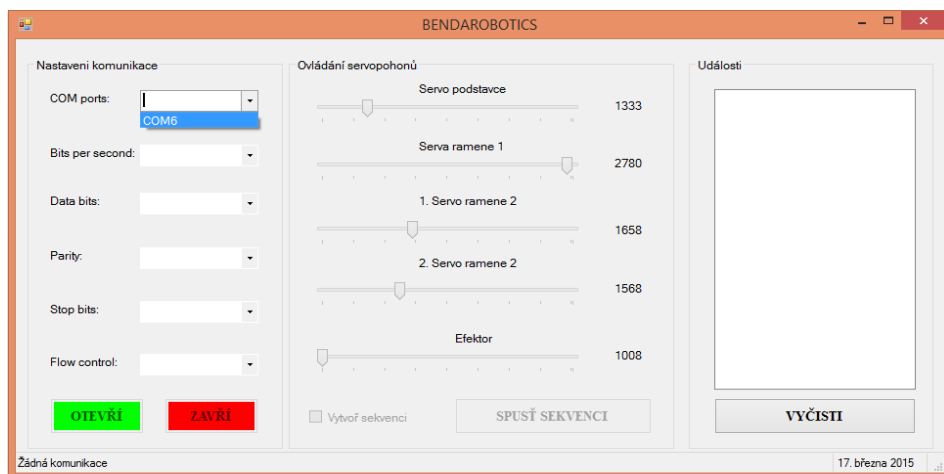
Pro snadné ovládání celého manipulátoru jsem se rozhodl vytvořit grafické rozhraní GUI v programovacím jazyce C#. Jazyk C# obsahuje třídu pod názvem SerialPort, která umožňuje, jak číst ze sériové linky, tak zapisovat do sériové linky. Hlavní funkce tohoto rozhraní je, že zajišťuje celou komunikaci s mikroprocesorem ATMega128 a to za pomoci komunikačního modulu, který jsem zmínil v předchozí kapitole.

Pro správné spuštění aplikace je nejprve zapotřebí připojit komunikační modul k osobnímu počítači. V případě, že je připojeno více obdobných zařízení, musím se podívat do **správce zařízení** v mém počítači, které z těchto zařízení umožňuje komunikaci po sériové lince. Většinou se tyto zařízení najdou pod označením **USB Serial Port**.



Obr. 2.64 – Nalezení správného komunikačního rozhraní ve správci zařízení

Po úspěšném spuštění aplikace dojde k automatickému vyhledání všech připojených sériových portů pomocí metody **GetPortNames()** a zápis jejich pojmenování do příslušného comboboxu.



Obr. 2.63 – Zobrazení všech dostupných sériových portů

Při výběru příslušného sériového portu dochází k takzvanému „předvyplnění“ ostatních comboboxu v aplikaci, které slouží k nastavení komunikace sériové linky. Po všech přechodích krocích „kliknu“ na tlačítko otevři a mohu začít s nastavováním jednotlivých servopohonů. Otevření sériového portu zajišťuje metoda **Open()**.

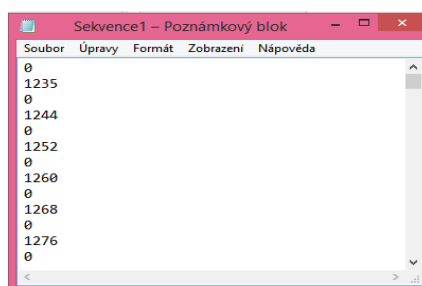


Obr. 2.65 – Automatické vyplnění zbývajících comboboxu

Pro nastavení servopohonu odesílám přes sériovou linku celkem tři konfigurační bajty při každé změně jakéhokoli posuvníku. První bajt slouží jako identifikátor pro mikroprocesor, aby věděl, jaký servopohon v danou chvíli chci nastavovat. Zbývající dva bajty slouží k samotnému nastavení servopohonu, které získám z posuvníku v aplikaci. Posuvník mi vrací číslo v datovém typu Ushort (16 bitů), aby bylo možné toto číslo odeslat přes sériovou linku je rozděleno na dvě samostatná čísla („horní a spodní bajt“) a tyto čísla jsou převedena na datový typ Byte (8 bitů). Odeslání těchto tří bajtů přes sériovou linku obstará metoda Write() v jazyce C#. Metoda Write() je volána pro každý bajt samostatně.

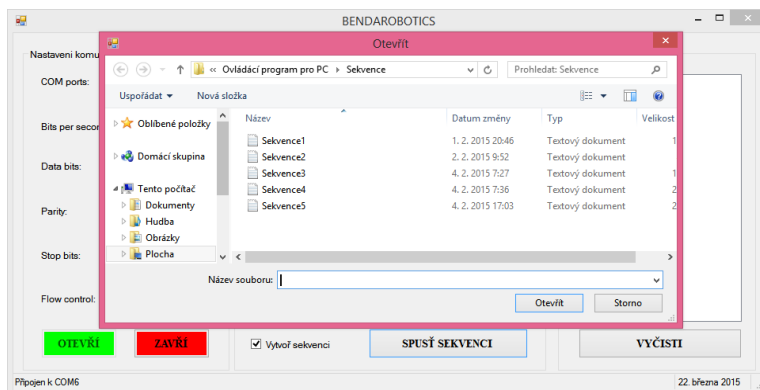
Další co tato aplikace nabízí je možnost vytvoření sekvence. Sekvencí se rozumí, že si mohu nastavit pohyby jednotlivých servopohonů (ramen manipulátoru), které budu postupně ukládat do souboru.

Pro vytvoření samotné sekvence je nutné zaškrtnout checkbox, kterému přísluší název Vytvoř sekvenci. Tento checkbox musí být zaškrtnutý po celou dobu vytváření sekvence. Ukládání do souboru zajišťuje třída pod názvem StreamWriter. Pro zápis jednotlivých hodnot do souboru slouží metoda WriteLine(). Metoda WriteLine() zapíše každou novou hodnotu na nový řádek. Čili na každém lichém řádku bude identifikátor servopohonu a na každém sudém řádku bude hodnota nastavení příslušného servopohonu. Jestliže chci ukončit vytváření sekvence, musím tento checkbox odškrtnout a tím ukončit ukládání dat do souboru.



Obr. 2.66 – Soubor s uloženou sekvencí

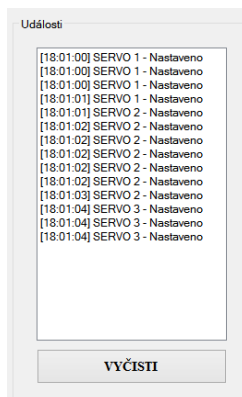
Pro spuštění vytvořené sekvence ze souboru je nutné „kliknou“ na tlačítko Spust' sekvenci. Po „kliknutí“ na toto tlačítko se mi spustí dialogové okno, kde je nutné soubor vyhledat na pevném disku počítače.



Obr. 2.67 – Otevření dialogového okna

Pro načítání dat ze souboru slouží třída StreamReader. Čtení jednotlivých řádku ze souboru obstarává metoda **ReadLine()**, kde každá načtená hodnota je uložena do jedné buňky jedno rozměrového pole. Po načtení všech hodnot ze souboru je toto pole postupně odesíláno přes sériovou linku v určitých časových okamžicích. Pro definování časového okamžiku slouží třída **Timer**. Tato třída zajistí procházení jedno rozměrového pole, kde v každém časovém okamžiku například pět milisekund dojde k posunutí z jedné buňky do buňky následující a tím dojde k projití (odeslání) celého pole hodnot.

Aby bylo možné identifikovat, zda byl servopohon nastaven, slouží k tomu v aplikaci **listbox**, který zobrazuje, zda došlo k nastavení či došlo k nějaké neočekávané chybě. Tento listbox přijímá potvrzovací bajty, které odešle mikroprocesor v tu chvíli, když přijme třetí konfigurační bajt. K přijmutí toto potvrzovacího bajtu slouží metoda **BytesToRead()**. Pomocí tohoto potvrzovacího bajtu je pak rozhodnuto, co má být zobrazeno do listboxu. V listboxu je zobrazený čas, kdy došlo k poslední změně daného servopohonu a s příslušným komentářem.



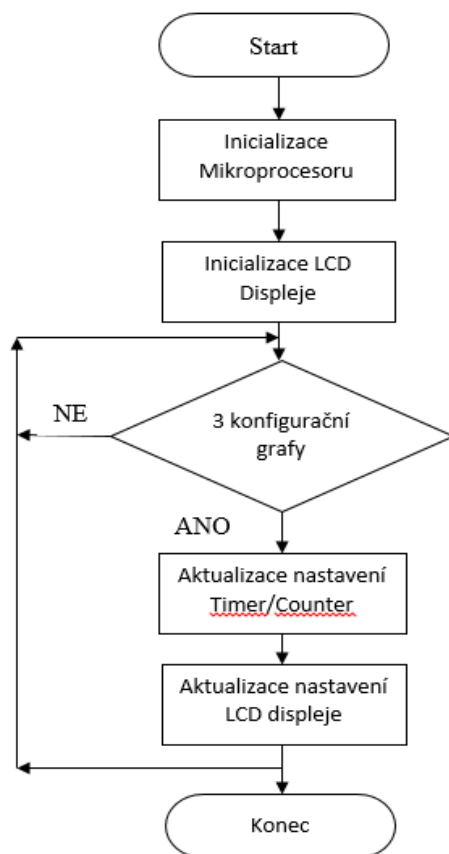
Obr. 2.68 – ListBox s událostmi

## 2.8.2 Program pro mikroprocesor

Pro programování modulu s osazeným mikroprocesorem ATMega128 od firmy MikroElektronika jsem zvolil vývojové prostředí téhož výrobce, které mohu najít pod názvem **MicroC PRO AVR**. Vývojové prostředí nabízí velice intuitivní ovládání s možností využívat standardní knihovny například knihovny pro ovládání alfanumerického LCD displeje, nastavení UART rozhraní a mnohé další.

Po připojení napájení na mikroprocesor se začne vykonávat program. Jako první blok kódu, který se vykoná, je inicializace mikroprocesoru. V tomto bloku se provede nastavení komunikace po UART rozhraní, nastaveny porty mikroprocesoru, zda daný port má být vstupní nebo výstupní a nastaven FAST PWM režim u čítačů/časovačů s jejich výchozím nastavením. Další blok kódu, který následuje je inicializace LCD displeje. V tomto bloku se nejprve provede vyčištění LCD displeje od předchozího textu a následně se na displej zobrazí výchozí text. Po těchto dvou inicializačních blocích přechází program do své hlavní čekací smyčky. V této čekací smyčce procesor čeká na přijetí tří konfiguračních bajtů, které jsou odeslány z aplikace, kterou jsem popsal v předchozí kapitole.

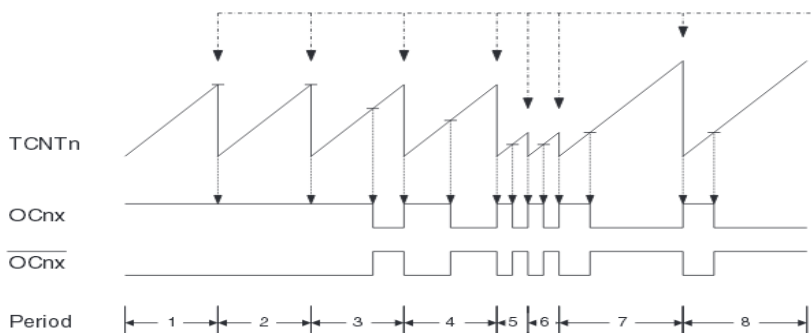
První přijatý bajt slouží jako identifikátor pro rozhodnutí jaké registry OCRx čítačů/časovačů mají být změněny. Pro tuto aplikaci jsou používány dva šestnáctibitové čítače/časovače ve FAST PWM režimu typu **čítač/časovač 1** a **čítač/časovač 3**. Každý z těchto čítačů/časovačů má tři samostatné šestnáctibitové registry OCRx (OCRxL, OCRxH), které slouží jako komparační registry pro generování šířky pulzu od 760 mikrosekund do 2000 mikrosekund. Druhý přijatý bajt slouží samotnému nastavení registru OCRxL a třetí přijatý bajt slouží k nastavení registru OCRxH. Jako poslední část kódu je aktualizace LCD displeje.



Obr. 2.69 – Vývojový diagram

### Režim FAST PWM

Aby bylo možné ovládat servopohon, musím mu posílat správný řídicí signál. U mého manipulátoru je ovládán každý servopohon PWM signálem a právě tento PWM signál musí splňovat dvě základní podmínky. Mezi první podmínku patří, že obnovovací frekvence tohoto signálu musí být padesát hertzů a druhá podmínka je, že šířka pulzu (délka náběžné hrany) musí být v rozsahu od 760 do 2000 mikrosekund. Pro tento účel jsem zvolil čítač/časovač ve FAST PWM režimu.



Obr. 2.70 – FAST PWM režim (Atmel, 2011)

V tomto režimu čítač počítá od nuly do své maximální hodnoty. Maximální hodnota čítače v definované registru ICRn (zápisem určité hodnoty do tohoto registru zajistím obnovovací frekvenci padesát hertzů). Jakmile čítač dopočítá do své maximální hodnoty, začíná opět počítat od nuly. Abych zajistil, že délka náběžné hrany PWM signálu byla v rozmezí od 760 do 2000 mikrosekund, musím nastavit komparační registr OCRx. Tento registr je neustále porovnávám a aktuálním stavem čítače, jehož hodnota je uložena v registru TCNTn. Při shodě těchto dvou registrů je příslušný pin mikroprocesoru nastaven popřípadě vynulován.

K nastavení daného režimu čítače/časovače slouží registr TCCRxA a TCCRxB.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	<b>COM1A1 COM1A0 COM1B1 COM1B0 COM1C1 COM1C0 WGM11 WGM10</b>								<b>TCCR1A</b>
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	<b>ICNC1 ICES1 – WGM13 WGM12 CS12 CS11 CS10</b>								<b>TCCR1B</b>
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obr. 2.71 – Obsah registru TCCRxA a TCCRxB (Atmel, 2011)

Nastavení čítače/časovače 1 pro můj manipulátor vypadá následujícím způsobem. Stejným způsobem nastavím čítač/časovač 3.

```
TCCR1A |= (1 << COM1B1) | (1 << COM1A1) | (1 << COM1C1) | (1 << WGM11);
TCCR1B |= (1 << WGM12) | (1 << WGM13) | (1 << CS11);
ICR1H = 100;
ICR1L = 255;
```

Obr. 2.72 – Nastavení čítače/časovače 1

Bity COM1A1, COM1B1, COM1C1 ovládají chování výstupních pinů mikroprocesoru (OCnA, OCnB, OCnC). Bity WGM11, WGM12, WGM13 nastavují režim čítače/časovače. Bit CS11 nastavuje před děličku čítače/časovače. Jako poslední co je potřeba nastavit je vrchol čítače/časovače za pomoci šestnáctibitového registru ICR1.

### 3 ZÁVĚR

Celá tato diplomová práce byla zaměřena do několika oborů. V rámci vývoje jsem musel řešit problémy jak z oblasti strojírenství, elektrotechniky tak problémy z oblasti programování.

Moje práce začínala samotným 3D návrhem manipulátoru v prostředí SolidWorks abych si lépe představil, jak to ve skutečnosti bude vypadat. U návrhu mechanických dílů jsem se střetl hned s několika problémy a to s velikostí navržených dílů, kde bylo potřeba umístit jednotlivé akční členy (servopohony). Další problém se vyskytl s díly, u kterých jsem potřeboval udělat ohyby, to jsem nakonec vyřešil tak, že na každý ohyb jsem musel připočítat malý přírůstek, aby měl díl požadovaný rozměr. Poslední problém byl s mechanismem koncového efektoru, ten byl nakonec vyřešen tak, že se skládá z pevné části a pohyblivé části. Po vytvoření 3D modelu v prostředí SolidWorks následovalo vytvoření technické dokumentace a jeho následná výroba.

Po dokončení mechanické části jsem začal řešit část elektronickou. Pro řízení celého manipulátoru jsem využil modul s osazeným mikroprocesorem ATmega128 od zahraniční firmy Mikroelektronika, který obsahoval dostatek PWM kanálu pro tento účel. Pro komunikaci mikroprocesoru a osobního počítače jsem také využil modul s integrovaným převodníkem FT232RL od téže firmy. Napájení samotného mikroprocesoru a jednotlivých servopohonů byl využit lineární pozitivní stabilizátor typu LM1084IT-05. Pro zobrazování základních stavů manipulátoru jsem využil LCD displej se zabudovaným řadičem HD44780. Při návrhu plošného spoje s LCD displejem jsem udělal jednu zásadní chybu a to, že jsem prohodil napájecí piny displeje a tím došlo k jeho zničení. Z tohoto důvodu jsem musel navrhnout nový plošný spoj, kde jsem tuto chybu už neudělal, a nový displej fungoval. K napájení veškeré elektroniky manipulátoru jsem použil stejnosměrný spínaný zdroj od firmy Mean Well. Pro uložení elektroniky jsem dodatečně navrhnul kontrolní panel, kde jsem tuto elektroniku musel vhodně rozmístit.

V programové části jsem vytvořil jak program pro osobní počítač, tak program pro samotný mikroprocesor. Navržená aplikace pro osobní počítač je velice příznivá a intuitivní a nabízí jak ovládání samotných servopohonů, tak vytvoření libovolné sekvence, která je vhodná pro demonstrační účely popřípadě pro budoucí rozšíření například o dopravníkový pás.

Závěrem bych chtěl říci, že tato práce mě obohatila o mnoho nových poznatků a zkušeností v oblasti návrhu složitějších zařízení. Pomohla mi uvědomit si, že pro vývoj jakéhokoli zařízení musí člověk spojit mnoho věcí z různých oborů. Tato práce mi také pomohla se zamyslet nad tím, že všechno co je navržené na počítači nemusí být v praxi vůbec



vyrobitelné. Nakonec jsem velice rád, že jsem si tento typ práce vybral, i přestože jsem musel obětovat spoustu svého volného času.

## LITERATURA

- ABB: Power and productivity for a better world. *FlexGun: The FlexGun completed the ABB Spot Welding Robot* [online]. 2015 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: [http://www09.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/d1b9af24a4d9512e48257ca100436fec/\\$file/ROB0174EN\\_B.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/d1b9af24a4d9512e48257ca100436fec/$file/ROB0174EN_B.pdf)
- ABB: Power and productivity for a better world. *Chapadlo s paralelními čelistmi* [online]. 2015 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: [http://www09.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/d7e12bca36dfaa02c1257850005821b5/\\$file/ROB0208EN\\_A\\_FlexGripper%20Clamp%20data%20sheet\\_final.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/d7e12bca36dfaa02c1257850005821b5/$file/ROB0208EN_A_FlexGripper%20Clamp%20data%20sheet_final.pdf)
- ABB: Power and productivity for a better world. *Přísavkové chapadlo* [online]. 2015 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: [http://www09.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/12282933368eeefc125785000576ea9/\\$file/ROB0210EN\\_A\\_FlexGripper%20Vacuum%20data%20sheet\\_final.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/12282933368eeefc125785000576ea9/$file/ROB0210EN_A_FlexGripper%20Vacuum%20data%20sheet_final.pdf)
- ABB: Power and productivity for a better world. *RobotStudio – základní informace* [online]. 2015 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.abb.cz/product/seitp327/0f38a5e7d7f67a5dc12573e60055b805.aspx>
- ATMEL. *8-bit Atmel Microcontroller with 128KBytes In-System Programmable Flash: ATmega128, ATmega128/L* [online]. 2011, č. 1 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/images/doc2467.pdf>
- Balíčky 3D CAD řešení. *DASSAULT SYSTEMES* [online]. 2014 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.solidworks.cz/produkty/3d-cad/balicky/>
- Development System. *Manual: mikroBoard for AVR 64-pin* [online]. 2014, č. 1 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/en/Document/fd75b48945b112b7c15267830d014f65/mikroe706.pdf>
- GREPL, Robert. 2007. *Kinematika a dynamika echatonických systémů*. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM s.r.o., 2007. ISBN 978-80-214-3530-8.
- LYNXMOTION: Imagine it. Build it. Control it. *AL5A* [online]. 2015 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.lynxmotion.com/c-124-al5a.aspx>

- National Semiconductor. *LM1084: LM10845A Low Dropout Positive Regulators* [online]. 1999, č. 1 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z:  
<http://www.gme.cz/img/cache/doc/330/133/lm1084it-05-datasheet-1.pdf>
- OWIROBOTS.COM: a Division of Omnitron Electronics. *OWI-535 ROBOTIC ARM EDGE KIT* [online]. 2015 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z:  
<http://www.owirobots.com/store/catalog/robotic-arm-and-accessories/owi-535-robotic-arm-edge-kit-110.html>
- Programujte.com. *Robotika II.* [online]. 2006 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z:  
<http://programujte.com/clanek/2006032007-robotika-ii/>
- SHENZHEN EONE ELECTRONICS CO., LTD. *Specification for LCD Module: 1602A-1 (VI.2)* [online]. 2005, č. 1 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z:  
<http://www.santy.cz/data/file/schemata/1602a1.pdf>
- SKAŘUPA, Jiří. 2007. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-1522-0.
- SMUTNÝ, Vladimír. 2015. Katedra kybernetiky ČVUT v Praze, FEL. *Kinematika robotů* [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné z:  
<https://cw.fel.cvut.cz/wiki/media/courses/a3b99ro/robotismutnycz.pdf>
- Spínaný zdroj: MEAN WELL LPV-60-12. *GM electronic* [online]. 1990-2015 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/spinany-zdroj-mean-well-lpv-60-12-p332-293>
- Úvod do robotiky. [online]. 2014, č. 1 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z:  
[http://www.79401.cz/mechatronika/maturita\\_pdf/maturita\\_mechatronika\\_14.pdf](http://www.79401.cz/mechatronika/maturita_pdf/maturita_mechatronika_14.pdf)
- MERKUR: [www.merkurtoys.cz](http://www.merkurtoys.cz). *Robotická stavebnice MERKUR: Robotická ruka - BETA* [online]. 2015 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z:  
<http://www.merkurtoys.cz/vyrobky/roboticka-ruka-beta>

## **Přílohy**

**A – CD**

**B – Návrhy plošných spojů**

**C – Kompletní zařízení**

**Příloha k diplomové práci**  
Konstrukce a řízení manipulátoru  
Bc. Tomáš Benda

**OBSAH CD**

## **Obsah adresáře**

Vlastní text práce je zde uložen ve formátech docx a pdf:

BendaT\_KonstrukceManipulatoru\_LH\_2015.docx.

BendaT\_KonstrukceManipulatoru\_LH\_2015.pdf.

**Obrázky** – tento adresář obsahuje obrázky manipulátoru a jedno ilustrační video.

**Ovládací program pro Mikroprocesor** – tento adresář obsahuje zdrojový kód pro mikroprocesor ATmega128 v programovacím jazyce C.

**Ovládací program pro PC** – tento adresář obsahuje zdrojový kód osobní počítač v programovacím jazyce C#.

**Plošné spoje** – tento adresář obsahuje návrhy plošných spojů.

**Vizualizace manipulátoru SolidWorks** – tento adresář obsahuje vytvořenou vizualizaci manipulátoru a kontrolního panelu včetně veškerých dílů manipulátoru a kontrolního panelu.

**Výrobní dokumentace mechanické díly** – tento adresář obsahuje výrobní dokumentaci manipulátoru a kontrolního panelu ve formátech PDF, DWG, SLDDRW.

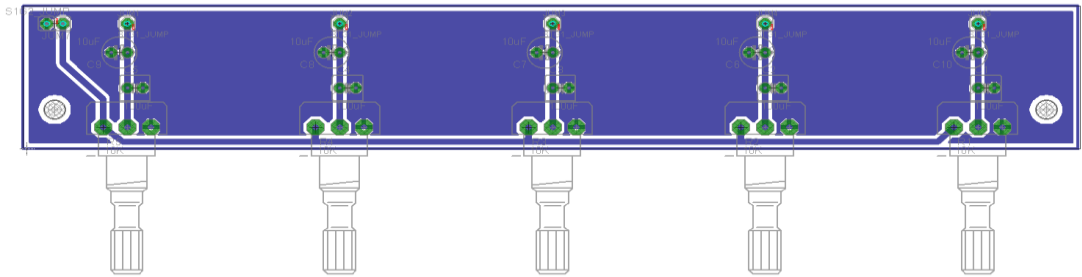
**Příloha k diplomové práci**  
Konstrukce a řízení manipulátoru  
Bc. Tomáš Benda

**NÁVRHY PLOŠNÝCH SPOJŮ**

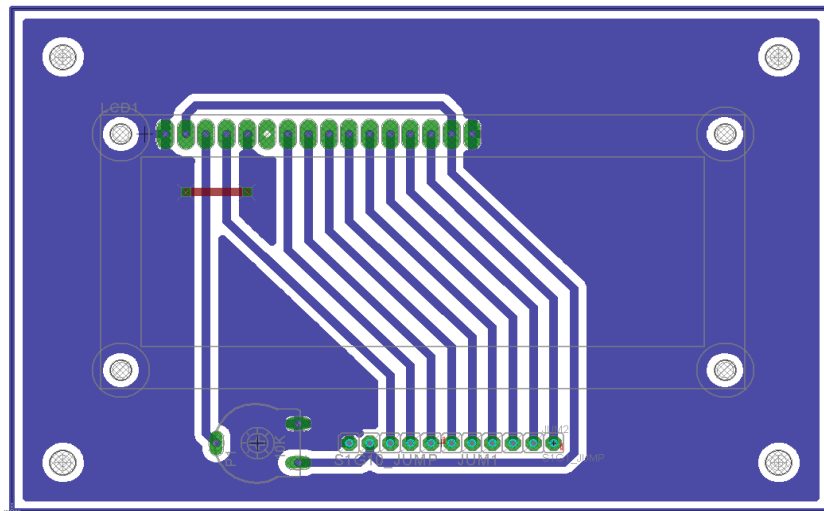
## Seznam obrázků

Obr. B.1 – Návrh plošného spoje s potenciometry .....	B-1
Obr. B.2 – Návrh plošného spoje s LCD displejem.....	B-1
Obr. B.3 – Návrh patice pro mikroprocesorový modul .....	B-1
Obr. B.4 – Návrh plošného spoje napájecího obvodu .....	B-2
Obr. B.5 – Návrh plošného spoje pro připojení komunikačního modulu.....	B-2

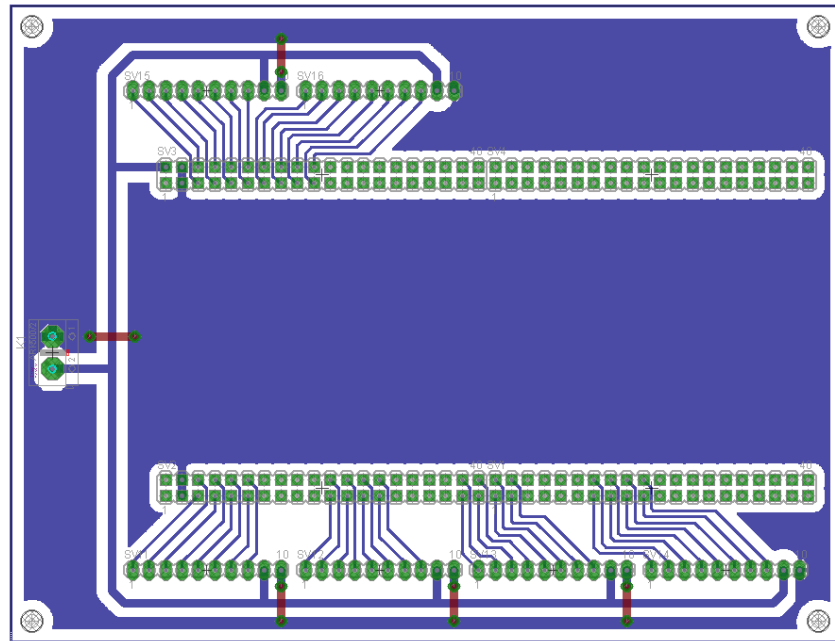




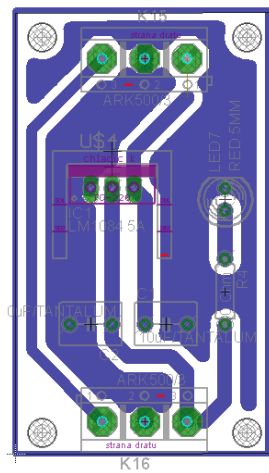
Obr. B.1 – Návrh plošného spoje s potenciometri



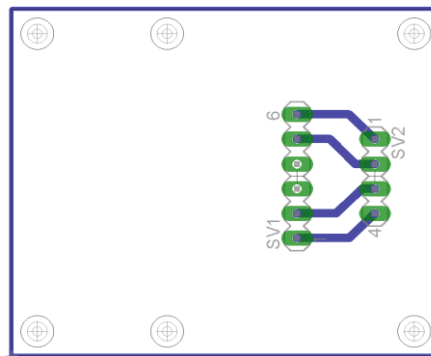
Obr. B.2 – Návrh plošného spoje s LCD displejem



Obr. B.3 – Návrh patice pro mikroprocesorový modul



Obr. B.4 – Návrh plošného spoje napájecího obvodu



Obr. B.5 – Návrh plošného spoje pro připojení komunikačního modulu

**Příloha k diplomové práci**  
Konstrukce a řízení manipulátoru  
Bc. Tomáš Benda

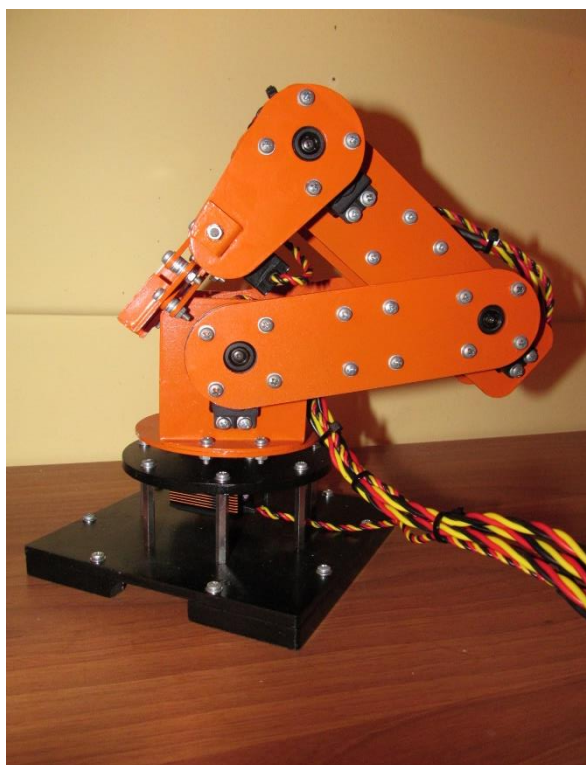
**KOMPLETNÍ ZAŘÍZENÍ**

## Seznam obrázků

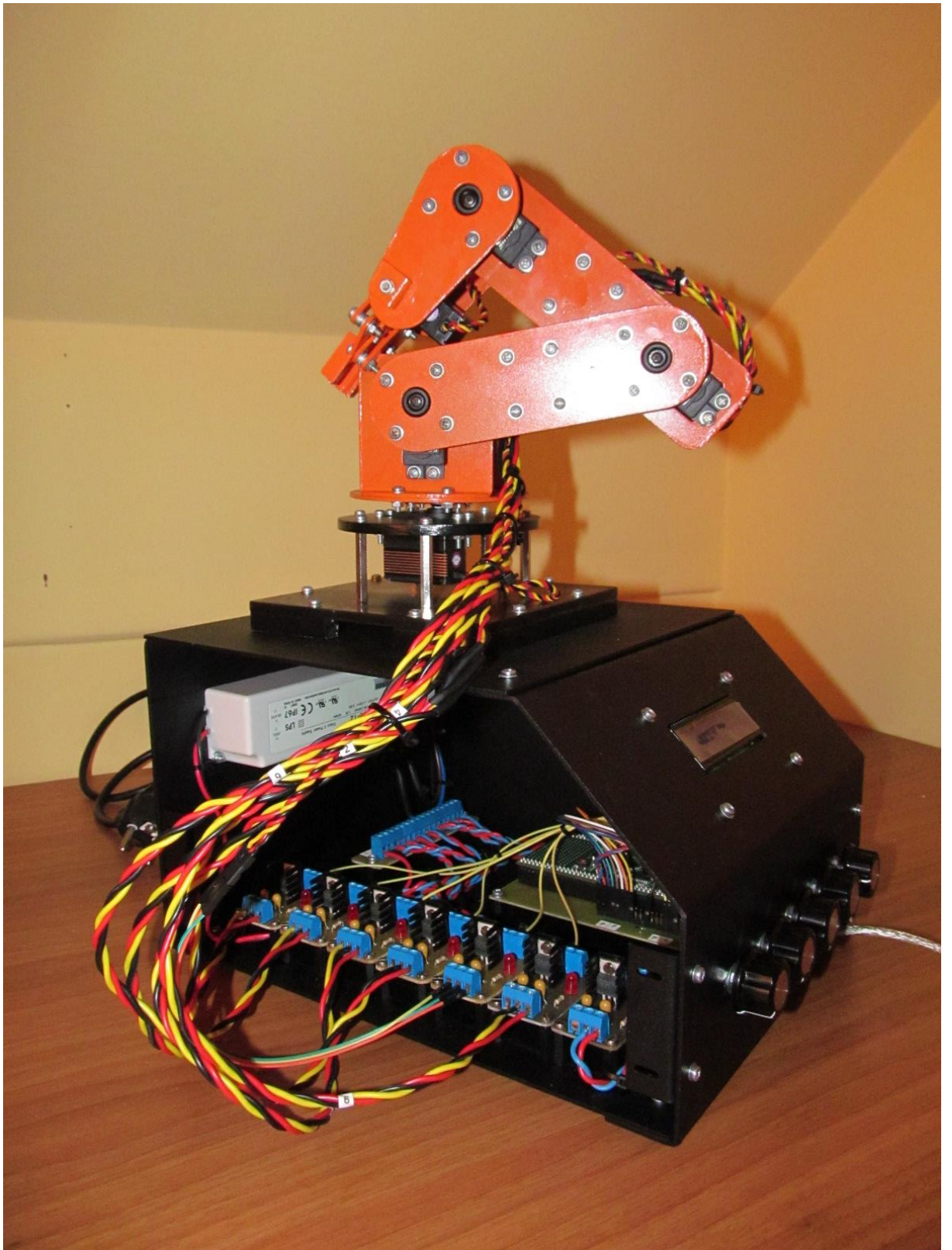
Obr. C.1 – Kontrolní panel s uloženou elektronikou.....	C-1
Obr. C.2 – Manipulátor.....	C-1
Obr. C.3 – Manipulátor s kontrolním panelem.....	C-2



Obr. C.1 – Kontrolní panel s uloženou elektronikou



Obr. C.2 – Manipulátor



Obr. C.3 – Manipulátor s kontrolním panelem